

**Научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные
аспекты инновационных проектов Физического факультета МГУ»**

Сборник тезисов

18-19 ноября 2009 г. Физический факультет
Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

ОРГКОМИТЕТ

Председатель организационного комитета: Декан Физического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова, профессор Трухин В.И.

Зам. председателя организационного комитета: зам.декана профессор Сысоев Н.Н.

Ученый секретарь организационного комитета: с.н.с. Корнилова А.А.

Члены организационного комитета:

1. академик РАН Панченко В.Я.
2. академик РАН Хохлов А.Р.
3. академик РАН Руденко О.В.
4. член-корр. РАН Хохлов Д.Р.
5. профессор Козарь А.В.
6. профессор Александров А.Ф.
7. профессор Коробов А.С.
8. профессор Макаров В.А.
9. профессор Ишханов Б.С.
10. профессор Васильев А.Н.
11. профессор Снигирев О.В.
12. профессор Куницын В.Е.
13. профессор Салецкий А.М.
14. профессор Прудников В.Н.
15. профессор Максимочкин В.И.
16. профессор Знаменская И.А.
17. профессор Уваров А.В.
18. доцент Коваленко И.Ю.
19. доцент Перов Н.С.
20. с.н.с. Ларичев А.В.
21. н.с. Корнеева Ю.В.
22. н.с. Янышев Д.Н.
23. вед.инж. Волкова Н.Х.
24. асп. Давыдова Н.А.
25. студ. Аксёнов А.В.
26. студ. Богданов Н.И.
27. студ. Карапуба А.К.
28. студ. Сысоев П.Н.

Содержание

Раздел «Живые системы»	15
Гордиенко Т.В., Гордиенко В.А., Шевцов Б.М., Марапулец Ю.В.	15
Высокочастотные акустические предвестники землетрясений	
Дементьев А.А., Краевский С.В., Кувыкин И.В., Мамедов М.Д., Птушенко В.В., Семенов Ю.А., Тихонов А.Н., Хомутов Г.Б.	17
Тонкопленочный полимерный материал, включающий функциональные биологические компоненты: способ получения, перспективы возможного использования	
Афанасьева М.В., Булатов О.В.	19
Новый численный алгоритм для решения уравнений мелкой воды	
Ваулин Д.Н., Квас А.А.	20
Импульсный разряд над поверхностью слабопроводящей жидкости	
Ивлиева А.А., Твердислов В.А.	23
Роль хиральных соединений в процессе эмбриогенеза	
Раздел «Индустрия наносистем и материалов»	25
Александров А.Ф., Вавилин К.В., Кралькина Е.А., Павлов В.Б.	25
Перспективные плазменные и ионно-пучковые нанотехнологии. Источники плазмы. Установки.	
Хомутов Г.Б.	27
Новые нанокомпозитные и нанопленочные материалы	
Авакянц Л.П., Боков П.Ю. , Червяков А.В., Чуяс А.В., Юнович А.Э., Бауман Д.А., Васильева Е.Д., Явич Б.С.	29
Диагностика светодиодных гетероструктур методами оптической спектроскопии	

Алешин Ю.К., Чоба М.А.	31
Метод диагностического контроля, сопровождающий модификацию поверхности пьезокварцевого сенсора.	
	32
Громченко А.А.	
Полимерные нанокомпозитные солнечные фотоэлементы	
	34
Аракчеев В.Г., Валеев А.А.	
Характеризация нанопор по молекулярным спектрам заполняющей среды	
	36
Годзи М.Г.	
Улучшение разрешающей способности атомно-силового микроскопа при помощи компьютерного моделирования	
	38
Гребенюков В.В., Арутюнян Н.Р., Образцова Е.Д., Тонких А.А.	
Новый материал - одностенные гетерофазные нанотрубки из углерода и нитрида бора, синтезированные методом газофазного осаждения	
	40
Ляшенко С.А.	
Разработка холодных катодов на основеnanostructuredированного графитоподобного углерода	
	42
Раздел «Информационно-телекоммуникационные системы»	42
Балакший В.И., Волошинов В.Б., Соловьевников В.В.	
Разработка нового типа быстродействующего акустооптического модулятора неполяризованного света для волоконно-оптических линий связи	
	44
Ирошников Н.Г.	
Высокоскоростное измерение волнового фронта	
	45
Пятаков А.П., Мешков Г.А.; Сечин Д.А.; Сергеев А.С.; Николаева Е.П.; Николаев А.В.; Логгинов А.С.	
Электрическое управление микромагнитной структурой как принцип работы элементов энергосберегающей памяти	

Терентьев Е.Н., Терентьев Н.Е.	47
Сверхразрешение, точечная индикация объектов	
Терентьев Е.Н., Терентьев Н.Е.	51
Полосные корреляционные функции вихревых течений, кратные интегралы	
Дьяконов Е.А., Никитин П.А.	56
Оптическое невзаимное устройство на основе коллинеарного акустооптического фильтра	
Дудецкий В.Ю.	58
Информационно-аналитический комплекс для транспортных компаний	
Князев Г.А., Волошинов В.Б.	60
Акусто-оптические устройства управления излучением дальнего инфракрасного диапазона	
Муромец А.В, Юхневич Т.В.	62
Акустооптическая визуализация акустического поля преобразователя на поверхности пьезоэлектрического кристалла	
Петрова Т. А., Шугаев Ф.В.	64
Решение уравнений Навье-Стокса с помощью интегральных уравнений	
Раздел «Медицинская физика»	66
Хахалин А.В.	66
Влияние температуры и примесей на структуры сеток водородных связей водных кластеров	
Бобкова С.М., Хохлова В.А., Гаврилов Л.Р.	69
Метод неинвазивной ультразвуковой хирургии опухолей печени при облучении через ребра с использованием фазированных решеток	

Бессонова О.В., Хохлова В.А.	71
Новый механизм разрушения мягких биологических тканей при импульсно-периодическом воздействии фокусированными ударными волнами	
Гусев А.В.	73
Использование модифицированных цианоакрилатных частиц для доставки лекарств в мозг	
Крит Т.Б., Костиков В.В., Андреев В.Г.	75
Измерение сдвиговой упругости мягких тканей интерференционным методом	
Хорошков В.С., Черняев А.П., Рязанцев О.Б., Варзарь С.М., Белоусов А.В., Карпунин В.О., Матусова Т.В., Хайбуллин В.Г.	77
Создание комплекса компьютерного моделирования протонного лучевого лечения онкологических больных для первого в России Клинического Центра протонной лучевой терапии	
Александров А.Ф., Гусева М.Б., Новиков Н.Д., Савченко Н.Ф., Хвостов В.В., Фиошкин А.Г.	79
Линейно-цепочечный углерод – перспективный материал для медицины	
Раздел «Новые материалы»	81
Панкратов Н.Ю., Никитин С.А., Терешина И.С., Политова Г.А.	81
Перспективные магнитострикционные материалы на основе соединений редкоземельных и 3d-переходных металлов	
Панкратов Н.Ю., Панина Л.В., Жуков А.П., Peng H.-X.	83
Управляемые микроволновые композиты на основе ферромагнитных микропроводов	
Малафеев А.С., Иванов В.А., Лукьянов А.Е.	84
Компьютерное моделирование в разработке перспективных материалов для полимерных светодиодов	
Вавилин К.В., Гоморев М.А., Кралькина Е.А., Павлов В.Б., Савинов В.П.	87
ВЧ протяженный разряд при атмосферном давлении и возможности его использования для поверхностной модификации материалов.	

Коробова Ю.Г., Александров А.Ф., Гусева М.Б., Новиков Н.Д., Савченко Н.Ф., Хвостов В.В.	89
Двумерноупорядоченный линейно-цепочечный углерод для микро- и наноэлектроники	
Мельников В.А., Шалыгина Е.Е., Шалыгин А.Н.	91
Датчики магнитного поля на основе высокочастотных свойств нанокомпозитных материалов	
Александров А.Ф., Гусева М.Б., Ницак О.Ю., Новиков Н.Д., Савченко Н.Ф., Хвостов В.В.	93
Высокоэффективные адсорбенты на основе sp ¹ -углерода	
Хенкин Л.В., Новакова А.А., Киселева Т.Ю., Соцкий В.В., Усольцева Н.В.	95
Новые органические комплексы железа (спиновые кроссоверы) для создания оптических сенсоров и устройств памяти	
Раздел «Развитие образования»	97
Прудников В.Н., Янышев Д.Н., Скворцова Н.И.	97
Дистанционная олимпиада «Шаг в Физику»	
Радковская А.А., Прудников В.Н., Захаров П.Н., Бабушкин А.К., Королев А.Ф., Сухоруков А.П.	99
Комплекс задач специального практикума по метаматериалам: «Волны в метаматериалах с сильным взаимодействием между элементами. Супер-линза»	
Белышев С.С., Ишханов Б.С., Кузнецов А.А., Курилик А.С., Стопани К.А.	101
Система дистанционного контроля успеваемости студентов	
Раздел «Рациональное природопользование»	103
Безаева Н.С., Трухин В.И., Rochette P	103
Магнитные свойства горных пород и метеоритов и их связь с эволюцией Земли и Солнечной системы	
Фадеев В.В., Волков П.А., Сысоев Н.Н., Фадеева И.В.	105
Природные флуоресцентные индикаторы состояния водных экосистем	

Копчик С.В., Ханел М.	106
Очистка почв и грунтов под существующей инфраструктурой	
Милюков В.К., Миронов А.П., Мясников А.В.	108
Разработка технологии комплексного мониторинга состояния литосферы вулканоопасных и сейсмоактивных регионов Северного Кавказа на основе высокоточных деформографических, гравиметрических и GPS/ГЛОНАСС наблюдений	
Показеев К.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Чаплина Т.О.	113
Хладагенты и проблема экологической безопасности окружающей среды	
Ярков М.В., Копаев А.В., Жаров В.Е., Курилович Б.М.	115
Аномалии гравитационного поля: наблюдения и интерпретация	
Гостев Т.С., Кузьминов Ф.И., Моисеев С.А.	116
Лазерный on-line сенсор загрязнений природных вод, использующий фотосинтезирующие организмы в качестве флуоресцентных биоиндикаторов	
Раздел «Электроника, приборостроение»	118
Буриков С.А., Доленко Т.А., Пацаева С.В., Южаков В.И.	118
Лазерный КР анализатор жидкостей с комплексным программным обеспечением	
Пирогов Ю.А., Тищенко Д.А., Гладун В.В., Котов А.В., Павлов Р.А.	120
Разработка систем пассивного радиовидения миллиметрового диапазона для выявления спрятанных под одеждой потенциально опасных предметов	
Ляпин И.Д., Туркин А.Н.	122
Исследование системы из полупроводникового кристалла на основе нитрида галлия и люминофора для создания эффективного белого светодиода	
Манцевич С.Н., Балакший В.И.	123
Модуляция света при коллинеарном акустооптическом взаимодействии	

Ревенко А.В., Балакший В.И.	124
Акустооптическая дифракция в акустическом поле неоднородного пьезоэлектрического преобразователя на частотах высших гармоник	
Самсонова В.В., Ипатов М.П., Ильин М.И., Жукова В.А., Перов Н.С., Жуков А.П.	125
Прикладные аспекты нелинейного магнитного отклика в магнитостатически взаимодействующих микропроводах	
Цысарь С.А., Сапожников О.А.	127
Метод акустической голограммы для восстановления трехмерных неоднородностей в оптически непрозрачных средах	
Юлдашев П.В., Аверьянов М.В., Хохлова В.А., Сапожников О.А.	129
Оптический и акустический методы калибровки широкополосных микрофонов в задачах нелинейной аэроакустики	
Раздел «Энергетика и энергосбережение»	131
Корнилова А.А., Высоцкий В.И., Сысоев Н.Н., Литвин Н.К., Томак В.И., Барзов А.А.	131
Новый способ генерации рентгеновского излучения при кавитации быстрой струи воды	
Кожевников В.Н.	133
Перспективы ветроэнергетики в горах	
Фетисов Л.Ю., Перов Н.С.	136
Датчики магнитных полей и автономные источники энергии на основе магнитоэлектрического эффекта в слоистых структурах ферромагнетик – пьезоэлектрик	
Знаменская И.А., Иванов И.Э., Коротеева Е.Ю., Карацуба А.К., Мурсенкова И.В., Орлов Д.М., Сысоев Н.Н.	138
Способ импульсного воздействия на взрывную волну вблизи поверхности	
Черников В.А., Каменщиков С.А.	140
Новые методы оптимизации горения	
Неклюдова П.А., Турковская А.В., Петров А.К.	142
Разработка высокоэффективного источника света на основе новой модификации высокочастотного газового разряда	

Степенко С.О., Авдюхина В.М., Ревкевич Г.П., Уманская Н.А.	144
Особенности прохождения фазовых превращений в фольгах сплава Pd-Y после неоднократного гидрирования	
Ширшин Е.А., Петров В.Г., Будылин Г.С., Обморошев Б.С.	146
On-line контроль содержания форм урана в смеси с использованием лазерного флуоресцентного сенсора	
Алимов А.С., Ишханов Б.С., Пахомов Н.И., Шведунов В.И., Юров Д.С.	148
Ускоритель электронов для нефтегазовой промышленности	
Chapter ‘Alive systems’	150
Gordienko T.V., Gordienko V.A., Shevtsov B.M., Marapulets J.V.	150
Studying of high frequency signals (to 11 kHz) of geoacoustics emission preceding strong earthquakes (power class $K > 9-10$)	
Dementiev A.A., Kraevsky S.V., Kuvykin I.V., Mamedov M.D., Ptushenko V.V., Semenov Yu.A., Tikhonov A.N., Khomutov G.B.	152
Thin-film polymeric material contains functional biological components: method of fabrication and possible applications	
Afanasieva M.V., Bulatov O.V.	
Novel numerical algorithm for simulation shallow water flows	154
Vaulin D.N., Kvas A.A.	155
Pulse discharge above the surface of water	
Ivlieva A.A., Tverdislov V.A.	157
Role of chiral compounds in embryogenesis	

Chapter ‘Nanosystem and material industry’	159
Alexandrov A.F., Kralkina E.A., Pavlov V.B., Vavilin K.V.	159
Prospective plasma and ion beam nanotechnologies. Plasma sources. Facilities.	
 Khomutov G.B.	161
New nanocomposite and nanofilm materials	
 Avakyants L.P., Bokov P.Yu., Chervyakov A.V., Chuyas A.V., Yunovich A.E., Bauman D.A., Vasileva E.D., Yavich B.S.	163
Diagnostics of InGaN/GaN/AlGaN heterostructures by electroreflectance and electroluminescence	
 Aljoshin J.K, Choba M.A.	165
The method of diagnosis, accompanying the modification of the surface of piezoelectric quartz sensor	
 Gromchenko A.A.	166
Polymeric Nanocomposite Solar Cells	
 Arakcheev V.G., Valeev A.A.	168
Nonlinear optical spectroscopic diagnostics of molecular media phase transitions in nanopores and determination of parameters of nanoporous material	
 Godsie M.G.	169
Development of an Atomic-Force Microscope with the Novel Accuracy Improved by Using Onboard Block for Molecular Level Computer Simulations of the Experimental Samples	
 Grebenyukov V.V., Arutyunyan N.R., Obraztsova E.D., Tonkikh A.A.	171
Novel material - single walled geterophase carbon boron nitride nanotubes synthesized by chemical vapor deposition	

Chapter ‘Information-telecommunication systems’

173

Balakshy V.I., Voloshinov V.B., Solodovnikov V.V.

173

Research and development of a new type high-speed acousto-optic modulator for fiber-optic communication lines

Iroshnikov N.G.

175

Hi-Speed measurements of the wavefront

Pyatakov A.P., Meshkov G.A.; Sechin D.A.; Sergeev A.S., Nikolaeva E.P.; Nikolaev A.V.; Logginov A.S. 177

Electric field control of micromagnetic structure as a principle of energy-conscious memory

Djakonov E.A., Nikitin P.A.

179

Optical Non-Reciprocal Device Based on Collinear Acousto-Optical Filter

181

Vadim D.Yu.

Information-analytical complex for transport companies

Knyazev G.A., Voloshinov V.B.

182

Acousto-Optical Devices Intended to Control Parameters of Long Infrared Radiation

Petrova T. A., Shugaev F. V.

184

Oscillating solutions of the Navier-Stokes equations

Chapter ‘Medical physics’

186

Khakhalin V. Andrey

186

Influence of temperature and impurity on hydrogen bonds grids structures of water clusters

Bobkova S.M., Khokhlova V.A., Gavrilov L.R.

188

Method of noninvasive ultrasound surgery for liver tumors by irradiation through the rib cage using phased arrays

Bessonova O.V., Khokhlova V.A.

190

New mechanism of the soft biological tissue erosion caused by the pulsed-periodic effect of

focused shock waves

Gusev A.V.	192
Drug delivery by modified cyanoacrylate nanoparticles to the nervous system	
Krit T.B., Kostikov V.V., Andreev V.G.	194
Measurements of shear elasticity of soft tissues applying interferential method	
Khoroshkov V.S., Chernjaev A.P., Rjazantsev O.B., Varzar S.M., Belousov A.V., Karpunin V.O., Matusova T.V., Khaibullin V.G.	196
Computer simulation of the oncological patients proton irradiation complex development for the first clinical proton therapy center in Russia	
Alexandrov A.F., Guseva M.B., Novikov N.D., Savchenko N.F., Khvostov V.V., Fioshkin A.G.	197
Linear chain carbon as a prospective material for medicine	
Chapter ‘New materials’	199
Pankratov N.Yu., Nikitin S.A., Tereshina I.S., Politova G.A.	199
A development of intermetallic rare earth and 3d-transition materials promising for magnetostrictive devices	
Pankratov N.Yu., Panina L.V., Zhukov A.P., Peng H.X.	201
Tunable microwave composites filled by ferromagnetic microwires	
Malafeev A.S., Ivanov V.A., Lukyanov A.E.	202
Computer simulation in development of new materials for organic light emitting diodes	
Vavilin K.V., Gomorev M.A., Kralkina E.A., Pavlov V.B., Savinov V.P.	205
RF discharge at atmospheric pressure & its possibilities for material surface modification	
Korobova J. G., Aleksandrov A. F., Guseva M. B., Novikov N. D., Savchenko N.F., Khvostov V. V.	207
New nanocarbon for the future of microelectronics	
Melnikov V.A., Shalyguina E.E., Shalygin A.N.	209
Sensors of magnetic field based on high-frequency properties of nanocomposite materials	

Alexandrov A.F., Guseva M.B., Nischak O.Yu., Novikov N.D., Savchenko N.F., Khvostov V.V. High-efficient adsorbents on the base of sp ¹ -carbon	211
Khenkin L.V., Novakova A.A., Kiseleva T.Yu., Sotsky T.Yu., Usoltseva N.V.	213
New organic complexes of iron (spin crossovers) for creation of optical sensors and memory devices	
Chapter ‘Development of education’	214
Prudnikov V.N., Yanyshhev D.N., Skvortsova N.I.	214
Distant Olimpiad Competition for School Students “Step to Physics”	
Radkovskaya A.A., Prudnikov V.N., Zakharov P.N., Babushkin A.K., Korolev A.F., Sukhorukov A.P.	216
Set of practical works on metamaterials „Waves in metamaterials with strong coupling between elements. Superlens”	
Belyshev S. S., Ishkhanov B. S., Kuznetsov A. A., Kurilik A.S., Stopani K.A.	218
Network student testing system	
Chapter ‘Rational wildlife management’	220
Fadeev V.V., Volkov P.A., Sysoev N.N., Fadeeva I.V.	220
Natural fluorescence indicators of water ecosystem state	
Koptsik S.V., Hänel M.	221
Cleaning soils and parent rocks under existing infrastructure	
Milyukov V. K., Zharov V. E., Kopaev A.V., Mironov A.P., Myasnikov A.V.	223
Development of technology for complex monitoring the state of the lithosphere in seismoactive and volcano dangerous regions of Northern Caucasus on the base of precision deformographic, gravimetric and GPS/GLONASS observations	
Pokazeev K.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Chaprina T.O.	225
Coolants and problem of ecological safety of environment	
Jarkov M. V., Kopaev A.V., Zharov V.E., Kurilovich B.M.	227
Anomalies of gravity field: measurements and interpretation	

Gostev T.S., Kouzminov F.I., Moiseev S.A.	229
On-line laser sensor for natural waters contamination based on the photosynthetic organisms as fluorescent bioindicators	
Chapter ‘Electronics, instrument making’	231
Burikov S.A., Dolenko T.A., Patsaeva S.V., Yuzhakov V.I.	231
Laser Raman analyzer of liquids with complex software	
Pirogov Y.A., Tischenko D.A., Gladun V.V., Kotov A.V., Pavlov R.A.	233
Passive millimeter radio-wave imaging systems development, intended for detection hidden intrinsically dangerous items	
Lyapin I.D., Turkin A.N.	234
Spectra and luminescence efficiency of semiconductor chips systems based on gallium nitride heterostructures and phosphor as a basis for effective white LEDs development	
Mantsevich S.N., Balakshy V.I.	235
Light modulation at collinear acousto-optic interaction	
Revenko A.V., Balakshy V.I.	236
Light diffraction in acoustic field of a non-homogeneous piezoelectric transducer at high harmonics frequencies	
Samsonova V.V., Ipatov M.P., Illyn M.I., Zhukova V.A., Perov N.S., Zhukov A.P.	237
Applied aspects of non-linear magnetic response in magnetostatically-coupled microwires	
Tsysar S.A., Sapozhnikov O.A.	239
Ultrasonic holography reconstruction of 3D objects in optically non-transparent media	
Yuldashev P.V., Averyanov M.V., Khokhlova V.A., Sapozhnikov O.A.	241
Optical and acoustical methods for calibration of broadband microphones in nonlinear aeroacoustics	

Chapter ‘Power and the power savings’

243

Kornilova A.A., Vysotsky V.I., Sysoev N.N., Litvin N.K., Tomak V.I., Barzov A.A.	243
The new method of X-Ray generation at cavitation of fast water jet	
Znamenskaya I.A., Ivanov I.E., Koroteeva E. Yu., Karatsuba A.K., Mursenkova I.V., Orlov D.M., Sysoev N.N.	245
Method of pulse blast wave control near a surface	
Chernikov V.A., Kamenshchikov S.A.	247
New methods of combustion optimization	
Nekludova P.A., Turkovskaja A.V., Petrov A.K.	249
Development of an effective light source on the basis of innovative modification of the radio-frequency gas discharge	
Stepenko S.O., Avdyukhina V.M., Revkevich G.P., Umanskaya N.A.	251
Features of passing phase transformations in the foils of alloy Pd-Y after repeated hydrogenation	
Fetisov L.Y., Perov N.S.	253
Magnetic sensors and alternative energy sources based on magnetoelectric effect in multilayered ferromagnetic-piezoelectric structures	
Shirshin E.A., Petrov V.G., Budylin G.S., Obmoroshev B.L.	255
On-line control of the content of uranium forms in a mixture using laser-based fluorescence sensor	
Alimov A. S., Ishkhanov B. S., Pahomov N. I., Shvedunov V. I., Yurov D. S.	256
An Electron Accelerator for Oil and Gas Industry	

Изучение высокочастотных сигналов (до 11 кГц) геоакустической эмиссии предшествующих сильным землетрясениям (энергетический класс $K > 9-10$)

Гордиенко Т. В. (1), Гордиенко В. А. (1), Шевцов Б. М. (2),
Марапулец Ю. В. (2)

1. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет
2. Институт космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) Дальневосточного отделения Российской Академии наук

Предсказание землетрясений одна из актуальнейших современных проблем. Результаты исследований, которые начиная с 2003 г. проводятся нами в сейсмоактивной зоне полуострова Камчатка, позволяют надеяться, что для определенных районов эта проблема может быть решена. Мы обнаружили новый эффект, – существование аномалий высокочастотных (4-11 кГц) геоакустических шумов, обусловленных напряжениями, возникающими при подготовке сильных сейсмических событий, и выступающих в качестве оперативных предвестников готовящегося землетрясения. Под аномалиями мы понимаем повышение на два-три порядка частоты следования импульсов сигналов геоакустической эмиссии (ГАЭ) в выбранном частотном диапазоне заполнения этих импульсов. До наших работ, серьезных исследований сигналов ГАЭ в указанном частотном диапазоне не проводилось, т.к. эта частотная область традиционно считалась малоинформационной в связи с сильным затуханием высокочастотных сигналов в грунте [1].

Согласно полученным нами статистическим данным почти для сотни сейсмических событий, образование крупных трещин с низкочастотным заполнением импульсных сигналов ГАЭ (считается, что размер трещины r изменяется обратно пропорционально частоте заполнения импульса и при ее значении $f=3$ кГц составляет по оценкам [2] около 1 м), предваряющих землетрясение – событие относительно редкое, в то время как аномальное увеличение числа образующихся трещин и разломов с излучением сигналов ГАЭ, имеющих частоту заполнения более 5 кГц наблюдалось нами более чем для 75% событий с энергетическим классом $K_s > 9-10$. При этом отсутствие регистрации высокочастотных сигналов заполнения для остальных событий в точках наблюдений возможно связано лишь с наличием разломов между точкой наблюдения и эпицентром землетрясения. Так что увеличение числа приемных систем и пространственное их разнесение, возможно, позволит существенно увеличить процент наблюдения таких аномалий сигналов ГАЭ.

Пример проявления одной из характерных аномалий ГАЭ в различных частотных диапазонах приведен на рис. 1. Появление аномальных шумов происходит, как правило, примерно в суточном временном интервале перед сильными сейсмическими событиями с энергетическим классом $K_s > 9-10$. Продолжительность аномалий варьируется от десятков минут до нескольких часов.

Из-за сильного затухания в грунте эти регистрируемые приемной системой высокочастотные сигналы не могут генерироваться в зоне субдукции готовящегося землетрясения. По существу они являются вторичными эффектами подготовки землетрясений и обусловлены трещинообразованием под действием деформаций

[1], которые распространяются из очага землетрясения и создают вблизи пунктов наблюдений в эпицентральной области сдвиговые напряжения, определяющие преимущественную ориентацию трещин. Как следствие, появляется направленность колебательного движения частиц среды с переносом акустической энергии в направлении от зоны субдукции и очага готовящегося землетрясения. Дальность распространения области трещинообразования и напряженность деформаций определяются размером очага. Для землетрясений с $K_S > 9-10$ эти сигналы могут регистрироваться на расстояниях до 200-250 км от эпицентра готовящегося землетрясения [2]. Поскольку размеры вторичных трещин обычно сравнительно малы, вызванные ими упругие колебания находятся в более высокочастотной части спектра по сравнению с волнами, которые создаются основной фазой сейсмического события и поэтому выходят за границы используемых в традиционной сейсмологии частот.

По характеру движения частиц среды в волне (поляризации волны) можно осуществлять локацию областей подготовки сейсмических событий в горизонтальной плоскости. Для этого требуется регистрировать характер движения частиц среды в проекции на два горизонтальных взаимно ортогональных направления без каких бы то ни было амплитудно-фазовых искажений.

1. Соболев А.Г., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники., М.: Наука. 2003. 270 с.
2. Виноградов С.Д. и др. Физическая природа разрыва и излучение сейсмических волн// Физические процессы в очагах землетрясений. М. Наука. 1980. С.129-140.

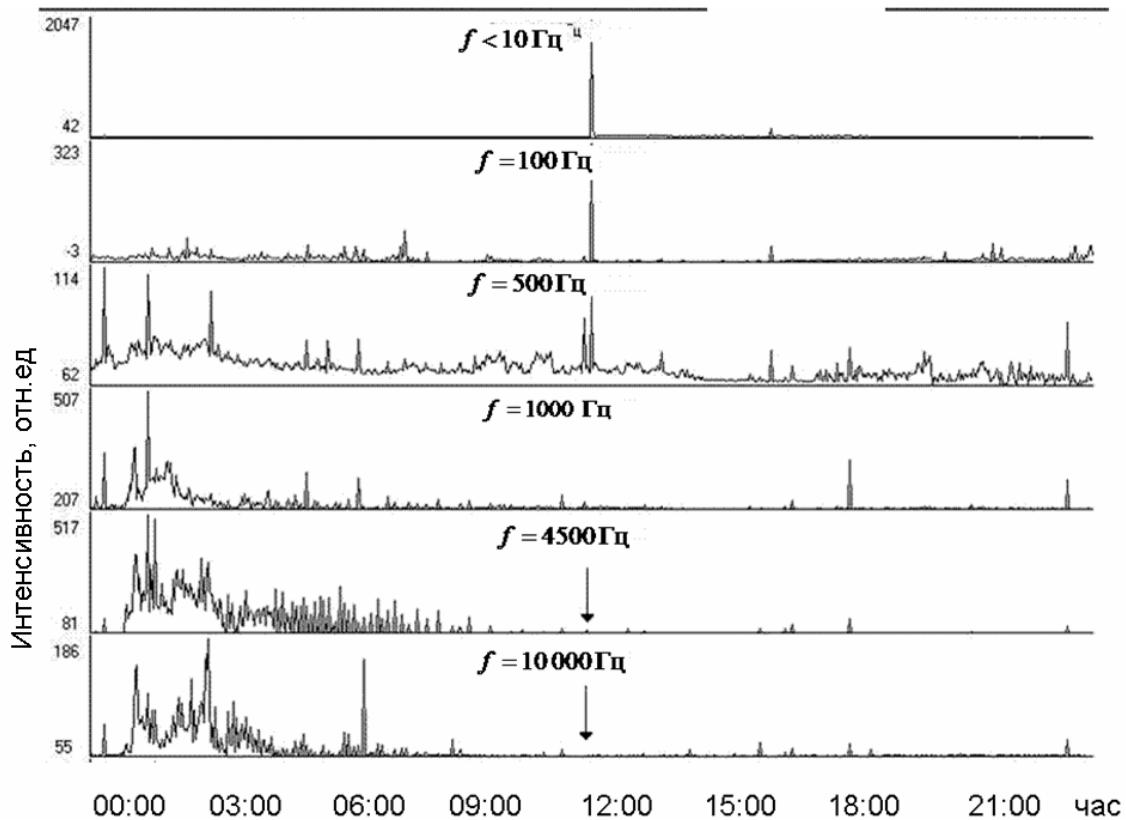


Рис. 1. Характерный вид интегральной энергии сигналов ГАЭ для частот ниже 10 Гц и в некоторых третьоктавных полосах анализа в период проявления ее аномалии, зарегистрированной на оз. Микижа перед событием 16 ноября 2004 г. ($K_S = 12.8$). Момент землетрясения показан стрелкой.

Тонкопленочный полимерный материал, включающий функциональные биологические компоненты: способ получения, перспективы возможного использования

Дементьев А.А.¹, Краевский С.В.², Кувыкин И.В.¹, Мамедов М.Д.³,
Птушенко В.В.³, Семенов Ю.А.³, Тихонов А.Н.¹, Хомутов Г.Б.¹

1. Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

2. Институт Теоретической и Экспериментальной Физики

3. Институт физико-химической биологии им. А.Н.Белозерского, МГУ имени М.В. Ломоносова

Механизмы и особенности получения новых наноструктурированных материалов являются в настоящее время предметом интенсивных исследований. Отдельное внимание в этой области заслуживают гибридные системы, включающие компоненты биологической природы, такие как супрамолекулярные и субклеточные коллоидные частицы и везикулы. Системы такого рода способны сочетать высокую функциональную эффективность биологических систем со стабильностью и воспроизводимостью синтетических материалов.

В наших предыдущих работах [1,2] мы описали процедуры получения и изложили результаты исследования гибридных систем, состоящих из биологических и полимерных компонентов.

В настоящей работе изложены результаты исследований, которые были направлены на создание полимерных пленок с высокой плотностью функциональных биологических компонентов. Метод чередующейся послойной адсорбции, использовавшийся для получения полиэлектролитных пленок, включающих хлоропласти, и описанный в [1], был модифицирован. В методику была добавлена процедура центрифугирования, совмещенная с этапом инкубирования положительно заряженной подложки в суспензии хлоропластов. Остальные этапы формирования многослойной пленки остались без изменений. Пленки, полученные при помощи данной процедуры, помещались в емкость, содержащую буфер. Запись спектров ЭПР и флуоресценции производилась в течение периода не более 12 часов с момента приготовления образцов.

Электронный транспорт в полиэлектролитных пленках, содержащих хлоропласти, был исследован с помощью метода ЭПР. Светоиндуцированные окислительно-восстановительные превращения окисленных центров P_{700}^+ оценивались по кинетике сигнала I ЭПР, согласно протоколу, описанному в [3] (см. рис. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что электронный транспорт в увлажненных полимерных пленках, содержащих хлоропласти, не ингибиран.

Флуоресценция хлорофилла в хлоропластах, включенных в полимерные пленки, была исследована с помощью прибора FluorPen (“PSI” Chech Republic). Как видно из рис. 2, добавка диурона (ингибитора ФС-2) приводила к увеличению скорости индукции флуоресценции, что свидетельствует о том, что иммобилизованные хлоропласти сохраняют фотохимическую активность.

Исследование структуры полимерных пленок, включающих хлоропласти (Рис. 3) было проведено с помощью метода атомно-силовой микроскопии (АСМ). Образцы для АСМ были высушены при комнатной температуре (20–22 °C).

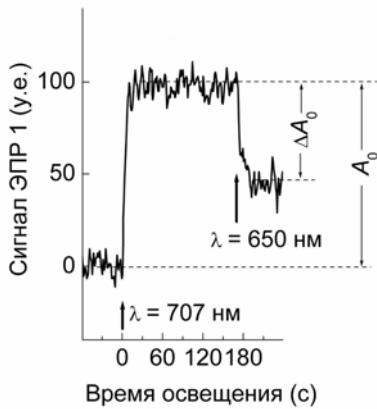


Рис. 1 Светоиндуцированные изменения амплитуды сигнала I ЭПР от окисленных реакционных центров P_{700} хлоропластов, включенных в полимерную пленку

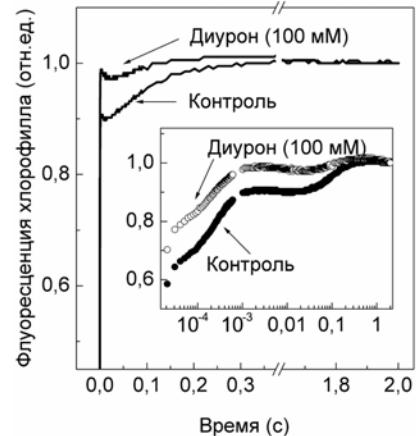


Fig. 2 Кинетика флуоресценции хлорофилла в хлоропластах, включенных в полимерную пленку

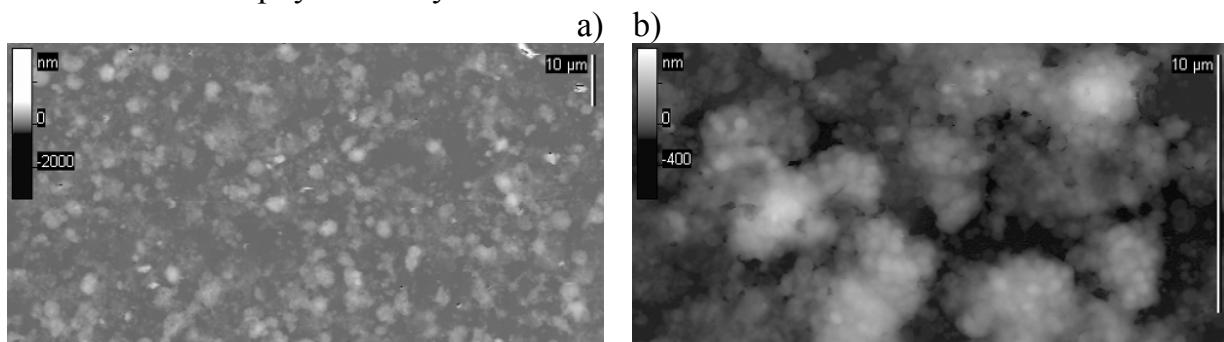


Рис 3. АСМ изображения одного слоя хлоропластов, полученного, на поверхности подложки из слюды (а,б)

Данный метод может использоваться для получения новых тонкопленочных композитных материалов и покрытий, используемых в сенсорных, аналитических, диагностических устройствах, системах мониторинга состояния гидросферы.

- [1] Dementiev A.A., Baikov A.A., Ptushenko V.V., Khomutov G.B. and Tikhonov A.N., Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes, 2005, v. 1712, p. 9-16.
- [2] Дементьев А.А., Семенов А.Ю., Тихонов А.Н., Хомутов Г.Б., патент РФ № 2326898.
- [3] Tikhonov A.N., Khomutov G.B., Ruuge E.K., Blumenfeld L.A., Biochim. Biophys. Acta, 1981 v.637, p.21–333.

Новый метод математического моделирования течений жидкости в приближении мелкой воды

Афанасьева М.В., Булатов О.В.

Кафедра нейтронографии и кафедра математики, Физический факультет,
МГУ имени М.В. Ломоносова

Движение несжимаемой жидкости со свободной поверхностью в поле тяжести описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных в так называемом “приближении мелкой воды”, или уравнениями Сен-Венана [1]. Эта математическая модель широко используется для расчета задач, представляющих большой практический интерес. В частности, это математическое моделирование течений в неглубоких водоемах, реках, водохранилищах, течений вблизи побережья морей и океанов, расчет волн цунами и сброса вод вблизи гидроэлектростанций, а также множество других задач, непосредственно связанных с проблемами экологии, атмосферной физики и океанологии.

По своей природе уравнения мелкой воды тесно связаны с уравнениями динамики газа, поэтому для численного решения уравнений мелкой воды используются алгоритмы, развитые для расчета газодинамических течений, которые достаточно сложны [2].

В этой работе предлагается абсолютно новый эффективный метод численного расчета нестационарных уравнений мелкой воды. Предложенный метод основан на специальном виде регуляризации уравнений газовой динамики [3]. Его основные достоинства – простота численной реализации, высокая скорость сходимости к точному решению при сгущении пространственной сетки, возможность расчета колебательных течений. Последнее особенно важно для численного моделирования нештатных ситуаций на гидростанциях. Важными достоинствами алгоритма являются его естественная адаптация на неструктурированные пространственные сетки и возможность его эффективной реализации на современных многопроцессорных вычислительных комплексах, что позволяет описывать реальные конфигурации береговой линии.

Первые результаты, полученные в данном направлении, изложены в [4] и [5].

- [1] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, Наука, М., 1986.
- [2] Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. Москва, Физматлит, 2001.
- [3] Елизарова Т.Г. Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений. Москва, Научный мир, 2007.
- [4] Елизарова Т.Г., Афанасьева М.В. Регуляризованные уравнения мелкой воды. Вестник Московского университета. № 1. В печати.
- [5] Елизарова Т.Г., Булатов О.В. Численное моделирование течений газа на основе квазигидродинамических уравнений. Вестник Московского университета. № 6. В печати.

Импульсный разряд над поверхностью воды: характеристики и возможности технического применения.

аспирант Ваулин Д.Н., студент Квас А.А.
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра физической электроники.

Импульсные высоковольтные электрические разряды, создаваемые в атмосфере между двумя электродами, один из которых размещен над поверхностью слабопроводящей жидкости, а второй контактирует с ней [1-4], могут быть эффективны для целого ряда технологических применений: электроразрядная очистка воды, инициирование реакций в жидкости с использованием активных частиц, образующихся в газовой фазе, обработка материала твердого электрода, воспламенение скоростных потоков как газообразных, так и жидких углеводородов.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований условий реализации импульсного разряда над поверхностью воды и определения основных характеристик его распространения.

Эксперименты проводились на установке, схема которой приведена на (рис. 1). Вода наливались в диэлектрическую кювету, над которой располагался высоковольтный электрод в виде заостренного стержня. Второй электрод размещался в воде у противоположной стенки кюветы.

Разряд создавался высоковольтным импульсным генератором, вырабатывающим импульсы квазипрямоугольной формы длительностью $\tau = (10 - 800)$ мкс и амплитудой $U_0 = (5 - 28)$ кВ.

Были определены начальные условия, необходимые для существования разряда над поверхностью воды: падающая вольтамперная характеристика, существование первичного линейного пробоя воздушного промежутка и наличие непрерывного электрического контакта между разрядом и водой.

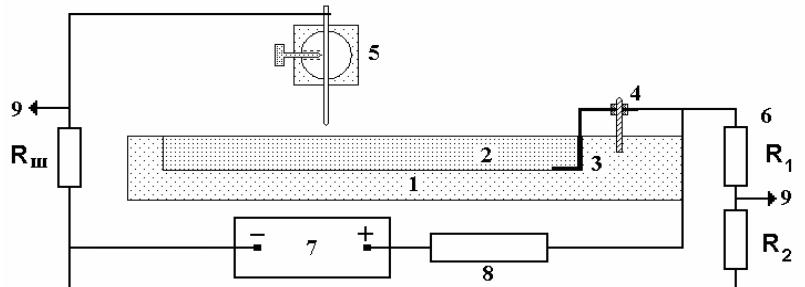


Рис. 1.

Показано, что в зависимости от начальных условий разряд может носить как незавершенный, так и завершенный характер, при котором он достигает противоположного электрода (рис. 2). При этом максимальная длина разряда, достигнутая в экспериментах равна 20 см при напряжении в импульсе 28 кВ, что более чем на порядок меньше напряжения, необходимого для создания разряда такой длины в воздушном промежутке.

Экспериментально определено, что основной характеристикой распространения разряда над водой является время, а, следовательно, и скорость его движения между электродами. Выявлены основные зависимости этого времени от широкого спектра

начальных условий: импульсное напряжение, длительность импульса, расстояние между электродами, полное сопротивление воды и др.

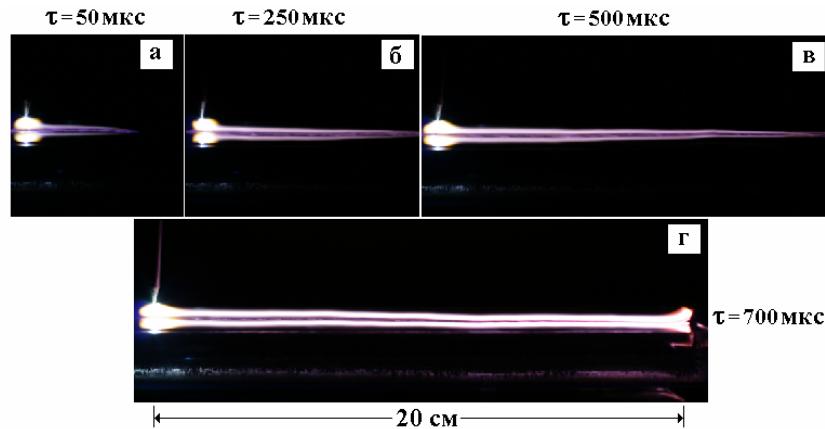


Рис. 2. незавершенный и завершенный вид разряда. $U_0=28$ кВ.

Были рассмотрены различные методы определения скорости распространения разряда над водой. Полученные результаты позволяют более детально изучить основные физические процессы, определяющие механизм распространения разряда над поверхностью воды или другой слабопроводящей жидкости.

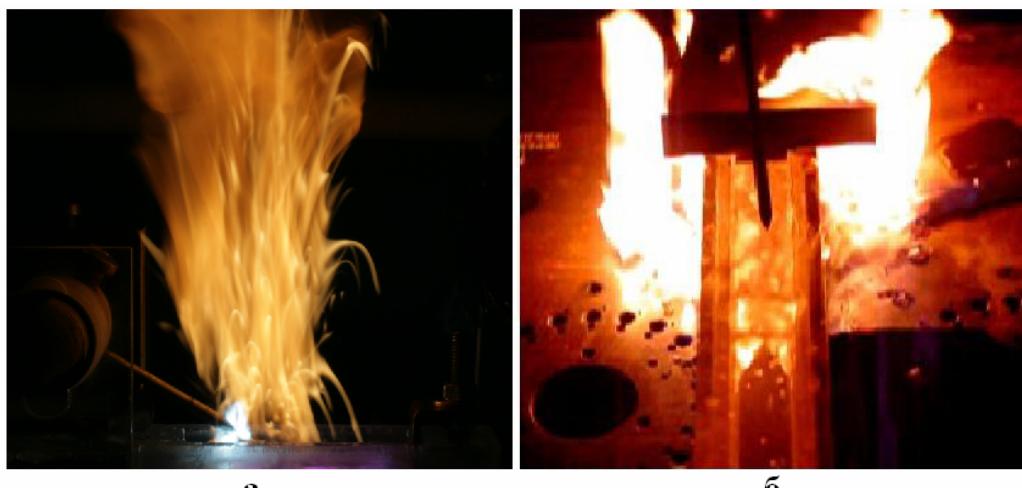


Рис. 3. Горение пленки бензина в инициированном импульсным разрядом: а - в неподвижном воздухе, б – в потоке при скорости 20 м/с.

Приводятся результаты исследования возможности применения импульсного разряда над поверхностью воды для воспламенения пленок углеводородов, нанесенных на ее поверхность (рис. 3). Из полученных экспериментальных результатов следует, что добавка бензина приводит к значительному увеличению интенсивности свечения разряда в течение импульса. После окончания импульса горение бензина может происходить в три стадии: фаза предварительного свечения, стадия паузы и фаза самостоятельного горения, причем по мере увеличения массы добавленного бензина время паузы уменьшается, и стадия самостоятельного горения начинается сразу же после окончания импульса разряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белошев В.П.* // ЖТФ. 1998. Т.68. Вып.7. С.44.
2. *Шмелев В.М., Евтухов Н.В. и др.* // Химическая физика. 2004. Т.23. №9. С.77.
3. *Пискарев И.М., Рылова А.Е., Севастьянов А.И.* // Электрохимия. 1966. Т.32. №7. С.895
4. *Гайсин А.Ф., Сон Э.Е.* // ТВТ. 2005. 2005. Т.43. №1. С.5.

Роль хиральных соединений в процессе эмбриогенеза

Ивлиева А.А., Твердислов В.А.

Кафедра биофизики, Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Во время эмбриогенеза включаются каскады реакций, регулирующих и поддерживающих развитие плода. Авторами выдвинута гипотеза, согласно которой регуляторные механизмы, действующие в раннем эмбриогенезе, отражают процессы, связанные с происхождением живых клеток - формированием двух фундаментальных асимметрий: клеточной (ионной) и молекулярной (хиральной).

Экспериментально установлено, что неравновесная поверхность Мирового океана обладает физико-химическими свойствами, обеспечивающими ионную асимметрию, фракционирование энантиомеров аминокислот, нуклеиновых оснований и формирование замкнутых везикул, т.е. условия, необходимые для самопроизвольного возникновения предшественников клеток (В.А.Твердислов, Л.В.Яковенко).

Хиральная асимметрия составила основу стереоспецифичности биосинтеза, ферментативного катализа, рецепции, гормональной регуляции, иммунитета, обусловила «хиральную чистоту» биосферы.

- Хиральная асимметрия закрепилась в ходе биологической эволюции, включившей в рибосомальный синтез белков только L- аминокислоты, а в биосинтез - нуклеиновые кислоты, содержащие только D- (дезокси)рибозу.
- В ходе старения организмов и при развитии патологий происходит спонтанная рацемизация аминокислот в полипептидных цепях белков (преимущественно L-аспартата).

Онтогенез и филогенез

Эмбриология тесно связана с эволюционной теорией, Дарвин (1859*) использовал характерные черты развития зародышей как одно из доказательств эволюции. Геккель (1866*) выявил связь эмбриологии с филогенией.

Формирование организма в рацемическом материнском «бульоне» на начальных этапах повторяет стадии отбора ионов и стереоспецифических хиральных веществ, характерных для формирования протоклеток в морской воде. Разумеется, речь идет о воспроизведении стадий, но не их биофизических механизмов.

Хиральная Регуляция

До недавнего времени считалось, что биосфера гомохиральна и имеет дело только с L-аминокислотами, но исследования последних лет отмечают наличие D-аминокислот как в свободном состоянии, так и в составе пептидов, что модулирует их биологическую активность и защищает от протеаз.

Рацемизация L/D аминокислот при старении и атеросклеротических изменениях, болезнях Альцгеймера и Паркинсона, формирует положительную обратную связь в системе регуляции процессов метаболизма.

Исследования последних лет установили, что D-аминокислоты находятся в динамическом потоке, они сами или в составе пептидов принимают участие в нейродифференцировке эмбриональных листов (свободный D-аспартат найден в

большом количестве в тканях ЦНС и эндокринной системе - гипофизе, шишковидной железе, надпочечниках...). Его концентрация изменяется в зависимости от органов и стадии развития в процессе развития эмбриона эмбриогенеза.

D-аспартат - новый тип мессенджера у млекопитающих. Он выходит из клетки после синтеза и может участвовать в аутокринной и паракринной системах. Пример аутокринной активности: в передней доле гипофиза пролактин-синтезирующие клетки вырабатывают D-аспартат, который усиливает секрецию пролактина. Пример паракринной активности: в яичках D-аспартат производится в семявыносящем канале при взаимодействии с клетками Лейдига, что приводит к усилению выработки тестостерона. Надпочечники и шишковидная железа используют готовый D-аспартат. Посредством него надпочечники регулируют выработку тестостерона в яичках. Аналогично, D-аспартат в эпифизе может подавлять выработку мелатонина. Физиологическая роль D-аспартата в мозге неясна. Однако, D-аспартат антагонист рецептора L-Глютамата, который вовлечен в развитие и нейрогенез мозга. Более того, D-аспартат может стимулировать синтез нейростероидов в мозге.

Имеющиеся данные указывают на ключевую роль D-аспартата в регуляции развития организма во время эмбриогенеза и после рождения. Имеются основания считать, что подобная схема регуляции является одной из первичных, и ее нарушения способны приводить к развитию патологий.

Это новое направление исследований представляется важным и перспективным. Планируется выяснить концентрационную динамику аминокислотного состава эмбриональной жидкости при первых делениях ооцита. Инновационная перспектива исследования состоит в разработке методики, которая заключается в подборе эффективного соотношения аминокислот и их энантиомеров для терапии патологических изменений в эмбриогенезе.

- [1] Твердислов В.А., Яковенко Л.В., Жаворонков А.А. Хиральность как проблема биохимической физики.//Журнал Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева, т. LI, №1, 2007. –С. 13-23.
- [2] Твердислов В.А., Яковенко Л.В., Жаворонков А.А. Хиральная чистота биосферы и экологическая безопасность.//Экология урб. тер., №1, 2007. –С. 6-1.
- [3] Biol Pharm Bull. 2005 Sep;28(9):1566-70. Free D-aspartate in mammals. Furuchi T, Homma H. Laboratory of Biomolecular Science, School of Pharmaceutical Sciences, Kitasato University, Tokyo, Japan.
- [4] Occurrence of D-aspartic acid in human seminal plasma and spermatozoa: Possible role in reproduction Gemma D'Aniello, M.D.,a Salvatore Ronsini, M.D.,a Francesco Guida, M.D.,a Patrizia Spinelli, Ph.D.,b and Antimo D'Aniello, Ph.D.b

Перспективные плазменные и ионно-пучковые нанотехнологии. Источники плазмы. Установки

Александров А.Ф., Вавишин К.В., Кралькина Е.А., Павлов В.Б.

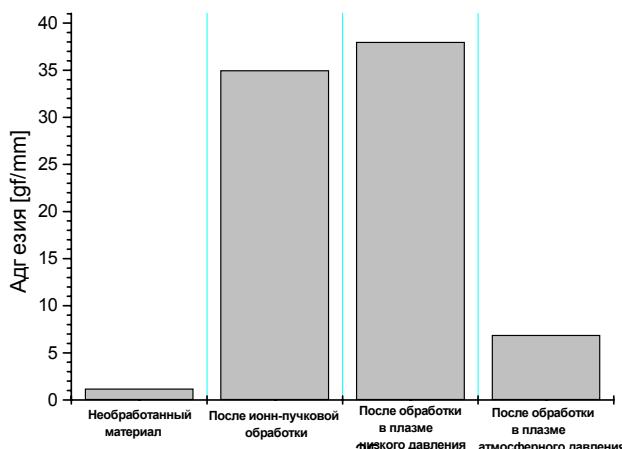
Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

В последнее десятилетие во всем мире наметилась устойчивая тенденция применения плазменных технологий в промышленных процессах. Это связано, во-первых, с широким спектром возможностей плазменных технологий, недоступных для ранее применяющихся методов, а во-вторых, с повышением требований к экологической чистоте промышленных процессов

На кафедре физической электроники физического факультета МГУ традиционно проводятся фундаментальные исследования в области физики и химии плазмы, микро- и наноэлектроники. Уровень полученных фундаментальных результатов сопоставим с мировым, а по ряду позиций опережает аналогичные зарубежные разработки в указанных областях науки. Фундаментальные результаты, полученные на кафедре, использованы для разработки оригинальных прототипов плазменных источников, плазменных, ионно-пучковых и нано- технологий. К настоящему времени основными разработками кафедры являются: энергетически эффективные семейства источников плазмы и ионов, работающих при пониженных давлениях, семейства источников плазмы, работающих при атмосферном давлении, технологии поверхностной модификации материалов, позволяющие существенно повысить адгезию покрытий к поверхности материалов, технологии плазменной полимеризации, позволяющие осаждать наноструктурированные покрытия.

Результат применения технологии, позволяющей усилить адгезионные свойства материалов, показан на рис.1 на примере фторопласта. Как видно, использование вакуумных технологий позволяет повысить адгезию фторопласта более чем в 10раз. Более дешевая обработка фторопласта в разряде при атмосферном давлении позволяет увеличить адгезию в 4-5 раз.

Рис.1. Диаграмма изменения адгезии фторопласта после ионно-пучковой и плазменной технологической обработки.



На рис.2 показана структура покрытия, осажденного при различных условиях работы оригинального плазменного реактора, использующего в качестве рабочей среды смесь ацетилена с азотом.

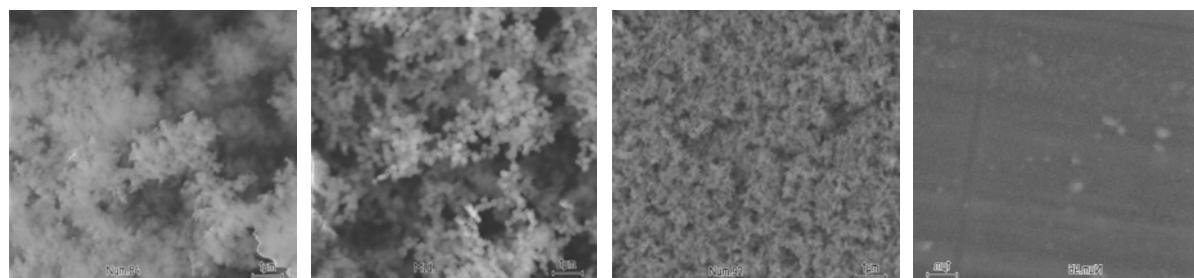


Рис.2. Структура полимера, осажденного при различных параметрах разряда.

Помимо источников плазмы и технологий на кафедре физической электроники Разработана техническая документация на технологические установки для реализации разработанных процессов.

Новые нанокомпозитные и нанопленочные материалы

Хомутов Г.Б.

Физический факультет МГУ

gbk@phys.msu.ru

Проект имеет целью разработку научно-методических основ экономически эффективных и экологически рациональных технологий создания новых функциональных наноструктурированных материалов с заданными свойствами для использования в современных высоких технологиях. Проект основан на результатах фундаментальных исследований взаимосвязей между химическим составом, структурной организацией, особенностями физических и химических взаимодействий наnano-уровне и физико-химическими свойствами наносистем и наноматериалов различной природы, включая биогенные, синтетические и гибридные наносистемы. В рамках проекта ведется поиск возможностей практического применения полученных результатов и создание инновационных продуктов (интеллектуальной собственности).

Проводится разработка научно-методической базы единой технологической платформы получения новых функциональных нанопленочных материалов и нанокомпозитов, содержащих нанофазные благородные и переходные металлы, основанной на общих принципах формирования материалов путем комбинирования и интегрирования ряда синтетических и физико-химических методов и подходов (монослоевой техники, физической и химической адсорбции, метода послойного формирования мультислойных структур, формирования поликомплексов, химического сшивания, конкурентных взаимодействий, замены лигандов, самосборки и самоорганизации) и нанокомпонентов различной природы. Важной частью работы является изучение процессов самосборки и самоорганизации в таких системах и выяснение возможностей управления такими процессами с целью их использования для разработки эффективных технологических решений, обеспечивающих экономически и экологически рациональное получение новых нанопленочных и нанокомпозитных материалов и наносистем относительно простыми способами без использования высоких или низких температур, высокого вакуума, высоких давлений или сильных внешних полей.

С использованием разработанных методов получены новые организованные неорганические, органические, гибридные органико-неорганические, био-неорганические, био-полимерные, композитные нанобиоматериалы и наносистемы различной размерности, том числе нанопленочные композитные материалы, характеризующиеся рекордными или уникальными структурными и/или функциональными характеристиками.

Разработки могут быть использованы для получения металлоконтактных нанокомпозитных наноструктурированных материалов, металлополимеров, для разработки функциональных элементов в электронике (в частности, в технологиях создания новых элементов электронных систем в устройствах обработки и хранения информации на основе транзисторов с плавающим

затвором, в системах «пластиковой» электроники в качестве металлсодержащих «чернил» для получения металлических проводников на различных поверхностях), в фотоэлектрических элементах и коллекторах, солнечных батареях, аккумуляторах и источниках питания, в технологиях получения материалов и покрытий со специальными свойствами (оптическими, механическими, химическими, термическими, электрическими, поглощение излучений, биоактивность и др.), для разработки новых наноструктурированных каталитических систем (в частности, в технологиях получения биотоплива путем каталитической переработки отходов производства деревообрабатывающей промышленности и возобновляемых источников органического сырья, а также в технологиях переработки нефти и нефтепродуктов путем жидкофазного низкотемпературного окислительного каталитического крекинга), функциональных нанокомпозитов. Разработаны подходы к созданию новых магнитосорбентов и систем управляемого транспорта и доставки микронных, субмикронных и молекулярных объектов в жидкой фазе, сепарационных и каталитических технологий, покрытий и средств модификации различных поверхностей, в том числе поверхностей коллоидных частиц (в, частности, бактерий), нитей и волокон (создание тканей и материалов с новыми и специальными свойствами). Разработанные методы могут использоваться также для получения новых биокatalитических систем, биосенсоров, ультратонких функциональных, модифицирующих и защитных пленок и покрытий на различных поверхностях, в том числе биологически активных (бактерицидных и стерилизующих) и биосовместимых нанопленочных материалов и покрытий, в био-медицинских и других промышленных технологиях.

Правовая защищенность объектов интеллектуальной собственности

1. Г.Б. Хомутов, С.П. Губин, Способ получения наночастиц и изготовления материалов и устройств, содержащих наночастицы, патент RU 2233791, дата публикации 20.01.2004
2. Губин С.П., Кислов В.В., Рахнянская А.А., Сергеев-Черенков А.Н., Солдатов Е.С., Трифонов А.С., Черничко Д.И., Хомутов Г.Б., Способ получения тонкопленочного нанокомпозитного покрытия на твердотельной подложке, патент RU 2324643, дата публикации 20.05.2008.
3. Дементьев А.А., Семенов А.Ю., Тихонов А.Н., Хомутов Г.Б., Тонкопленочный материал, содержащий функциональные компоненты, и способ получения тонкопленочного материала, содержащего функциональные компоненты, патент RU 2326898, дата публикации 20.06.2008.
4. Хомутов Г.Б., Кокшаров Ю.А., Кислов В.В., Таранов И.В., Тонкопленочный материал и способ получения тонкопленочного материала, патент RU 2336941, дата публикации 27.10.2008.
5. Khomutov G.B, Koksharov Yu.A., Kislov V.V., Taranov I.V., Thin-film material and a method for the production, Patent PCT WO/2008/105681, Publication date 04.09.2008.
6. Хомутов Г.Б., Органико-неорганические наноструктуры и материалы, содержащие наночастицы благородных металлов, и способы их получения, Патент RU 2364472, дата публикации 20.08.2009.

Диагностика полупроводниковых гетероструктур InGaN/GaN/AlGaN методами электроотражения и электролюминесценции

Авакянц Л. П.¹, Боков П.Ю.¹, Червяков А.В.¹, Чуяс А.В.¹, Юнович А.Э.¹,
Бауман Д.А.², Васильева Е.Д.², Явич Б.С.²

¹ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы 1 стр. 2, 119991 тел: (495) 939-2388, факс: (495) 939-1489, эл. почта: pavel_bokov@rambler.ru

² ОАО «Светлана-Оптоэлектроника», Санкт-Петербург, а/я 78, 194156

Исследованы интерференционные эффекты в спектрах электроотражения и электролюминесценции в полупроводниковых светодиодах на основе гетероструктур AlGaN/GaN/InGaN. Исследовано влияния изменения параметров гетероструктур на спектры и эффективность электролюминесценции светодиодов на основе гетероструктур AlGaN/GaN/InGaN.

Кристаллы светодиодов с р-п- гетероструктурами типа InGaN/AlGaN/GaN, выращенные методом металло-органической эпитаксии (MOCVD) на сапфировой подложке (Al_2O_3), монтировались в теплоотводящий корпус методом «flip-chip» [5, 6]. На подложке последовательно выращивались буферный слой i-GaN (толщина < 500 нм); буферная сверхрешетка InGaN/GaN и слой n-GaN (толщина 3.5 мкм); 5 квантовых ям $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ (активная область, $x=0.13-0.15$, толщины квантовых ям 3 нм, барьера 12 нм); слой, блокирующий поперечный транспорт электронов, p-AlGaN (толщина 20 нм); и слой p-GaN (толщина 110 нм). Со стороны контакта к р- области наносилось отражающее зеркало.

При регистрации спектров гетероструктура освещалась через прозрачную в оптическом диапазоне сапфировую подложку. Угол падения зондирующего излучения на кристалл светодиода составлял 8°. Спектральное разрешение установки не хуже 1 мэВ. Модуляция коэффициента отражения осуществлялась приложением к контактам светодиода периодического напряжения в виде прямоугольных импульсов с частотой 370 Гц. со скважностью 2 и постоянным смещением, при котором р-п – переход оставался закрытым (от -7 до + 2 В).

В спектрах электроотражения исследуемых образцов обнаружены интерференционные полосы различных периодов. В результате обработки спектров с учетом дисперсии показателя преломления в GaN оценены характерные толщины областей, в которых наблюдается интерференция: 4.5 мкм, 500 нм, 200 нм. Первому значению соответствует толщина всей гетероструктуры без учета подложки, второму значению – толщина буферного слоя i-GaN, третьему – область, включающая в себя множественные квантовые ямы и слои p-AlGaN, p-GaN. Появление в спектрах электроотражения интерференционных полос от слоя i-GaN и от области квантовых ям со слоями p-AlGaN, p-GaN, по видимому, связано со сравнительно большим коэффициентом отражения от активной области гетероструктуры. Периодическое экранирование пьезоэлектрических полей в этой области при

модуляции приводит к появлению интерференционного сигнала в спектрах электроотражения.

Исследовано влияние легирования InGaN буферной сверхрешетки в гетероструктурах типа InGaN/AlGaN/GaN на вольтамперные характеристики, эффективность и спектры электролюминесценции светодиодов. Обнаружено, что увеличение числа периодов буферной сверхрешетки и уменьшение концентрации легирующей примеси в ней приводят к сдвигу максимума спектра в длинноволновую область ($440 \div 460$ нм), к более заметной зависимости положения максимума от силы тока и к появлению в спектрах малоинтенсивной коротковолновой полосы с максимумом 3.03 эВ. Это связано с тем, что в структурах с одной активной квантовой ямой при увеличении силы тока наблюдается больший сдвиг электронного квазиуровня Ферми и часть неравновесных носителей рекомбинирует на акцепторе Mg в р-области.

Исследовано влияние концентрации легирующей примеси и толщины р-AlGaN барьера и р-GaN контактного слоя на вольтамперные характеристики, эффективность и спектры электролюминесценции светодиодов. Обнаружено, что положения максимумов в спектрах электролюминесценции светодиодов изменяются с увеличением концентрации акцепторов Mg немонотонно (положения максимумов 461 – 457 – 477 нм). Эффективность светодиодов при больших токах растет с увеличением концентрации акцепторов.

Исследовано влияние вариаций расстояния от буферной решетки до активной области и числа квантовых ям (1 или 2) в активной области на вольтамперные характеристики, эффективность и спектры электролюминесценции светодиодов. Положение основного спектрального максимума изменялось в пределах 2,719 – 2,707 эВ (458 – 455 нм) и для среднего расстояния от буферной сверхрешетки было минимальным по энергии. Показано, что в спектрах образцов с одной квантовой ямой с увеличением силы тока до 100 мА проявляется полоса в области высоких энергий, $\eta\omega_{max2} = 3.099 - 3.01$ эВ. В этих пределах положение $\eta\omega_{max2}$ сдвигалось в коротковолновую область с увеличением расстояния до буферной сверхрешетки. В образцах с двумя квантовыми ямами эта интенсивность этой полосы на порядок меньше. Это можно объяснить, если считать, что высокоенергическая полоса соответствует рекомбинации в р-GaN барьере, куда электроны перетекают при большой плотности тока после заполнения квантовых ям. Через две квантовые ямы это перетекание при данной плотности тока менее вероятно.

Во всех образцах интерференционная модуляция в спектрах электролюминесценции имеет относительную амплитуду менее 0.023. Это связано с тем, что в технологии создания структур была создана шероховатая поверхность на границе GaN с сапфировой подложкой.

Информация о положении области множественных квантовых ям по отношению к зеркалу резонатора гетероструктуры является практически важной и позволяет контролировать качество изготавливаемых резонаторов. Наибольшая эффективность излучения светодиодов в области силы тока до 100 мА достигается при близком расстоянии буферной сверхрешетки до активной области.

Метод диагностического контроля, сопровождающий модификацию поверхности пьезокварцевого сенсора

Алешин Ю.К.¹, Чоба М.А.².

1. Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
2. Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Кварцевые микровесы – измерительные автогенераторные устройства, предназначенные для преобразования изменений массы, присоединенной к поверхности кварцевого пьезорезонатора, в приращения выходной частоты автогенератора. Основные достоинства кварцевых микровесов следующие: а/ разрешающая способность масс-чувствительных сенсоров достигает 10^{-11} г, б/универсальность; методом микрозвешивания проводятся измерения множества параметров: толщины пленок, состава газовых смесей, концентрации микропримесей, окислительной стабильности, и т. д., в/ работоспособность в широком диапазоне, г/ малые габариты, высокая устойчивость к ударам, вибрациям, большие химическая и радиационная стойкость, д/ не нарушаются условия гомеостаза (имеет особое значение в измерении концентрации химических веществ), е/ невысокая стоимость и доступность.

С увеличением числа слоев происходит сужение области применения такого сенсора. Например, для сенсора с базовой частотой 10МГц максимальный уход частоты составляет 180 кГц, что ограничивает диапазон измерения присоединенной массы. В приведенном примере описано создание сенсора на овальбумин, при изготовлении которого использовалась оригинальная методика нанесения покрытий, имеющих на поверхности активные химические центры взаимодействия со строго определенными индивидуальными молекулами. Слои в таких датчиках соединены сильными химическими связями. В данной работе поставлена задача увеличения рабочего диапазона применения сенсора методом оптимизации процесса нанесения многослойного покрытия. Непрерывный контроль над этим процессом проводился измерением ухода частоты во время химической реакции нанесения последовательных слоев на поверхность электрода пьезосенсора.

Чувствительность, данного сенсора (с учетом площади поверхности ПКР) составила 0.78 нг/Гц.

Используя эту методику, был получен следующий результат: для данного сенсора максимальное значение присоединенной массы, которое может быть измерено в данных условиях, составляет 25 мкг.

Полимерные нанокомпозитные солнечные фотоэлементы

Громченко А.А.

Международный учебно-научный лазерный центр МГУ им М.В. Ломоносова

До недавнего времени развитие солнечной энергетики напрямую было связано с неорганическими полупроводниками, в частности с кремнием. Однако высокая стоимость кремниевых фотоэлементов не позволяет им конкурировать с традиционными источниками энергии. Расширение областей применения солнечных батарей требует разработки новых фотovoltaических материалов и технологий для создания конкурентоспособных устройств.

В качестве основы таких фотovoltaических материалов нового поколения рассматривают органические полупроводники, в частности полупроводниковые полимеры. Они сочетают в себе управляемые полупроводниковые свойства (ширина запрещенной зоны, высокий коэффициент поглощения и др.) с привлекательными свойствами полимеров (пластичность, технологичность, низкая стоимость). В последнее время показано, что перспективным путем к созданию солнечных фотоэлементов (СФ) является использование органических структур на основе нанокомпозитов полупроводниковых полимеров с фуллеренами. КПД лучших лабораторных образцов полимер-фуллереновых СФ, согласно литературным данным, на сегодня составляет 4–6% при толщине активного слоя менее 200 нм. Считается, что КПД СФ на уровне 5% уже достаточно для начала масштабной коммерциализации, т.к. полимеры наделяют СФ новыми качествами — гибкостью, малым весом, полупрозрачностью и низкой стоимостью.

Основная проблема в области органических СФ — создать активный слой, обеспечивающий максимально возможный КПД. Один из наиболее удачных и хорошо исследованных активных слоев СФ, обеспечивающий КПД более 4%, состоит из композита поли[3-гексилтиофена] (РЗНТ) и растворимого метанофуллерена C_{60} (PCBM). С другой стороны, теоретический предельный КПД для такого активного слоя не превышает 5%, следовательно, для разработки эффективных полимерных СФ нужны новые материалы для активного слоя, в частности, новые производные фуллеренов. Перспективными производными фуллеренов могут служить экзоэдralльные комплексы фуллеренов с металлами платиновой группы (МКФ). Во-первых, присоединение иона металла к фуллеренновому каркасу приводит к уменьшению электронного сродства по сравнению с исходным фуллереном, во-вторых, МКФ могут иметь существенно более высокое поглощение в видимой области спектра, чем исходные фуллерены. Это может обеспечить более высокие значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания СФ и, следовательно, увеличить КПД СФ.

Настоящая работа посвящена исследованию фотоэлектрических характеристик СФ на основе нанокомпозитов полупроводниковых полимеров с МКФ и измерению дрейфовой подвижности носителей заряда в пленках МКФ.

В ходе работы была разработана и отлажена методика изготовления лабораторных образцов полимерных нанокомпозитных СФ. Для отладки методики были изготовлены СФ на основе хорошо исследованного нанокомпозита полупроводникового полимера РЗНТ и производной фуллерена (1-(3-метоксиарбонилпропил)-1-фенил)[6,6]метано[С₆₀]фуллерена (PCBM). Образцы имели многослойную структуру. На прозрачную подложку с проводящим слоем оксида индия и олова (ITO) наносился вспомогательный слой полимера поли(3,4-этидиокситиофена)/поли(стиролсульфоната) PEDOT:PSS толщиной около 30 нм; затем наносился активный слой исследуемого нанокомпозита, после чего термически напылялся слой сплава CaAl. Методика изготовления образцов требовала тщательной подготовки поверхности подложки к нанесению нанокомпозитного слоя, а также оптимизации условий нанесения верхнего и нижнего электродов. С использованием данной методики были изготовлены образцы СФ с КПД 4%, что ставит их в один ряд с лучшими образцами СФ на основе РЗНТ/PCBM.

Была исследована подвижность электронов в образцах МКФ (η^2 -C₆₀)IrH(CO)(DIOP) (IrC₆₀), (η^2 -C₆₀)Os(CO)(tBuNC)(PPh₃)₂ (OsC₆₀), (η^2 -C₇₀)Os(CO)(tBuNC)(PPh₃)₂ (OsC₇₀), (η^2 -C₇₀)[Os(CO)(tBuNC)(PPh₃)₂]₂ (diOsC₇₀) и C₆₀[IrH(CO)(PPh₃)₂]₂ (diIrC₆₀), синтезированных в ИНЭОС РАН группой Ю.Н. Новикова. Также исследовались фотоэлектрические характеристики СФ на основе нанокомпозитов данных МКФ с полупроводниковым полимером РЗНТ.

Максимальное значение подвижности электронов продемонстрировали пленки МКФ IrC₆₀, подвижность которых составила 5×10^{-4} см²/В·с. Полученное значение дрейфовой подвижности электронов в пленках IrC₆₀ делает возможным применение IrC₆₀ в полимерных СФ. Далее были изготовлены СФ на основе исследуемых МКФ и исследованы их вольт-амперные характеристики и спектры фототока. Напряжение холостого хода СФ с активным слоем РЗНТ/IrC₆₀ превысило аналогичный параметр опорного СФ РЗНТ/PCBM на 0.15 В. Однако КПД у СФ РЗНТ/IrC₆₀ оказался достаточно низким (0.86%) из-за низких значений тока короткого замыкания и фактора заполнения. Возможно, более низкие фототоки в образцах с рабочим слоем РЗНТ/IrC₆₀, чем в опорных образцах, являются следствием неоптимальной морфологии активного слоя. Для фотоэлементов на основе МКФ использовался протокол приготовления, отработанный для РЗНТ/PCBM. Однако, так как растворимость и подвижность в МКФ ниже соответствующих значений для PCBM, вполне вероятно, что оптимальный протокол приготовления нанокомпозита должен быть иной.

Таким образом, разработана методика изготовления полимерных СФ как на стеклянных, так и на гибких подложках, позволяющая получать СФ на основе нанокомпозита РЗНТ/PCBM с характеристиками, не уступающими лучшим мировым образцам. Рассмотрена возможность применения МКФ в полимерных СФ. Высокие значения подвижности электронов в пленках МКФ и напряжения холостого хода у СФ на их основе указывают на перспективность дальнейших исследований МКФ для повышения КПД полимер-фуллереновых СФ.

Нелинейно-оптическая спектроскопическая диагностика фазовых переходов молекулярных сред в нанопорах и определение параметров нанопористых материалов

Аракчеев В.Г., Валеев А.А.

Международный учебно-научный лазерный центр
МГУ имени М.В. Ломоносова

Благодаря уникальным свойствам нанопористых материалов диапазон их применения в химической промышленности, медицине и других областях постоянно расширяется. В настоящее время нанопористые материалы используются в большом количестве технологических и научных приложений, связанных с катализом, экстракцией, ионообменом, созданием биосенсоров и некоторых других. Существует ряд новых многообещающих идей применения нанопористых материалов, в числе которых идея создания лекарств пролонгированного действия. Применение твердых нанопористых структур часто связано с заполнением пор молекулярной средой, являющейся агентом химической реакции или выполняющей транспортную функцию по доставке в поры или извлечению из пор каких-либо компонентов в растворенном виде. Физико-химические свойства молекулярной среды, такие как растворяющая способность, вязкость, сжимаемость, играют важнейшую роль в таких процессах и существенно зависят от ее фазового состояния. Условия ограниченного пространства, а также эффективное взаимодействие молекул среды со стенками пор существенно сказываются на ее фазовом поведении в нанопорах. Поэтому описание фазового поведения среды в условиях нанопор представляет собой важную задачу как с фундаментальной, так и с практической точки зрения.

Для диагностики фазовых состояний и переходов молекулярных сред в нанопорах традиционно применяются статистические методы. В их основе которых лежит измерение массы молекулярной среды, заполняющей объем пор и адсорбированной на их поверхности, а также внешнего по отношению к нанопористому образцу давления. Эти методы позволяют осуществлять лишь опосредованную диагностику и эффективны в том случае, если время установления равновесного состояния в порах нанопористого материала достаточно мало. Однако, согласно оценкам, приведенным в новейших работах, время установления фазового равновесия в порах объемных нанопористых структур с развитой взаимосвязью пор диаметром несколько нанометров и менее может значительно превосходить разумное время проведения эксперимента. Разработка экспериментальных методов, позволяющих проводить непосредственную диагностику фазовых состояний и переходов молекулярной среды, помещенной в поры нанопористых материалов с различной структурой, представляет собой в настоящее время актуальную и принципиальную задачу, имеющую как фундаментальный, так и прикладной аспект.

В настоящей работе развит экспериментальный подход к диагностике фазовых переходов, основанный на методе КАРС-спектроскопии. Диагностика фазовых состояний и переходов в данном случае проводится на основании

поведения молекулярных спектров среды, которые существенно различаются для разных фаз. Источником сигнала является среда, находящаяся в нанопорах, что позволяет проводить непосредственную диагностику. Высокое спектральное разрешение позволяет диагностировать различные фазы в том числе при их одновременном присутствии в нанопорах. Высокое пространственное разрешение применяемого метода позволяет проводить диагностику фазовых состояний и фазовых переходов молекулярных сред в нанопорах в локальных областях внутри объемных нанопористых объектов. Высокое временное разрешение позволяет характеризовать замедленную динамику установления фазового равновесия молекулярной среды в объеме нанопористого материала.

Фазовое поведение молекулярной среды в нанопорах определяется параметрами нанопористой структуры. Давление, при котором в нанопорах происходит переход в конденсированное состояние, в основном определяется формой и диаметром пор. Время установления фазового равновесия в объеме трехмерного нанопористого образца существенно зависит от степени взаимосвязи пор. Величина внутренней поверхности пор определяет количество адсорбированного на поверхности вещества. Развитый в работе подход на основе метода КАРС-спектроскопии позволяет определять условия фазовых переходов молекулярной среды в нанопорах, и, таким образом, может применяться для определения параметров нанопористых структур.

Улучшение разрешающей способности атомно-силового микроскопа при помощи компьютерного моделирования

Годзи М.Г.¹

1. ИП Максим Германович Годзи

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) является одним из самых распространенных методов визуализации нанообъектов в исследовательских и промышленных целях. Информация, получаемая данным методом, носит не только иллюстративный характер, но также позволяет анализировать ряд физических свойств адсорбированных образцов, изучать параметры адсорбции и осуществлять наблюдение процессов, происходящих в адсорбированном слое. Несмотря на всю привлекательность использования доступной и гибкой методики АСМ для детального исследования биологических объектов в биологическом и медицинском аспектах нанотехнологий, следующие технические трудности вносят экспериментальные ошибки, ограничивая точность визуализации объектов десятками нанометров:

- исследуемые биологические нанообъекты часто представляют собой отдельные молекулы биополимеров с характерными размерами близкими, или даже меньшими размеров взаимодействующей части зонда;
- взаимодействие зонда с образцом может приводить к налипанию отдельных молекул образца на взаимодействующую часть зонда, искажая данные сканирования;
- невозможность получения чистого образца нанообъекта биологической природы требует фильтрации получаемых в АСМ изображений от визуализированных примесных объектов;
- деформируемость даже высущенных биологических объектов приводит к порче образца или неверной информации о размерах исследуемых объектов.

В последние годы различные исследовательские группы предпринимали попытки преодолеть данные трудности путем дополнительной компьютерной обработки сигналов положения зонда и действующих сил и дополнительных процедур очистки зондов. В результате были усложнены техника АСМ эксперимента и сам прибор, что позволило выявлять заведомо недостоверные области сканирования, однако существенных улучшений детализации сканируемых биологических объектов добиться не удалось.

Нашей научной группой предложен инновационный подход, позволяющий использовать последние достижения методов компьютерного

моделирования для выведения атомно-силовой микроскопии на качественно новый уровень, при котором она может быть использована для исследования ряда биологических объектов с нанометровой точностью.

Построив первую в мире компьютерную модель зондового сканирования, воспроизводящую движения атомов зонда в соответствии с различными модами сканирования и учитывающую все межатомные взаимодействия зонда с поверхностью подложки и образцом, мы получили возможность фильтрации и уточнения экспериментальных данных. Алгоритм фильтрации и уточнения основан на сравнении сырых данных экспериментального сканирования образца и моделируемого сканирования исследуемых молекулярных комплексов, адсорбированных на атомную модель подложки в ходе предварительной молекулярно-динамической компьютерной симуляции.

Подход компьютерного моделирования зондов и окружения на атомном уровне предполагается также использовать для конструирования и калибровки биосенсоров, имеющих кантилеверное устройство.

На основе полученных результатов нашей научной группой ИП Максим Годзи разрабатывается новая модель атомно-силового микроскопа со встроенным аппаратным суперкомпьютерным блоком молекулярного моделирования, не имеющая мировых аналогов. Данная инновация обеспечит исследовательские и промышленные лаборатории наноиндустрии недорогим и доступным средством для исследования адсорбированных биологических нанообъектов с точностью до десятка ангстрем.

Новый материал – одностенные гетерофазные нанотрубки из углерода и нитрида бора, синтезированные методом газофазного осаждения

Гребенюков В.В.^{1,2}, Арутюнян Н.Р.², Образцова Е.Д.^{1,2}, Тонких А.А.²

1. Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

2. Институт общей физики имени А.М. Прохорова РАН

В настоящее время метаматериалы на основеnanoструктур представляют большой интерес для различных промышленных применений. Одними из наиболее популярных nanoструктур являются одностенные углеродные нанотрубки (ОУН). Эта популярность обусловлена способностью ОУН иметь различную ширину запрещённой зоны в зависимости от своих геометрических параметров — диаметра и хиральности. Эта ширина может варьироваться от 0 до 1,4 эВ, то есть углеродные нанотрубки могут иметь металлические или полупроводниковые свойства.

Основной трудностью при работе с углеродными нанотрубками является стохастический характер распределения их геометрических параметров и, как следствие, электронных свойств. В настоящее время для решения этой проблемы используется либо разделение нанотрубок по плотности с помощью градиентного центрифугирования [1], либо их допирование различными атомами. Также допирование позволяет расширить диапазон изменения ширины запрещённой зоны, что недостижимо в случае чистых ОУН.

Независимо от выбранного способа обработки ОУН, выход пригодного для использования наноматериала уменьшается, а сложность работы и, как следствие, стоимость конечного продукта увеличивается.

Альтернативой обработке ОУН может стать синтез гетерофазных одностенных нанотрубок из углерода и нитрида бора (BNC-нанотрубки). Нитрид бора в гексагональной фазе это материал, обладающий сходными с графитом геометрическими характеристиками атомной решётки, способный образовывать нанотрубки. Нанотрубки из нитрида бора являются полупроводниками с шириной запрещённой зоны в 5,5 эВ независимо от геометрических характеристик. Ввиду сходных параметров атомных решёток считается возможным синтез одностенных нанотрубок состоящих, из участков ОУН и BN-нанотрубок. Ожидается [2], что электронные свойства таких гибридных nanoструктур также не будут зависеть от их геометрических параметров, и будут определяться соотношением BN:C. Это позволит управлять свойствами нанотрубок на этапе синтеза.

Такие nanoструктуры уже были синтезированы в малых количествах методами лазерной абляции [3] и дуговым методом [4]. В настоящем проекте для получения таких nanoструктур предлагается использовать метод газофазного осаждения (CVD). Этот метод успешно применяется для синтеза ОУН [5], и по сравнению с другими методами обладает широкими возможностями для масштабирования. В сочетании с высокой чистотой получаемого материала (99%

и выше), сравнительной простотой в реализации, а также возможностью выращивать нанотрубки на требуемых подложках по маске, этот метод синтеза является наиболее подходящим для промышленного применения.

- [1] A. I. Chernov and E. D. Obraztsova. "Density Gradient Ultracentrifugation of Arc Produced Single-Wall Carbon Nanotubes" // J. Nanoelectron. Optoelectron. 4, 224-226 (2009)
- [2] Tomoaki Yoshioka, Hidekatsu Suzuura, and Tsuneya Ando. "Electronic States of BCN Alloy Nanotubes in a Simple Tight-Binding Model" // J. Phys. Soc. Jpn. 72, 2003, pp. 2656-2664.
- [3] A. Loiseau, S. Enouz, et al. // Proceeding of XXth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Kirchberg (Austria), 2006, p. 110.
- [4] N.R. Arutyunyan, V.V. Grebenyukov, E.D. Obraztsova, A.S. Pozharov, E.P. Kharitonova, P. Jaffrenou, B. Attal-Tretou, A. Loiseau. "Complex study of single-wall nanotubes synthesized from C:BN mixtures" // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures 2008, pp. 368-373.
- [5] F.V. Golikov, A.S. Pozharov, E.D. Obraztsova, N.R. Arutyunyan, S.V. Terekhov, A.I. Chernov, V.I. Konov, L.D. Iskhakova, A.S. Lobach. "Synthesis and Characterization of Single-Wall Carbon Nanotubes Grown by Chemical Deposition of Ethanol Vapor" // Advances in Science and Technology Vol. 48 (2006) pp. 31-36

Разработка холодных катодных на основе наноструктурированного графитоподобного углерода

Ляшенко С.А.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Наряду с разнообразными твердотельными полупроводниками электронными приборами до настоящего времени активно используются также и вакуумные приборы (мощные транзисторы и диоды, рентгеновские и электронно-лучевые трубы, СВЧ генераторы и т.п.). Ключевым элементом любого электровакуумного устройства является источник электронов – катод. Наиболее распространеными являются катоды, принцип действия которых основан на явлении термоэлектронной эмиссии. Такие катоды обладают рядом недостатков: большие габариты, невысокая надёжность, большие энергопотери на подогрев катода, большое время разогрева катода.

Альтернативным способом получения электронных пучков является эффект автоэлектронной эмиссии. Одно из наиболее существенных преимуществ автокатодов состоит в отсутствии энергозатрат на эмиссию электронов, которая происходит в результате квантовомеханического туннелирования. Это потенциально может значительно уменьшить габариты и общее энергопотребление электровакуумных устройств. Другими потенциальными преимуществами использования автокатодов являются их постоянная готовность (т.е. не требуется времени на разогрев лампы) и монохроматичность испускаемых электронов.

Однако получение автоэмиссии требует создания у поверхности катода электрических полей огромной напряженности (порядка 10^9 В/м). Это значение может быть снижено при использовании катодов остройной или лезвийной формы – такая форма катода приводит к значительному локальному усилиению электрического поля в районе острия.

В данной работе рассматриваются возможности использования в качестве автокатодов углеродных пленок, состоящих из наноструктурированного графитоподобного материала. Это новый уникальный материал, представляющий собой мезо-пористые структуры в виде пластинчатых кристаллитов графита нанометровой толщины. Такие кристаллиты имеют преимущественную ориентацию вдоль нормали к поверхности подложки (отклонение в пределах 20°). При нанометровой толщине другие размеры кристаллитов (высота и длина) порядка 1 микрона. Проведенные нами исследования показали, что благодаря лезвийной форме кристаллитов на их поверхности оказывается возможным создание полей, требуемых для получения автоэмиссии, при умеренных напряжениях. Важной характеристикой любого катода является максимально достижимая плотность эмиссионного тока, для нанографитных материалов она составляет порядка 1 A/cm^2 , что позволяет использовать их в разнообразных электровакуумных устройствах. Исследование факторов, ограничивающих максимальный ток, поможет увеличить это значение, и сделать данные материалы еще более привлекательными.

Критически важным преимуществом нанографитных катодов является относительная невысокая стоимость их изготовления и совместимость используемых для этого методов с другими технологиями, применяемыми в

вакуумной электронике. Данные преимущества были продемонстрированы на примере катодолюминесцентных источников света нескольких типов, рентгеновских трубок и индикаторных электронно-лучевых трубок, испытание которых было проведено в рамках данной работы.

На основе полученных научных данных возможна разработка промышленной технологии изготовления нанографитных автокатодов для различных применений. Основным элементом этой технологии является установка плазмохимического осаждения. В качестве других важных элементов выступают оборудование для подготовки и тестирования материалов, в том числе, изготовленных катодов, а также накопленный опыт и ноу-хау.

Инвестиционное предложение для создания и внедрения такой технологии включает соответственно расходы на приобретение, указанного оборудования и интеллектуальной собственности, а также необходимых материалов и других материальных и нематериальных средств. Возможность окупаемости произведенных расходов и получение прибыли обусловлены востребованностью автокатодов и электровакуумных устройств на их основе.

[1] A.N. Obraztsov, V.I. Klesch, J. Nanoelectron. Optoelectron, 2009, V. 4, p. 207–219

[2] С.А. Ляшенко, А.П. Волков, Р.Р. Исмагилов, А.Н. Образцов, Письма в ЖТФ, 2009 г. Т. 35, В. 6, с. 1-8

Разработка нового типа быстродействующего акустооптического модулятора неполяризованного света для волоконно-оптических линий связи

Балакший В.И¹., Волошинов В.Б.¹, Соловьевников В.В².

1. Кафедра физики колебаний, Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
2. IPG Group GmbH, Германия

Явление дифракции света на ультразвуке (акустооптическое взаимодействие) в настоящее время является одним из основных эффектов, которые используются для управления оптическим излучением. Такие приборы акустооптики, как модуляторы, дефлекторы и фильтры, выпускаются многими фирмами мира и широко применяются не только в лазерной физике и оптоэлектронике, но также в экологии, медицине, военном деле. Это обусловлено их широкими функциональными возможностями, высоким быстродействием, малыми управляющими напряжениями, надежностью и простотой конструкции [1-3].

К сожалению, все эти приборы нормально функционируют, лишь когда падающее оптическое излучение имеет поляризацию одной из собственных мод используемого в устройстве кристалла (то есть линейную или эллиптическую). Это обусловлено акустооптической анизотропией среды: коэффициент акустооптического качества M , определяющий эффективность дифракции, имеет разные значения для разных оптических мод. Таким образом, чтобы акустооптический прибор нормально работал, необходимо на его входе ставить поляризатор. Но это приводит к потере половины световой мощности в случае неполяризованного оптического излучения, что во многих случаях является совершенно недопустимым.

Проблема управления неполяризованным светом чрезвычайно актуальна; она стоит в акустооптике с 60-х годов прошлого столетия. Наиболее простое решение заключается в использовании кристалла молибдата свинца ($PbMoO_4$), у которого найден уникальный срез, дающий одинаковые значения качества M для обеих оптических мод. Однако этот срез характеризуется относительно небольшим значением M , и эффект достигается при так называемой изотропной дифракции света, которая не позволяет создавать устройства с хорошими параметрами. Другое решение состоит в применении двух скрещенных акустооптических ячеек, расположенных последовательно, или же в расщеплении падающего светового пучка на два пучка с ортогональными поляризациями, а потом, на выходе ячейки, их сведении в один пучок. Эти методы имеют ряд недостатков: сложная конструкция, трудная юстировка системы, низкая надежность, увеличение управляющей мощности и др.

Еще одной серьезной проблемой, отчаивающейся ко всем акустооптическим устройствам, остается их высокая стоимость – несколько тысяч долларов только за модулирующую ячейку. Высокая стоимость обусловлена сложностью технологического процесса и необходимостью применения ручного труда

высококвалифицированных оптиков при изготовлении акустооптических ячеек. Высокая стоимость акустооптических приборов является серьезным препятствием для их более широкого применения в промышленности, медицине, бытовой технике и др.

Настоящий проект своей главной целью имеет разработку акустооптических устройств с возбуждением объемных акустических волн по новой технологии на основе собственного пьезоэлектрического эффекта акустооптического кристалла. Это позволит обойтись без пластинчатого пьезопреобразователя, используемого в настоящее время, изготовление которого в основном и определяет высокую стоимость акустооптических ячеек. В настоящее время наиболее подходящим для этих целей кристаллом является ниобат лития (LiNbO_3), имеющий хорошие акустооптические свойства и отличающийся чрезвычайно сильным пьезоэффектом [4].

Конкретная задача, решаемая в рамках проекта, состоит в разработке и экспериментальной реализации акустооптического модулятора светового излучения с длиной волны 1.06 мкм для волоконного иттербийового лазера, предназначенного для работы в системах волоконно-оптической связи. Поскольку такой лазер дает неполяризованное излучение, то на первом этапе работы основные усилия были направлены на поиск такого среза кристалла ниобата лития, который, во-первых, дает близкие значения акустооптического качества M для обеих поляризаций оптических мод, а во-вторых, – обеспечивает высокую эффективность дифракции (не менее 90%) при умеренном уровне потребляемой мощности. Детальный расчет акустических и акустооптических характеристик кристалла ниобата лития позволил найти срезы, перспективные для изготовления модулятора с заданными характеристиками: временем отклика модулятора – 0.1 мкс, потребляемой мощностью – менее 2 Вт, частотным диапазоном – 200 ÷ 250 МГц. Следует отметить, что указанные характеристики не являются предельными. Ниобат лития отличается уникально низким затуханием ультразвука, что позволяет использовать его на частотах до нескольких гигагерц. Расчет системы возбуждения ультразвука в кристалле также дал весьма оптимистические результаты: при оптимальной конструкции возбуждающих электродов эффективность преобразования подводимой электрической мощности в акустическую может достигать 50%.

Работа выполняется совместными усилиями двух коллективов из лаборатории Акустооптики кафедры физики колебаний физического факультета МГУ и российского филиала фирмы IPG Group GmbH (Германия). В настоящее время исследования находятся на стадии изготовления макета модулятора света, разработанного на основе выполненных расчетов.

1. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. *Физические основы акустооптики*. – М.: Радио и связь, 1985.
2. Xu J., Stroud R. *Acousto-optic devices*. – N.Y.: Wiley, 1992.
3. *Design and fabrication of acousto-optic devices*. / Ed. A.P. Goutzoulis and D.R. Pape. – N.Y.: Marcel Dekker, 1994.
4. *Акустические кристаллы*. Справочник. / Под ред. М.П.Шаскольской. – М.: Наука, 1982.

Высокоскоростное измерение волнового фронта

Ирошников Н.Г.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Работа датчика Шака-Гартмана в значительной степени определяется качеством используемого линзового растра. Разработанный патентованный способ изготовления обеспечивает великолепное качество матрицы линзового растра. На матрицу нанесено антибликовое покрытие с обоих сторон. Еще одно преимущество датчиков волнового фронта ShaH это оптимизированный алгоритм вычислений, что делает возможным работу датчика в режиме реального времени с частотой, превышающей 1000 кадров в секунду с использованием обычного ПК. Благодаря использованию низкоуровневого программирования и графического процессора, возможно получение данных о волновом фронте с разрешением до 512x512 пикселей и кадровой частотой 500 Гц. Этот режим подходит для управления современными жидкокристаллическими корректорами волнового фронта. Семейство датчиков волнового фронта ShaH включает в себя несколько моделей, начиная от недорогих ShaH 0620, которые можно использовать для обучения персонала, и заканчивая моделью высокого технического уровня, высокоскоростной ShaH-03500. Последняя использует ПЗС датчик, освещаемый со стороны подложки, с электронным усилением и с охлаждением до -100°C.

Область применения: астрономия, телеметрия, адаптивная оптика.



Рис 1: Высокоскоростной датчик волнового фронта ShaH-03500.

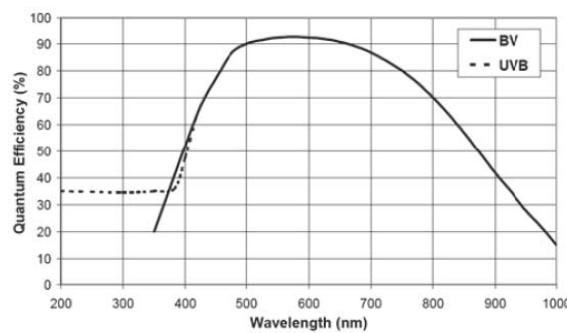


Рис 2: Спектральная кривая датчика ShaH-03500

Электрическое управление микромагнитной структурой как принцип работы элементов энергосберегающей памяти

Пятаков А.П., Мешков Г.А.; Сечин Д. А.; Сергеев А. С.; Николаева

Е. П.; Николаев А. В.; Логгинов А. С.

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

Магнитная память произвольного доступа (MRAM) рассматривается в настоящее время как новое поколение универсальных запоминающих устройств, объединяющих в себе достоинства полупроводниковой оперативной памяти (быстродействие) и постоянной магнитной памяти (энергонезависимость). Однако проблема энергосбережения в таких устройствах решена не полностью. В существующих опытных образцах запись информации осуществляется с использованием электрических токов, плотность которых достигает величин 10^6 - 10^7 A/cm^2 , что ведет к значительным омическим потерям и перегреву устройств.

Основываясь на недавно открытом нами эффекте электрической перестройки микромагнитной структуры [2], мы предлагаем иное решение проблемы магнитной записи информации, не предполагающее использования токов.

Схема эксперимента представлена на рисунке 1. а). Электрическое поле создается в пленке феррита-граната путем приложения напряжения между острием зонда 1 и контактом на подложке 2. В слое феррит-граната показана микромагнитная конфигурация: два домена разделены границей. При локальном воздействии электрического поля на образец в области расположения доменной границы наблюдалось ее отклонение от положения равновесия (рис. 1 б). При положительном потенциале на электроде 1 доменная стенка притягивается к электроду (левое положение обозначено красным цветом), при отрицательном потенциале – отталкивается (правое положение, обозначено синим цветом). При снятии напряжения доменная граница возвращается в исходное положение (штриховая линия). Первые эксперименты, проведенные с контактной структурой, образованной полосковыми электродами, нанесенными на поверхность магнитной пленки (рис. 1 в), также подтверждают наличие эффекта.

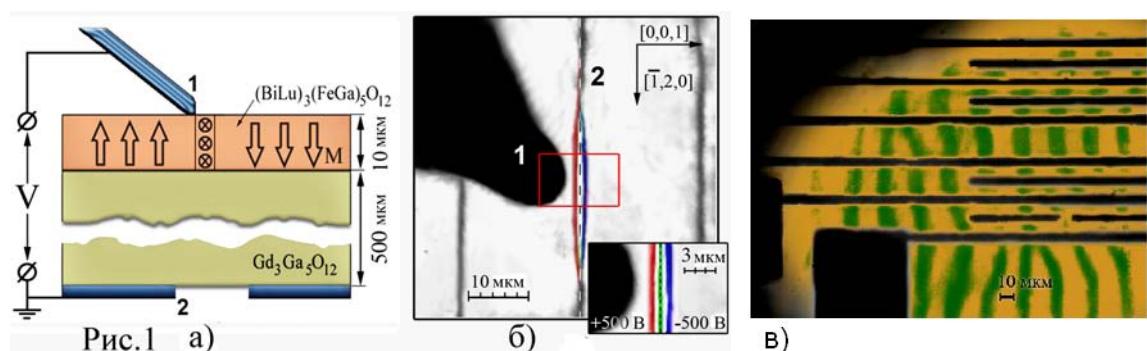


Рис. 1 а) Схема эксперимента: 1 заостренный электрод, 2 заземленный электрод б) отклонение доменной границы под действием электрического поля: 1 изображение электрода, 2 магнитооптическое изображение доменной границы в пленки феррит граната в) оптическая микрофотография образца с нанесенной системой полосовых электродов на фоне доменной структуры.

Исследования особенностей поведения магнитной структуры в импульсных электрических полях позволили нам проследить динамику доменной границы и установить, что скорость ее движения и величина смещения возрастают с увеличением электрического поля: в поле 500 кВ/см движение стенки происходит со скоростью 50 м/с, что эквивалентно действию магнитного поля 50 Э [2]. Изменения микромагнитной структуры могут носить как обратимый, так и необратимый характер [3]. Необратимый эффект может служить прообразом записи информации в магнитной среде с помощью электрического поля.

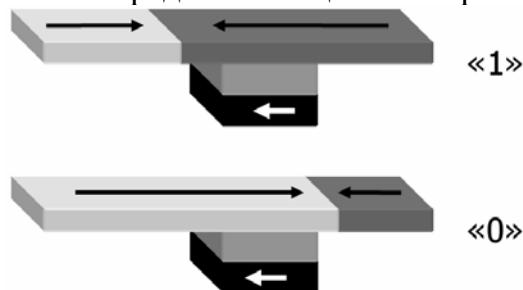


Рис.2. Концепция ячейки памяти с подвижной доменной границей Положение доменной стенки в свободном слое структуры определяет состояния «0» и «1».

На этом принципе становится возможным построение устройств магнитной памяти и спиновой электроники с малым энергопотреблением. Так, в концепции магнитной памяти, предложенной Стюартом Паркиным [4], запись информации осуществляется не перемагничиванием элемента памяти, а сдвигом границы между доменами (рис.2). Запоминающее устройство представляет собой сэндвич из двух магнитных слоев, разделенных немагнитной прослойкой. Намагниченность нижнего слоя неизменна, а намагниченность свободного верхнего слоя зависит от положения доменной границы. Считывание состояния такого элемента памяти осуществляется, как и в любом другом устройстве спинtronики, на основе эффекта гигантского магнитосопротивления – по изменению сопротивления току, протекающему через «сэндвич» перпендикулярно слоям.

Вместо общепринятых в настоящее время методов управляемого перемещения доменных границ посредством импульсов магнитного поля или спинового тока (и то и другое приводит к значительным потерям энергии) мы предлагаем воспользоваться эффектом, обнаруженным нами в диэлектрических материалах (пленках ферритов-гранатов), в которых статическое электрическое поле вызывает смещение магнитных доменных границ. Диэлектрический слой феррит-граната при этом может быть дополнительным слоем, задающим микромагнитную структуру в проводящих слоях посредством обменной связи. Возможность создания подобных обменно-связанные структур из слоев магнитоэлектрика и металлического ферромагнетика продемонстрирована в литературе [5]. При поперечных размерах элемента в 100 нм и скорости доменной границы 100 м/с (характерные величины в наших образцах) время переключения элемента составит 1 нс.

1. Claude Chappert et al, Nature Materials, **6**, 813 (2007)
2. A.S. Logginov et al, APL **93**, 182510 (2008)
3. A.S. Logginov et al, Solid State Phenomena, **152**, 143 (2009)
4. S.S.S. Parkin et al, Science, **320**, 190 (2008)
5. Ying-Hao Chu et al, Nature Materials, **7**, 478 (2008)

Сверхразрешение, точечная индикация объектов

Терентьев Е.Н., Терентьев Н.Е.

Физический факультет МГУ, The University of Queensland, Australia

Локальные разрешающие функции R обладают свойством поднимать разрешение в высокочастотных частях изображений и подавлять низкочастотные части изображений.

Двухканальная схема, построенная с учетом этого свойства, позволила достичнуть заметно более высокого разрешения по сравнению с одноканальной локальной схемой.

В совершенных многоканальных системах сверхразрешение и точечная индикация объектов будут реализовываться с ошибкой порядка уровня шума в исходном изображении.

Предлагаемая инновационная технология многоканального сверхразрешения и точечной индикации объектов найдет широкое применение при конструировании новых радаров, в астрономии и других прикладных и экспериментальных исследованиях.

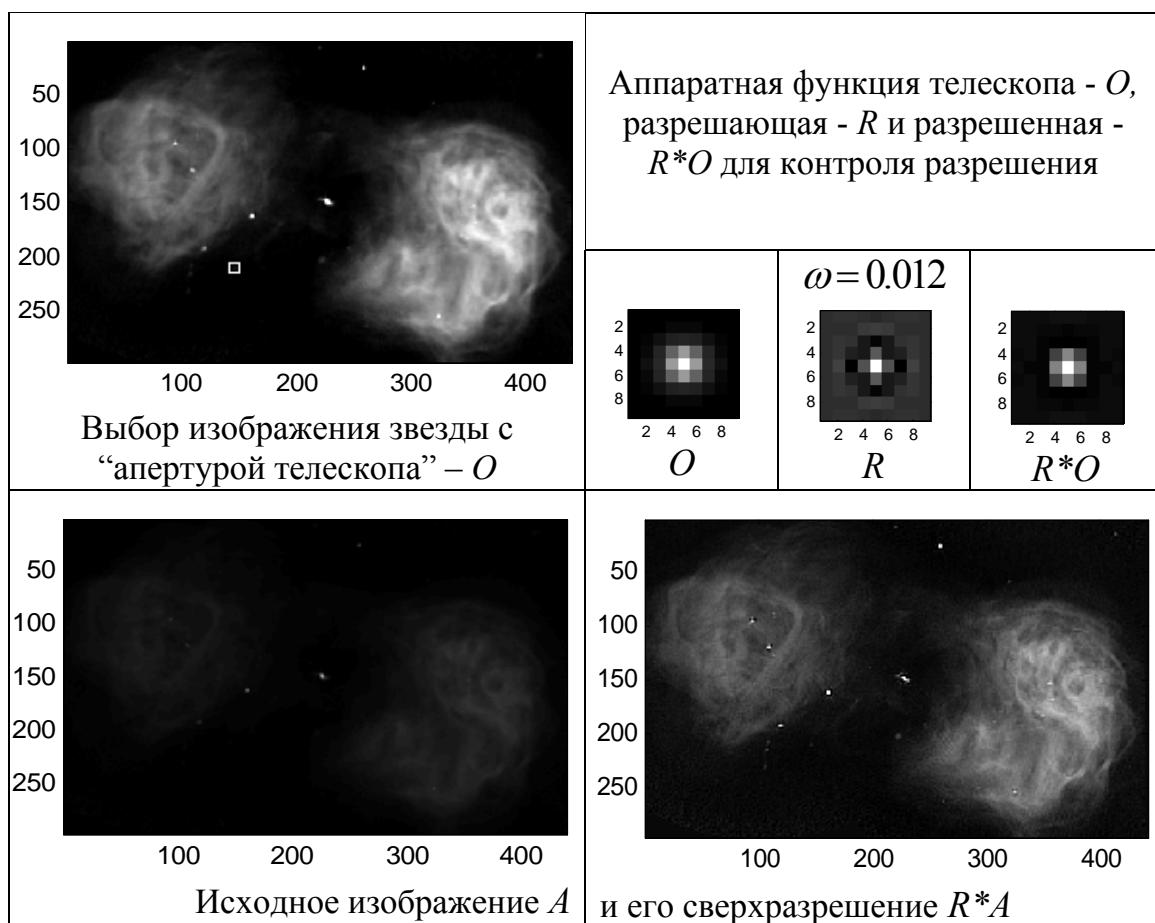


Рис. 1. Одноканальное сверхразрешение в диапазоне яркостей исходного изображения

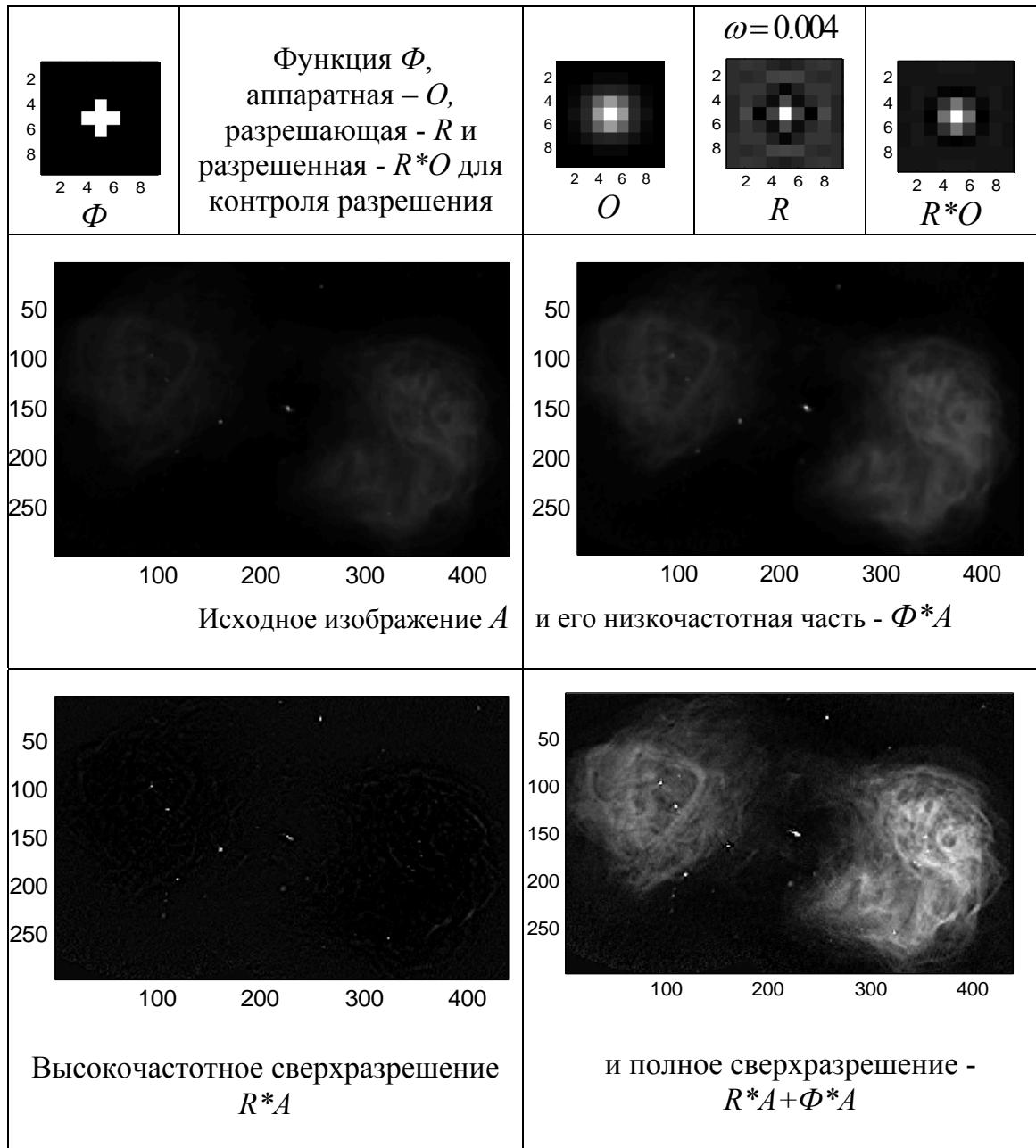


Рис. 2. Двухканальное сверхразрешение в диапазоне яркостей исходного изображения.

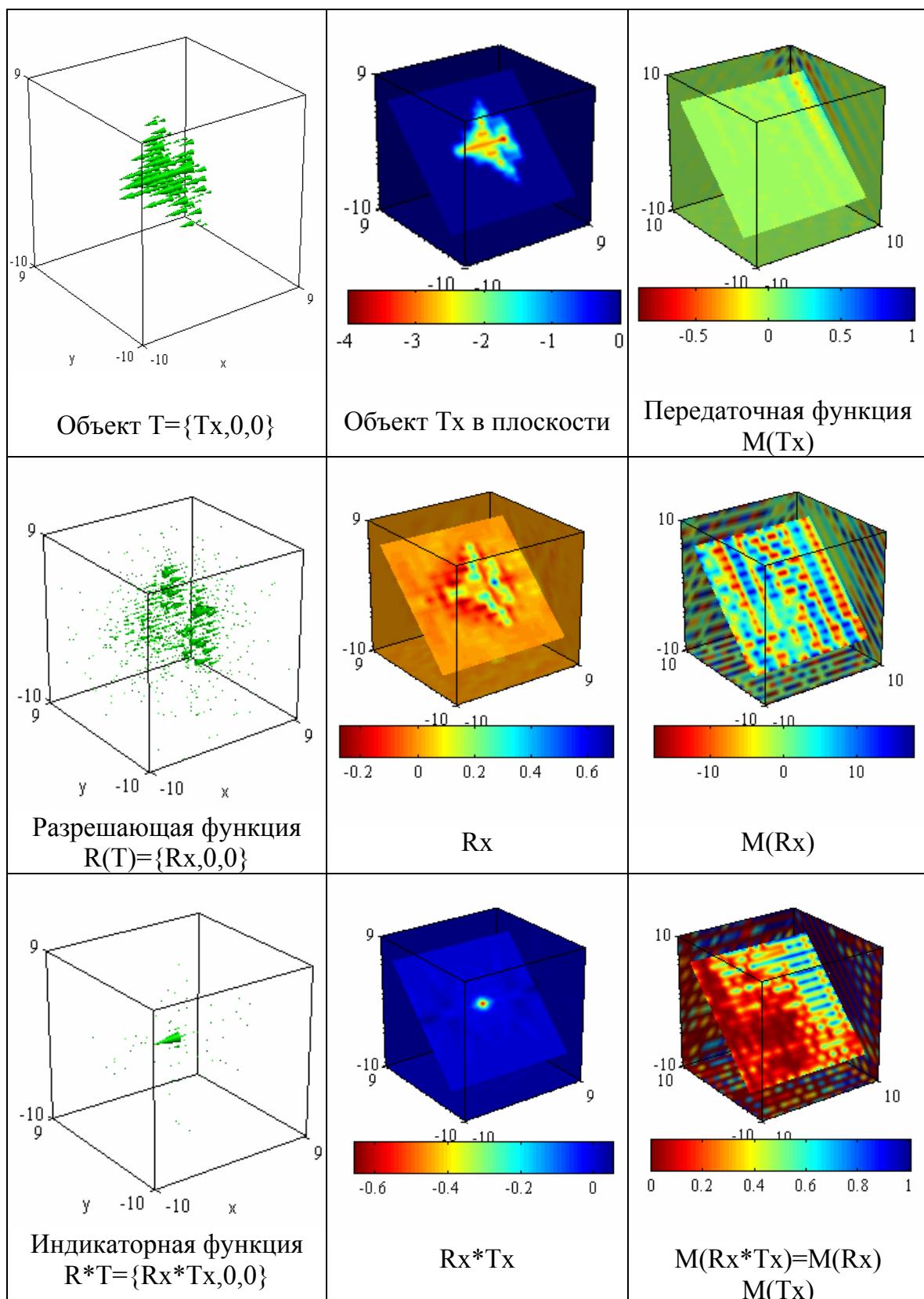


Рис. 3. 3D разрешающая функция $R(T)$ объекта T , индикаторная функция $R*T$ и соответствующие передаточные функции в правом столбце.

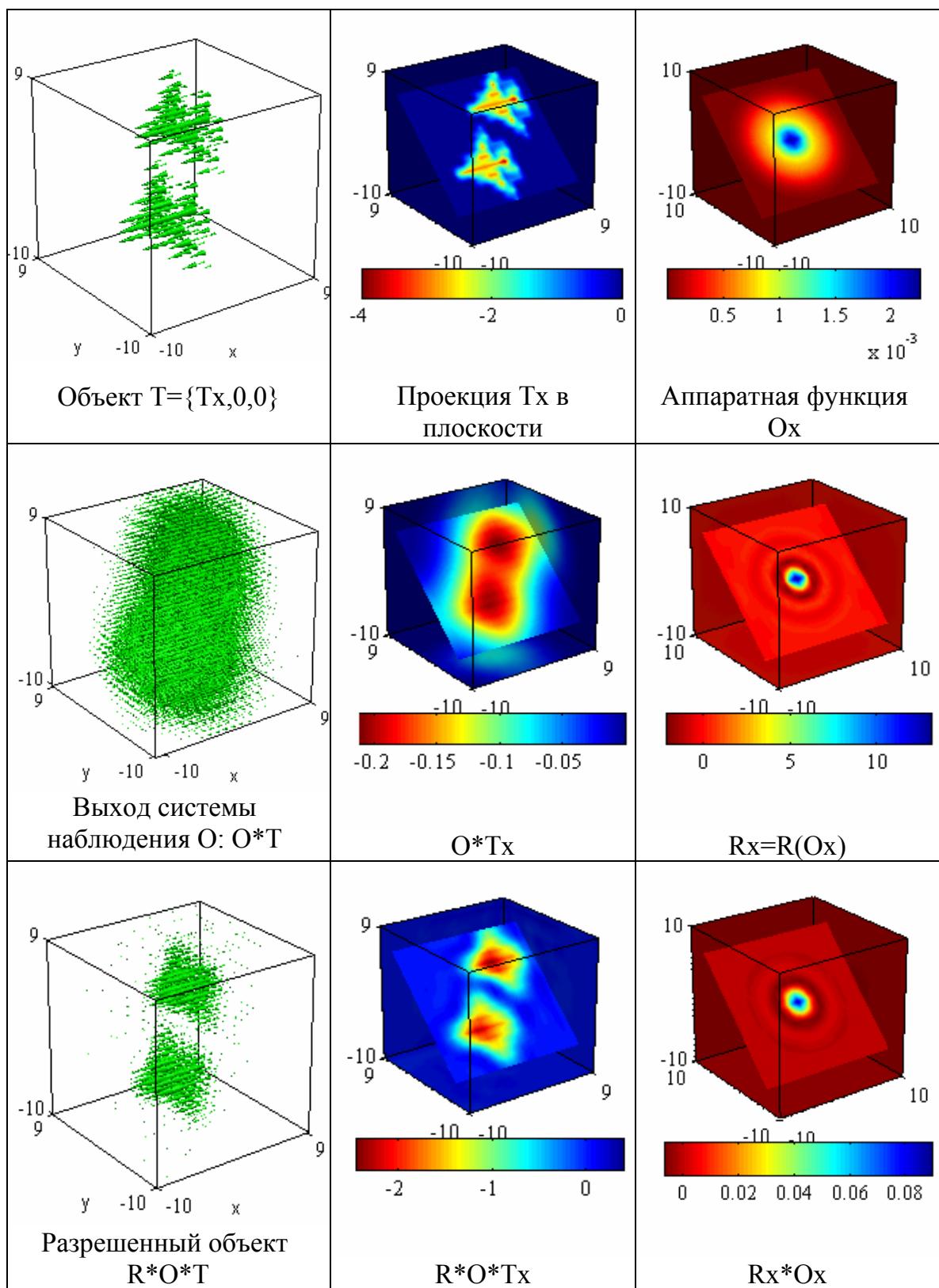


Рис. 4. 3D аппаратная функция O пространственной системы наблюдения, ее выход O^*T и разрешенный объект R^*O^*T .

Полосные корреляционные функции вихревых течений, кратные интегралы

Терентьев Е.Н., Терентьев Н.Е.
Физический факультет МГУ, The University of Queensland, Australia

В основе моделирования вихревых течений – лежит новый способ реализации операций математического анализа и теории поля на классе функций Винера-Котельникова представляемых отсчетами. Оказалось, что размер вихря не является факторным параметром его корреляционной (структурной) функции). Для оценивания распределений характерных размеров вихревых течений предлагаются полосные (по пространственным частотам) корреляционные функции с их относительными дисперсионными вкладами. Такой подход позволяет исследовать, анализировать сложные вихревые течения с их характерными размерами по полосам пространственных частот без привлечения дополнительных “гипотез о масштабах турбулентности”.

При моделировании вихревых течений на основе уравнений Навье – Стокса возникают выражения с кратными интегралами с переменными верхними пределами. Предлагается способ точного вычисления интегралов высокой кратности (без применения квадратурных формул) на классе функций Винера-Котельникова.

Предлагаемая инновационная технология моделирования, исследования, анализа вихревых течений и вычисления интегралов высокой кратности без использования конечно разностных схем и квадратурных формул найдет широкое применение у математиков и физиков в теоретических и прикладных исследованиях в очень широком круге задач.

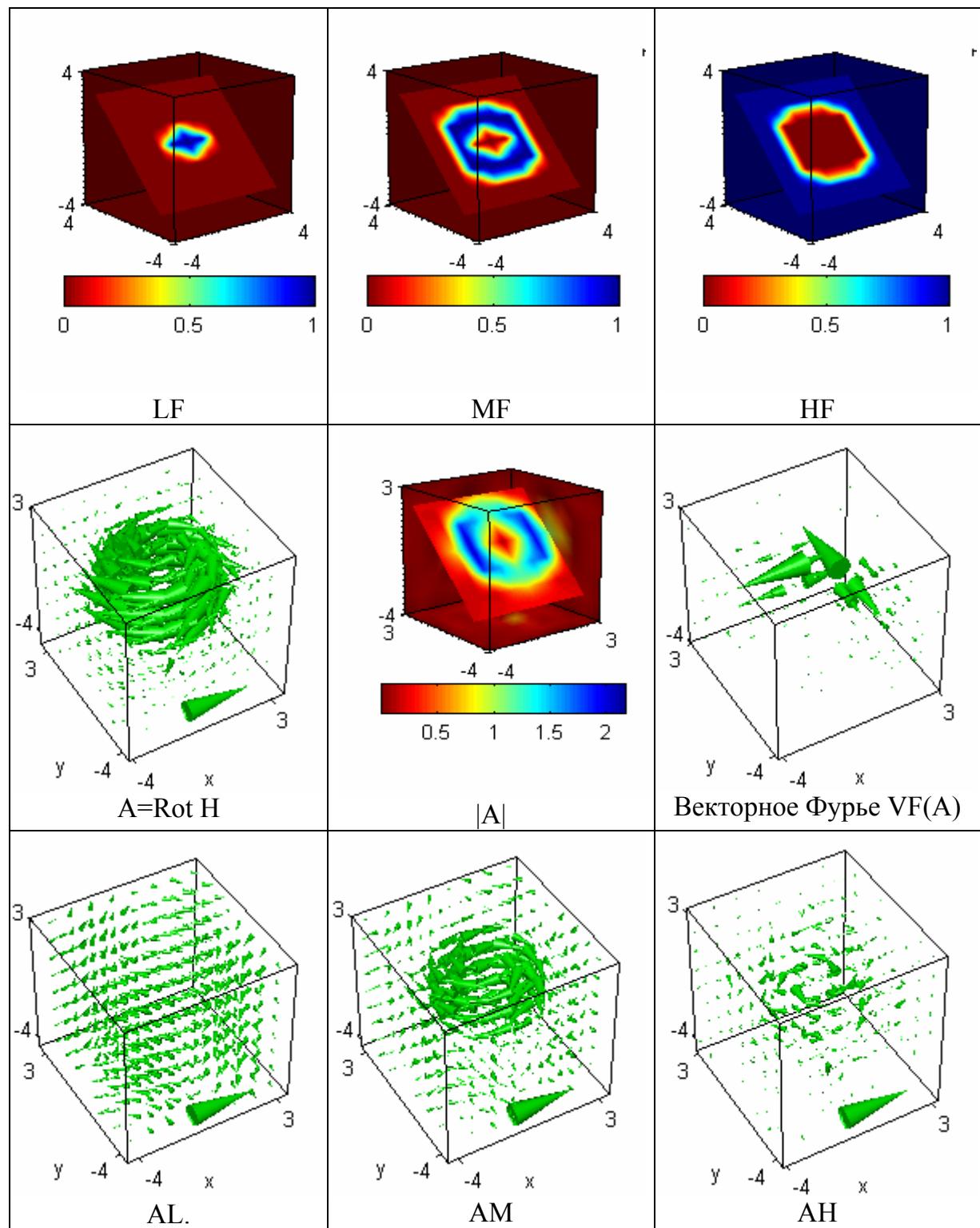


Рис. 1. Пространственные полосы пропускания LF – низкочастотная, MF – среднечастотная и HF - высокочастотная. A – Rot вихря Хилла, векторное Фурье – $\text{VF}(A)$. $A = \text{AL} + \text{AM} + \text{AH}$ – представление вихря A по полосам частот LF, MF, HF.

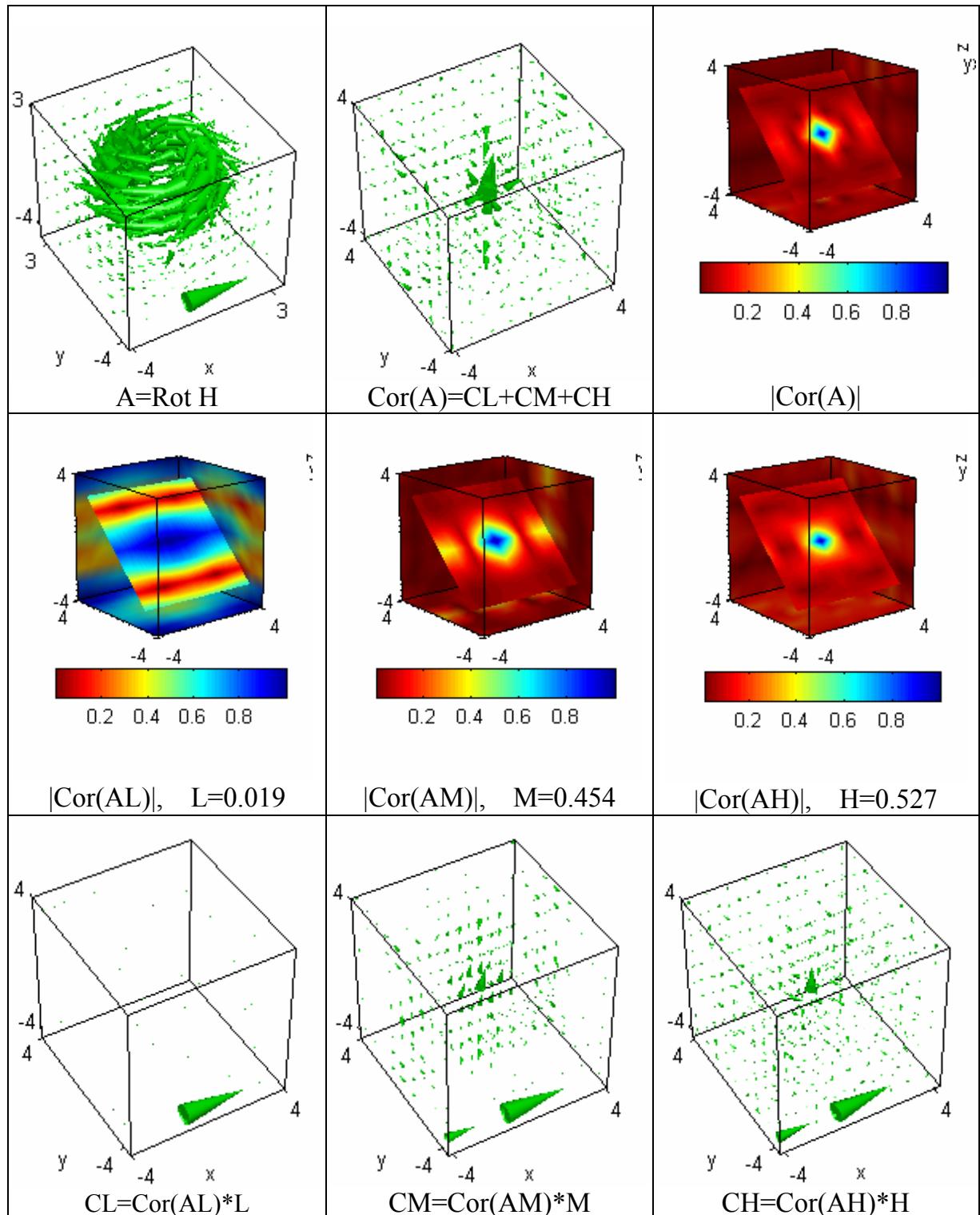


Рис. 2. Всечастотная векторная корреляционная функция $\text{Cor}(A)$, полосные скалярные корреляционные функции $|\text{Cor}(AL)|$, $|\text{Cor}(AM)|$, $|\text{Cor}(AH)|$ с относительными дисперсионными вкладами L , M , H . Представление векторной корреляционной функции $\text{Cor}(A)=\text{Cor}(AL)*L+\text{Cor}(AM)*M+\text{Cor}(AH)*H$ по скалярным полосам частот LF, MF, HF.

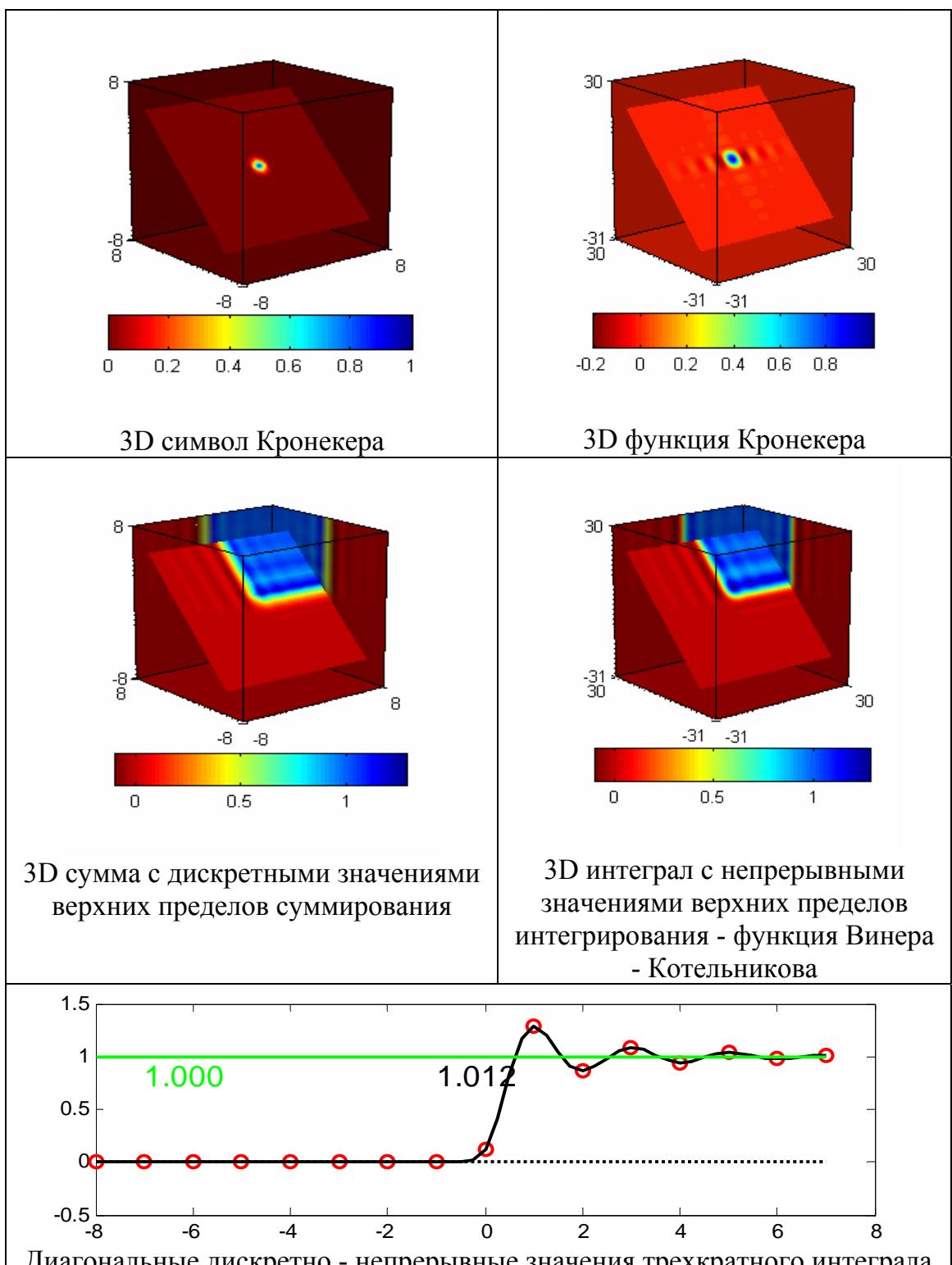
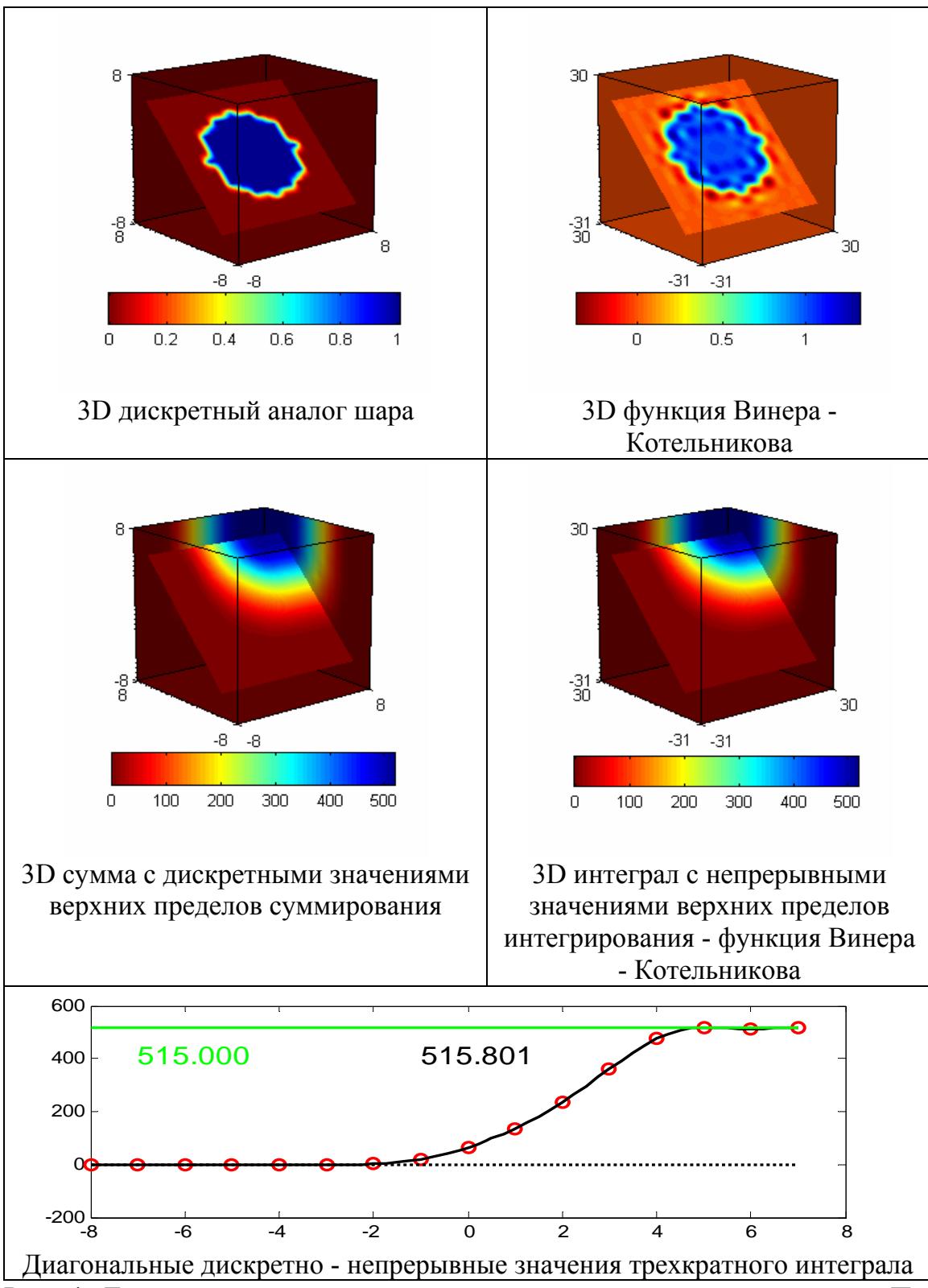


Рис. 3. Точность значения трехкратного интеграла \sim доли процента.



Оптическое невзаимное устройство на основе коллинеарного акустооптического фильтра

Дьяконов Е.А., Никитин П.А.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

В последнее время все большее применение в науке и технике находят акустооптические приборы. Интенсивное развитие акустооптики позволило создать устройства, построенные на основе принципиально новых эффектов, которые считались малыми или даже нежелательными. Одним из таких эффектов является «невзаимный» эффект, состоящий в следующем. Частота света, падающего на акустооптическую ячейку, отличается от частоты дифрагированного света на величину, равную частоте ультразвука. Это различие обусловлено эффектом Доплера. Поэтому в зависимости от того, распространяется свет навстречу или в направлении ультразвука, можно получить увеличение или уменьшение частоты дифрагированного света. Так как условие брэгговского синхронизма жёстко связывает длину волн света с оптимальной частотой ультразвука, на которой эффективность дифракции максимальна, то при изменении взаимного направления распространения света и ультразвука дифракция происходит на ультразвуковых волнах с разными частотами. Поэтому дифракционные картины, наблюдаемые в обоих случаях, различны. Именно в этом и состоит невзаимность акустооптического эффекта [1].

Невзаимные эффекты в оптике, в частности эффект вращения плоскости поляризации в магнитном поле (эффект Фарадея), были хорошо известны ранее. Однако, лишь акустооптические устройства позволяют сочетать оптическую невзаимность с высокой спектральной избирательностью, что открывает новые возможности для их практического применения. В частности, невзаимная акустооптическая ячейка может быть встроена в оптический резонатор кольцевого лазера. Другой возможной областью применения указанного эффекта может быть создание одностороннего развязывающего устройства для системы передачи оптических сигналов, аналогичной известному в СВЧ технике устройству. Из всего сказанного становится очевидной важность теоретического и экспериментального исследования невзаимного эффекта в акустооптике [1-3].

В докладе представлены результаты теоретического исследования невзаимного эффекта в кристаллах сапфира (Al_2O_3) и ниобата лития ($LiNbO_3$) в режиме коллинеарного акустооптического взаимодействия. Рассмотрены как низкочастотный, так и высокочастотный режимы акустооптического взаимодействия. Оказывается, что невзаимный эффект выражается наиболее сильно при высокочастотном коллинеарном акустооптическом взаимодействии. Однако, для практической реализации такого режима взаимодействия света с ультразвуком необходимо использование частот акустической волны, составляющих несколько гигагерц. Очевидно, что применение таких частот затруднительно из-за сильного затухания ультразвука в кристаллах.

Теоретическое исследование показало, что невзаимный эффект может быть зарегистрирован в эксперименте как в кристалле ниобата лития, так и сапфира. Однако его величина в кристалле Al_2O_3 несколько раз меньше, чем в ниобате лития. Этот факт объясняется тем, что при коллинеарной дифракции отношение

сдвига полосы пропускания акустооптического фильтра, обусловленного невзаимным эффектом, к величине полосы пропускания прямо пропорционально двулучепреломунию используемого кристалла и квадрату скорости звука в нём. Скорость акустических волн в кристалле сапфира вдоль кристаллографической оси X в полтора раза выше, чем в кристаллическом $LiNbO_3$. Однако, двулучепреломление сапфира приблизительно на порядок меньше, чем в $LiNbO_3$. В итоге, эффект в сапфире проявляется в 4 раза слабее, чем в ниобате лития.

Для экспериментального исследования невзаимного акустооптического эффекта был выбран кристалл ниобата лития, в котором было реализовано низкочастотное коллинеарное акустооптическое взаимодействие. Это позволило снизить частоту управляющего сигнала до нескольких сотен мегагерц при его мощности, не превышающей 1 Вт. Был сконструирован и изготовлен прототип невзаимного акустооптического устройства. Проводились эксперименты с излучением на длине волны 0,6328 мкм и 0,532 мкм, которые продемонстрировали работоспособность подобного невзаимного элемента. Результаты эксперимента с высокой точностью соответствовали выводам теории, что позволяет сделать вывод о возможности применения разработанного теоретического описания невзаимного эффекта для проектирования перспективных акустооптических приборов [2-3].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что монокристаллы ниобата лития более привлекательны для создания устройств, основанных на применении невзаимного акустооптического эффекта, по сравнению с кристаллами сапфира.

[1] Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.И. Физические основы акустооптики. М., Радио и связь, 1985.

[2] Dobrolenskiy Yu.S., Voloshinov V.B., Zyuryukin Yu.A. and Djakonov E.A. Non-Reciprocity of Acousto-Optic Interaction in Collinear Tunable Acousto-Optic Filters. *Applied Optics*, 2009, v.48, No.7, p.C67-C73.

[3] Доброленский Ю.С., Волошинов В.Б., Зюрюкин Ю.А. Влияние невзаимного эффекта на работу коллинеарного акустооптического фильтра. *Квантовая электроника*, 2008, т.38, №1, с.46-50

Информационно-аналитический комплекс для транспортных компаний

Дудецкий В.Ю.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Предпосылками к созданию комплекса послужили, с одной стороны, повышение уровня безопасности дорожного движения транспортных средств компаний, и с другой, необходимость улучшения управления автопарком. Действительно, по статистике почти 85 процентов причин ДТП – это человеческий фактор. И речь здесь не идет о профессиональной компетентности водителя. Ведь каждый водитель перед приемом на работу проходит квалификационный отбор. Речь идет о соблюдении водителем правил дорожного движения и норм трудового распорядка дня, в котором обязательно наличие перерывов в работе, отведенных на отдых водителю. Наряду с задачами по обеспечению БДД компании необходимо заботиться о качестве предлагаемых услуг и экономически выгодно организовать работу своего автопарка. Информационно-аналитический комплекс служит для решения вышеуказанных задач.

Возможности комплекса включают в себя возможность передавать позиционные координаты транспортных средств, информацию о скорости движения ТС, состояния системы зажигания ТС, транслировать видео-аудио информацию с цифровых видеокамер, установленных на каждом транспортном средстве, дистанционно управлять параметрами работы приборов. Разрабатываемое программное обеспечение для комплекса, позволит в режиме реального времени наблюдать за передвижением транспортных средств на карте, получать информацию с камер наблюдения, и контроллеров, установленных на транспортных средствах. Разрабатываемое программное обеспечение позволит в автоматизированном режиме сообщать в диспетчерский центр о нарушениях скоростного режима транспортными средствами, их маршрута следования, о нарушениях регламента работ (соблюдение режима работы: учет общего времени работы, времени на обед, обязательных перерывов на отдых водителей). Позволит устанавливать видео связь с водителем. Основными требованиями к программному обеспечению является запуск его из сети Интернет, без предварительной установки дополнительных программ на компьютер пользователя.

Полученная информация с транспортных средств записывается, анализируется, и статистически обрабатывается, что позволяет регулировать работу автотранспортного парка, корректировать маршруты следования, интервалы движения в зависимости от пассажиропотока.

При создании комплекса применяются технологии WiMax – это технология предоставления беспроводного широкополосного доступа в Интернет, GPS, компьютерного моделирования.

GPS приемник определяет координаты местоположения транспортных средств, затем по беспроводному высокоскоростному соединению Интернет полученные координаты, данные с контроллеров и оборудования, установленного на транспортных средствах, передаются на сервер. На сервере с

помощью разрабатываемого программного обеспечения полученная информация обрабатывается и систематизируется, и затем представляется в web-интерфейсе на пользовательском компьютере оператора диспетчерского отдела или руководителя.

Новизна системы заключается в том, что данный комплекс совмещает новейшие технологии адаптированные специально для транспортных компаний.

Акустооптические устройства управления излучением дальнего инфракрасного диапазона

Г. А. Князев, В.Б. Волошинов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Явление дифракции света на акустических волнах широко используется для контроля характеристик оптического излучения. Акустооптические приборы успешно работают в ультрафиолетовом, видимом, ближнем и среднем инфракрасном диапазонах оптического спектра. Однако разработка эффективных акустооптических устройств, предназначенных для применений в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах с длинами волн $\lambda > 5 \text{ мкм}$, остается нерешенной задачей акустооптики. Главная проблема заключается в том, что величины коэффициента акустооптического качества материалов используемых в акустооптике слишком малы для дальнего инфракрасного диапазона длин волн. Однако было обнаружено, что в качестве среды взаимодействия света и звука в инфракрасном диапазоне перспективно применение кристаллов теллура. Интерес к теллурю объясняется чрезвычайно большой величиной его коэффициента акустооптического качества $M_2 > 100 \cdot 10^{-15} \text{ с}^3/\text{г}$, что более чем на два порядка превосходит характеристики традиционных материалов.

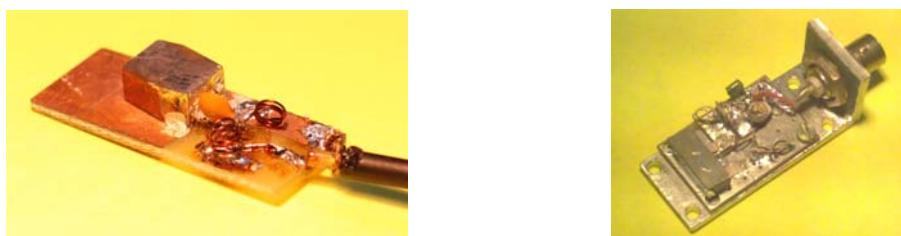


Рис.1 Фотографии акустооптических ячеек на кристалле теллура. (а – ультразвук в кристалле направлен под углом $\theta_a = 80^\circ$, б – ультразвук направлен под углом $\theta_a = 95^\circ$).

Нами было исследовано несколько конфигураций акустооптической ячейки на основе теллура. На рисунке 1 представлены фотографии ячеек на кристалле теллура, в которых реализуется широкоугольное взаимодействие. На рисунках 2а и 2б представлены зависимости угла Брэгга от частоты ультразвука соответственно для ячеек с $\theta_a = 80^\circ$ и $\theta_a = 95^\circ$. Как можно видеть, в обоих случаях реализуется широкоапертурный случай, соответствующий условию $d\theta_B/df \rightarrow \infty$. В результате исследований

было обнаружено что, диапазон углов падения света, при которых наблюдается дифракция, оказывается шире для ячейки, показанной на рисунке 1а. В этой ячейке он достигал значения $\Delta\theta_B = 26^\circ$, в то время, как для другой ячейки допустимая угловая апертура не превышала $\Delta\theta_B = 15^\circ$. К сожалению, фильтр с углом распространения ультразвука $\theta_a = 80^\circ$ может использоваться только в качестве заграждающего из-за высокого поглощения энергии необыкновенный световой волны: сквозь кристалл проходило лишь излучение нулевого порядка дифракции, имеющее обыкновенную поляризацию. Поэтому данный фильтр не подходит для фильтрации оптических изображений.

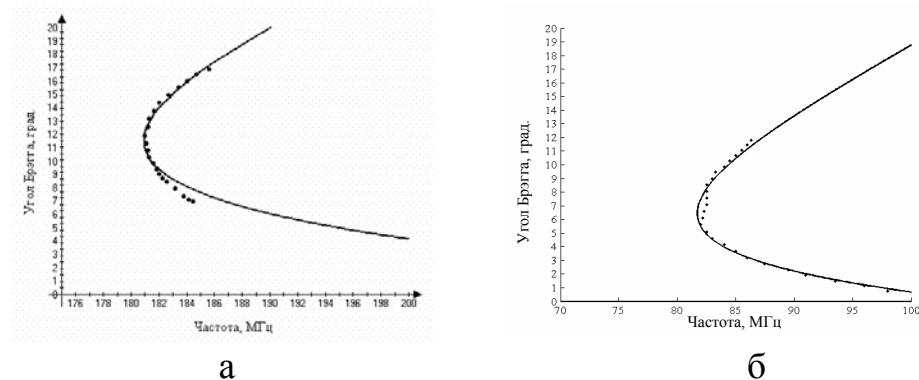


Рис. 2 Зависимости угла Брэгга от частоты ультразвука (а – акустическая волна распространяется под углом $\theta_a = 80^\circ$, б – волна распространяется под углом $\theta_a = 95^\circ$).

Как показали измерения, широкоугольный фильтр на основе ячейки, показанной на рисунке 1б, обладает следующими характеристиками: частота ультразвука при длине волны света $\lambda = 10.6$ мкм достигает величины $f = 80$ МГц, пространственное разрешение достигает величины $N = 120$, спектральное разрешение $\lambda/\Delta\lambda = 140$, полоса частот, при которой наблюдается дифракция, равна $\Delta f = 500$ кГц. Следует отметить, что указанные значения пространственного и спектрального разрешения исследованного акустооптического фильтра на теллуре приближаются к параметрам аналогичных приборов, работающих в видимой области электромагнитного спектра.

Экспериментальное исследование поверхностного возбуждения акустических волн с использованием кристалла ниобата лития

Муромец А.В, Юхневич Т.В.

студентки физического факультета

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
volosh@phys.msu.ru*

В последнее время акустооптические приборы находят все большее применение в науке и технике [1]. Эти приборы отличает широкие функциональные возможности, электронная перестройка параметров, высокая эффективность дифракции, малые управляющие мощности, компактность и надежность. Акустооптическое устройство состоит из кристаллического материала, в котором происходит взаимодействие света и звука, а также пьезоэлектрического преобразователя, генерирующего акустические волны в области взаимодействия светового и звукового пучков. Одним из главных недостатков акустооптических устройств является их высокая стоимость, обусловленная сложностью изготовления пьезоэлектрического преобразователя. Основные технические проблемы, связанные с необходимостью изготовления тонкой пьезоэлектрической пластинки, а также созданием надежного акустического соединения. Это соединение осуществляется, как правило, методом индивидуальной сварки в вакууме и требует больших материальных расходов. В то же самое время использование альтернативных методов возбуждения звука, как ожидается, позволит существенно упростить конструкцию акустооптических устройств, их изготовление и снизить их стоимость.

В данном докладе сообщаются результаты исследования некоторых особенностей возбуждения объемных акустических волн с поверхности пьезоэлектрического кристалла. Этот метод возбуждения ультразвука был предложен и опробован в МГУ К.Н. Баранским в кристаллах кварца [2] и усовершенствован Боммелем и Дрансфельдом [3]. Указанным методом удается возбуждать объемные акустические волны на частотах от сотен мегагерц и до нескольких гигагерц. При проведении настоящих исследований в качестве среды взаимодействия был выбран кристалл ниобата лития, отличающийся исключительно высокими пьезоэлектрическими свойствами. Следует отметить, что современный уровень развития акустоэлектроники позволяет получить качественно новые результаты по возбуждению объемных акустических волн с поверхности пьезоэлектрического материала.

Для изучения возможности создания акустооптических устройств с поверхностным возбуждением звука был выбран срез кристалла ниобата лития, в котором акустические волны возбуждаются ортогонально оси OX, а световые волны распространяются приблизительно вдоль оси OZ кристалла. Схема возбуждения звука представлена на рис.1, а кристалл с электродами и указанным направлением распространения света и звука на рис.2. Из рис. 1 видно, что боковые электроды заземляются, а управляющий высокочастотный электрический сигнал подается на центральный электрод кристалла. Очевидно, что электрическое поле в зазоре между электродами направлено вдоль поверхности, то есть по оси OY, в то время как поле под центральным и боковыми электродами направлено нормально к поверхности кристалла, то есть по оси OX. Анализ показывает, что в данном срезе кристалла из зазора возбуждается продольная акустическая волна, в то время как под электродами происходит возбуждение сдвиговой акустической моды.

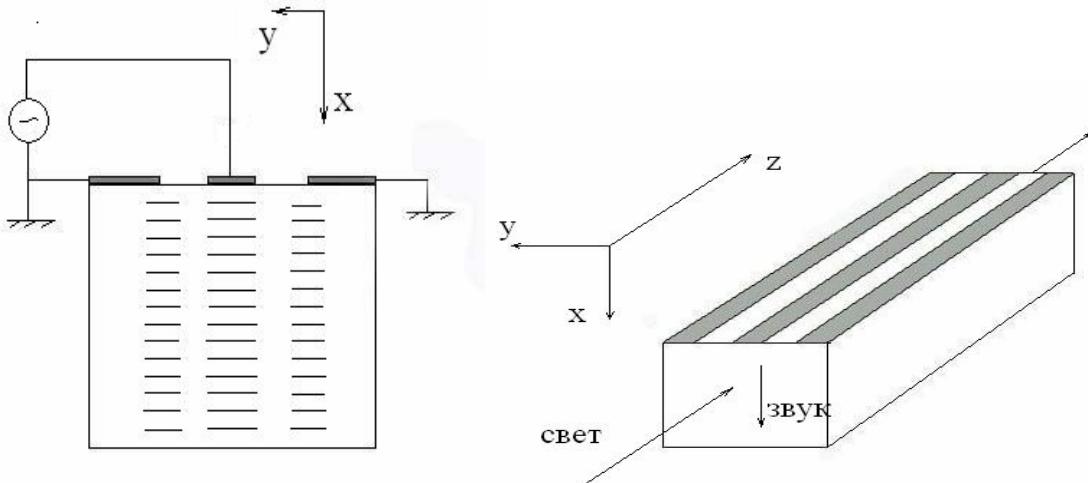


Рис.1

Рис.2

Правильность теоретического рассмотрения была подтверждена экспериментально при зондировании акустического поля лучом лазера. При освещении кристалла лазерным светом наблюдалось явление дифракции на фазовой дифракционной решетке, созданной акустической волной. Тип возбуждаемой акустической волны определялся по фазовой скорости распространения ультразвука, причем фазовая скорость акустических волн оценивалась по углу отклонения дифрагированного света относительно падающего. Интенсивность возбуждения ультразвука оценивалась по эффективности дифракции, то есть отношению интенсивностей дифрагированного и падающего света.

Эксперимент, проведенный на длине волны света 633 нм, показал, что скорость сдвиговой акустической волны вдоль оси ОХ кристалла ниобата лития была равна $V_L = 6,6$ км/сек. Скорость сдвиговой акустической волны не превышала $V_S = 4,1$ км/сек. При подачи на кристалл высокочастотной электрической мощности 1 Вт в дифрагированный свет удавалось отклонить несколько процентов падающей на кристалл световой энергии.

Таким образом, в результате проведенного теоретического и экспериментального исследования показано, что поверхностное возбуждение акустических волн может быть использовано в акустооптике для создания акустооптических модуляторов дефлекторов и фильтров.

Литература

1. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.И. Физические основы акустооптики. М., Радио и связь, 1985.
2. Баранский К.Н.“Возбуждение и распространение гиперзвуковых колебаний в кварце”, Успехи физ наук. 1956 т. 3, № 6, стр. 56-67.
3. Bommel and Drasfeld “Excitation of light frequency sound in quartz.”, Phys.Rev.Lett.v1, №7, p 234, 1958.

Осциллирующие решения уравнений Навье-Стокса

Петрова Т. А. (1), Шугаев Ф. В. (1)

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет (1)

Уравнения Навье-стокса являются основным инструментом для анализа турбулентности. Важная роль в моделировании турбулентности принадлежит методам, использующим разностные схемы и объединенных под названием прямого численного моделирования. Однако, данный подход, даже на современных компьютерах, позволяет решить лишь некоторые технические проблемы, так как накладывает существенные ограничения на число Рейнольдса поставленной задачи ($Re < 10^4$). Между тем, развитая турбулентность возникает при $Re = 10^5 - 10^6$. Таким образом, возникает потребность построения решений уравнений Навье-Стокса методом, альтернативным разностным схемам, каким и является предложенный в данной работе метод итераций.

Данный метод решения уравнений Навье-стокса основан на использовании фундаментального решения линейной параболической системы. Его основная особенность состоит в том, что не используются конечно-разностные схемы. Соответственно, он применим к задачам с любыми числами Рейнольдса и не накладывает ограничений на амплитуду турбулентных флуктуаций. Таким образом, мы можем проанализировать как сильную, так и слабую турбулентность.

Полная система нестационарных уравнений Навье-стокса может быть переписана в следующем виде (с использованием переменных Лагранжа)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Omega_i}{\partial t} &= \nu \Delta \Omega_i + f_{1i}; \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= s; \\ \frac{\partial s}{\partial t} &= \frac{1+h}{\gamma} \Delta w + \frac{4}{3} \nu \Delta s - \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{s}{2\rho} (1+h)^{-1/4} \right) \Delta h + f_2; \\ \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\gamma}{Pr} \nu \Delta h - (\gamma-1)s + f_3; \\ w &= -\ln \rho; \quad \Omega = \text{rot } v; \quad s = \text{div } v; \quad h = T - 1; \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}; \quad \eta = \frac{\lambda}{\rho}. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь ρ , T , v , λ плотность, температура, вязкость и теплопроводность, соответственно; Δ - оператор Лапласа, Pr - число Прандтля, γ - адиабатический инвариант. Символами f_{1i} , f_2 , f_3 обозначены нелинейные члены (относительно первых производных). Их значения были представлены ранее [1]. Система (1) записана в безразмерной форме, характерная длина - $l_0 = v_0/c_0$, характерное время - $t_0 = v_0/c_0^2$, здесь c_0 – скорость звука, индекс “0” означает начальное состояние.

Данная система является параболической. Основная идея предложенного метода решения заключается в сведении системы к интегральным уравнениям и последующему использованию итерационной процедуры. Данная процедура может быть разбита на две части. Сначала мы находим приближенное решение (параметрикс). Затем мы приводим систему к интегральным уравнениям типа Вольтера и применяем к ним итерационную процедуру [2,3]. В качестве первой итерации берется решение линеаризованной системы. Далее предполагаем, что (п-

1)я итерация известна. Тогда известны и коэффициенты, относящиеся к оператору Лапласа. Таким образом, мы получаем систему линейных уравнений с переменными коэффициентами. Затем предполагаем, что коэффициенты зависят только от времени t , а координаты рассматриваем как параметры. Начальные условия: дивергенция скорости нулевая, температура – известная функция, плотность постоянна. Задача рассматривается в бесконечном пространстве.

Были выполнены вычисления для первой и второй итерации. Сравнение результатов позволяет сделать предположение о сходимости метода, однако, необходимы дальнейшие исследования сходимости данной итерационной процедуры.

References

- [1] Shugaev, F. V., Terentiev, E. N., Shtemenko, L. S., Nikolaeva, O. A., Pavlova, T. A., Dokukina, O. I., On the problem of beam focusing in the turbulent atmosphere, Proc. SPIE 6747, 67470K (2007).
- [2] Friedman, A., Partial Differential Equations of Parabolic Type, Prentice Hall, New York, (1964).
- [3] Эйдельман, С. Д., Параболические системы, Наука, Москва, (1964).

Влияние температуры и примесей на структуры сеток водородных связей водных кластеров

Хахалин А.В.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Теоретически установленный (теории структурных дефектов Самойлова, структур Бернара-Фалуера, мерцающих кластеров Франка и Вена и др.) и экспериментально подтвержденный факт гетерогенности воды [1] актуализирует вопрос о природе ее неоднородности. Одну из главных ролей в ней играет льдоподобная вода, определяя центры образования кристаллической структуры при ее замерзании.

Считается, что кристаллизация воды начинается из мест сосредоточения ее примесных частиц. Абсолютно чистая лабораторная вода центров кристаллизации имеет значительно меньше, чем вода, находящаяся в естественных водоемах. Поэтому она может переохлаждаться, оставаясь в жидкому состоянии даже при отрицательных температурах (при нормальном атмосферном давлении).

Примеси в воде приводят к появлению дефектов в ее структуре сетки водородных связей. В настоящее время, отсутствуют экспериментальные методики определения водородной связи и характеристики ее динамики в водных средах. Подобные исследования можно проводить только методами численного моделирования.

В данной работе, для изучения структуры сетки из водородных связей между молекулами воды под воздействием температуры (1 или 300 К) и примесей (катионы Na^+ или K^+) были выбраны следующие 3 водных кластера: $(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{Na}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ и $\text{K}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, где $2 \leq n \leq 8$. Молекулы H_2O описывались в рамках жесткой модели воды [2]. Для расчетов межмолекулярных взаимодействий молекул воды друг с другом и с катионом Na^+ или K^+ использовались атом-атомные потенциальные функции Полтева-Маленкова [3, 4]. В расчетах использовался жестко детерминированный начальными условиями генератор случайных чисел двойной точности «*ran2*» [5]. Моделирование процесса гидратации осуществлялось посредством генерирования равновесных при температуре 1 или 300 К конфигураций из молекул воды, взаимодействующих друг с другом и с гидратируемым катионом Na^+ или K^+ . Их получение производилось методом Монте-Карло с процедурой Метрополиса [6] при периодических граничных условиях (расчетная ячейка представляла собой куб с длиной стороны 40 Å). Из последовательно получаемых равновесных при температуре 1 или 300 К конфигураций каждого кластера с шагом 1000 формировалась 10000 выборка. Из 20 таких выборок образовывался набор. На основании анализа в этом наборе значений количеств равновесных конфигураций, соответствующих оригинальным типам структур сеток из водородных связей, определялись их средние весовые коэффициенты и ошибки их определения с доверительным интервалом 0,95. Тип структуры с наибольшим

весовым коэффициентом, встречающимся во всех 20 выборках в наборе, назывался наиболее вероятным типом.

Под структурной характеристикой сетки из водородных связей подразумевается набор водородо-связанных геометрических фигур, каждая из которых является связанным ориентированным (ребро направлено от кислорода, являющегося донором протона к кислороду – акцептору) графом, вершинами которого являются атомы кислорода, а ребрами – водородные связи между молекулами воды. Анализ структур сетки водородных связей равновесных конфигураций водного кластера с катионом осуществлялся по формализованным признакам, основанным на теории графов [7]. Признаки, по которым производилось сравнение сеток водородных связей: 1) количество молекул воды, входящих в первую координационную сферу катиона; 2) количество водородо-связанных фигур из молекул воды (сюда же входят не связанные водородными связями “одиночные” молекулы воды); 3) набор количеств молекул воды в каждой водородо-связанной фигуре (набор количеств вершин графов); 4) набор количеств водородных связей в каждой водородо-связанной фигуре (набор количеств ребер графов); 5) наборы количеств образованных каждой молекулой воды в водородо-связанной фигуре водородных связей (наборы степеней вершин графов). Данная методика не позволяет учесть только хиральность водородо-связанных фигур из молекул воды.

В результате численного моделирования, в каждом из 3-х исследованных кластеров выявлены все разновидности образуемых типов структур сеток водородных связей, а также наиболее вероятные при температуре 1 или 300 К типы таких структур. Установлено, что при 1 К наиболее вероятный тип структуры сетки из водородных связей между n молекулами воды каждого из 3-х кластеров образуется на основе наиболее вероятного типа при n=1 (с точностью до одной водородной связи). При температуре 300 К такая зависимость образования наиболее вероятного типа структур сетки из водородных связей для каждого из 3-х кластеров сохраняется. Однако только равновесные конфигурации кластера $(H_2O)_n$, соответствующие наиболее вероятным типам структур при температуре 300 К состояли из разбросанных по всему объему расчетной ячейки одиночных молекул H_2O и водородо-связанных групп (состоящих до 3-х молекул воды). В равновесных конфигурациях водных кластеров с примесной частицей Na^+ или K^+ соответствующих наиболее вероятным типам структур сеток из водородных связей, молекулы воды сосредоточены вблизи примесной частицы (в сфере радиусом не более 3 ПКС).

На основании полученных результатов, можно утверждать, что среди всего многообразия образуемых молекулами воды равновесных при температурах 1 и 300 К конфигураций существуют конфигурации с наиболее вероятными типами структур сеток из водородных связей. Эти типы структур зависят от следующих факторов: 1) количество молекул воды их образующих (наиболее вероятный тип структуры сетки водородных связей для кластера с n молекулами воды является развитием наиболее вероятного типа структуры, сформированного кластером с n-1 молекулами воды); 2) температура (с увеличением температуры количество водородных связей в наиболее вероятных типах структур уменьшается за счет

эффекта испарения молекул воды); 3) присутствие примесей и их разновидность (наличие примесных частиц позволяет уменьшить эффект испарения молекул воды в равновесных конфигурациях с наиболее вероятными типами структур сеток из водородных связей, а разновидность примесной частицы влияет на разнообразие наиболее вероятных типов структур сеток из водородных связей в водных кластерах).

Предположительно, первый и третий факторы могут определять существование в воде неоднородностей в виде кластеров, содержащих в себе большое количество молекул воды (~100 [1]).

1. Huang C., Wikfeldt K.T., Tokushima T., Nordlund D., Harada Y., Bergmann U., Niebuhr M., Weiss T.M., Horikawa Y., Leetmaa M., Ljungberg M.P., Takahashi O., Lenz A., Ojamäe L., Lyubartsev A.P., Shin S., Pettersson L.G.M., Nilsson A. The inhomogeneous structure of water at ambient conditions. Proceedings of the National Academy of Sciences; PNAS published online before print August 13, 2009 // <http://www.pnas.org/content/early/2009/08/13/0904743106.abstract>
2. Бушуев Ю.Г. Структурные особенности двух моделей воды и гидратных оболочек частиц (He, Ar, Xe) по данным метода Монте-Карло // Дис. на соиск. уч. степ. канд. хим. наук. Иваново, 1990.
3. Poltev V.I., Grokhлина Т.А., Маленков Г.Г. Hydration of nucleic bases studied using novel potential functions // J. Biomolec. Struct. Dynam. 1984. V. 2. №2. P. 413-429.
4. Теплухин А.В., Маленков Г.Г., Полтев В.И. Атом-атомные потенциальные функции для моделирования взаимодействия ДНК с противоионами в водном растворе // Известия АН. Серия химическая. 1998. Вып. 11. С. 2166-2173.
5. Vetterling W.T., Flannery B.P., Teukolsky S.A. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. William H. Press, Cambridge University Press, 1992. P. 281-282. –994 p.
6. Metropolis N., Rosenbluth A.W., Rosenbluth M.N., Teller A.H., Teller E. // J. Chem. Phys. 1953. V. 21. P. 1087-1092.
7. Хахалин А.В., Теплухин А.В. Исследование сеток водородных связей в водных кластерах, содержащих ион Na^+ или K^+ // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2006. № 1-2. С. 70-74.

Метод неинвазивной ультразвуковой хирургии опухолей печени при облучении через ребра с использованием фазированных решеток

Бобкова С.М.¹, Хохлова В.А.¹, Гаврилов Л.Р.²

1. Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова
2. Акустический институт имени Н.Н. Андреева

Рост числа раковых заболеваний в последнее время требует разработки новых эффективных способов их лечения. Одним из них является метод неинвазивной (т.е. без операционного вмешательства) ультразвуковой хирургии, когда мощный сфокусированный ультразвуковой пучок локально нагревает ткань до температуры некроза. Однако этот метод оказывается не всегда применимым из-за наличия в среде распространения ультразвука сильно отражающих и сильно поглощающих акустических препятствий, под которыми понимаются, например, кости грудной клетки, затрудняющие проведение неинвазивных операций на печени или сердце. Так как костная ткань обладает большим коэффициентом поглощения ультразвуковой энергии, то при проведении операции возникает ее перегрев, а также ожог вышележащих слоев ткани, включая кожу. Чтобы избежать повреждения ребер, в Китае, к примеру, кости грудной клетки, находящиеся на пути прохождения ультразвука, предварительно удаляли, а затем устанавливали на прежнее место с помощью дополнительной хирургической процедуры.

Возможность осуществлять более эффективное локальное воздействие ультразвука на необходимые области внутри заданного объема ткани при сохранении безопасных уровней температуры на препятствиях стала реальной с появлением современных многоэлементных акустических решеток большой мощности. Целью данного проекта являлась разработка методов динамического фокусирования ультразвука высокой интенсивности при наличии в среде акустических препятствий, что существенно расширяет возможности применения в медицине фокусированного ультразвука высокой интенсивности. Сущность предлагаемого подхода в самом кратком виде сводится к совместному использованию многоэлементной рандомизированной решетки, метода обращения волнового фронта и разработанных методов оптимизации амплитудно-фазовых распределений на элементах решетки [1,2].

Численное моделирование и измерения проводились для решетки, представляющей собой 254 пьезоэлемента диаметром 7 мм и частотой 1МГц, расположенных случайным образом на поверхности сферического сегмента с радиусом кривизны 130 мм и диаметром 170 мм [1,2]. Целью эксперимента было создание разрушений в биологических тканях путём их облучения фокусированным ультразвуком через фантом ребер грудной клетки и свиные ребра *in vitro*. Измерения акустического поля проводились помостью инфракрасной камеры в плоскости ребер и в фокальной плоскости решетки. Контроль температуры на ребрах осуществлялся с помощью термопарных измерений, мощность ультразвука находилась в интервале от 5 до 150 Вт.

Было показано, что создаваемое решеткой акустическое поле имело полосатую структуру в плоскости ребер, таким образом, энергия пучка была сосредоточена в межреберных промежутках, не вызывая перегрева самих ребер. Дополнительно проведенные измерения температуры с помощью термопар также доказали безопасность предложенной методики. Были получены разрушения биологической ткани в области фокуса, что доказывало возможность применения метода для разрушения опухолевой ткани. Для увеличения объема облучения ткани исследовалась возможность электронного перемещения фокуса и создания многофокусных конфигураций. Было получено, что ребра не влияют на пределы смещения фокуса, которые составили 10-15 мм перпендикулярно оси решетки и 20 мм вдоль оси. Конфигурации из 3-4 одновременных фокусов также были созданы.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности предложенной методики и возможности ее применения в клинической практике для неинвазивного лечения раковой опухоли печени, расположенной за ребрами. Как показало недавнее обсуждение метода на Международном симпозиуме по терапевтическому ультразвуку [3], его эффективность превосходит известные до настоящего времени технологии, разработанные за рубежом. Исследования и разработки, выполненные в указанной области в США, Великобритании и Франции посвящены либо теоретическим аспектам указанной проблемы, либо первым шагам на пути построения ультразвуковой техники, предназначеннной для решения этой задачи. Экспериментального подтверждения работоспособности предложенных подходов и технических решений, подобного описанным выше экспериментам, выполненных нами на грудной клетке крупных подопытных животных, до настоящего времени не существует.

Следует также отметить, что даже столь широкая область применения, как проведение неинвазивных операций на печени без повреждения грудной клетки, является далеко не единственной областью возможного практического использования. Умение разрушать ткани, расположенные за акустическими препятствиями, может оказаться полезным при операциях на сердце, при воздействии фокусированным ультразвуком на глазное дно без повреждения хрусталика, а также при наличии в организме разнообразных скоплений воздуха или твердых включений, в частности, металлических протезов, кардиостимуляторов и т.п.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов МНТЦ и РФФИ. Компьютерные вычисления проводились на суперкомпьютерном комплексе «СкиФ-МГУ».

1. Gavrilov L.R., Hand J.W. A theoretical assessment of the relative performance of spherical phased arrays for ultrasound surgery, IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Ctrl 47(1), 125-139 (2000).
2. Hand J. W., Shaw A, Sadhoo N, Rajagopal S, Dickinson R. J., Gavrilov L. R. A random phased array device for delivery of high intensity focused ultrasound. Phys. Med. Biol., 54, 5675-5693 (2009).
3. Bobkova S.M., Shaw A, Gavrilov L.R., Khokhlova V.A., Hand J.W. Feasibility of HIFU tissue ablation in the presence of ribs using a 2D random phased array Program of ISTU 2009, 23-26 Sept 2009, p. 47.

Новый механизм разрушения мягких биологических тканей при импульсно-периодическом воздействии фокусированными ударными волнами

Бессонова О.В., Хохлова В.А.

Кафедра акустики, Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

В современной медицине быстро развивается новое направление – использование мощного фокусированного ультразвука для локального разрушения опухолевых тканей. Основными физическими механизмами разрушения ткани ультразвуком являются ее нагрев и кавитация [1]. Термический эффект заключается в том, что при распространении ультразвука часть его энергии поглощается и переходит в тепло. Кавитация вызывает механическое разрушение ткани в результате разрыва среды во время полупериодов разрежения при прохождении акустической волны [2]. Однако, как показали недавние эксперименты, возможен новый механизм разрушения мягких биологических тканей: механическое разрушение ткани за счет взрывного вскипания, происходящего при сверхбыстром нагреве ударными волнами [3,4].

Известно, что при высоких уровнях интенсивности в фокальной области (вплоть до $25000 \text{ Вт}/\text{см}^2$) влияние эффектов акустической нелинейности приводит к образованию разрывов в профиле волны в фокусе (рис.1) и существенному увеличению эффективности нагрева. В области фокуса пучка возможен локальный сверхбыстрый (за несколько миллисекунд, типичная

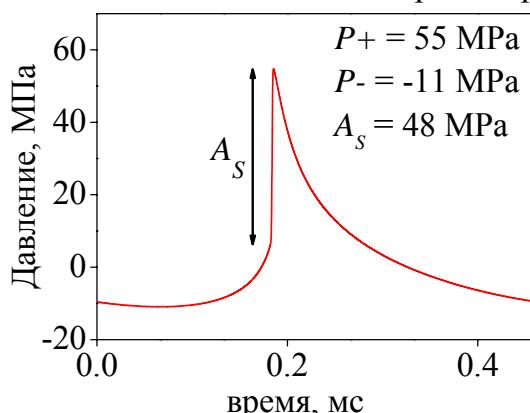


Рис.1 Профиль волны в ткани в фокусе излучателя; начальное давление $p_0 = 0.57 \text{ МПа}$ (результат численного моделирования).

возможность сверхбыстрого (за миллисекунды) вскипания ткани и её эмульсификации без последующего теплового некроза при воздействии мощными фокусированными ударными импульсами. Для этого использовался преобразователь с частотой 2 ГГц, апертурой и фокальной длиной 45 мм. Фокус излучателя находился в образце печени на глубине 13.5 мм. На основе решения уравнения ХЗК рассчитывались ударные профили волны в фокусе излучателя и

экспозиция – секунды) нагрев ткани до температуры кипения [4]. Если облучение происходит в течение времени, не сильно превышающего время вскипания, то может происходить механическое разрушение ткани (эмульсификация) образующимися пузырями [2]. При этом, хотя инициатором разрушения является кипящий пузырь, ткань не нагревается до больших температур, так как растущий пузырь, выходя из нагретой фокальной области малого размера, очень быстро охлаждается.

В данной работе численно и экспериментально исследовалась возможность сверхбыстрого (за миллисекунды) вскипания ткани и её эмульсификации без последующего теплового некроза при воздействии мощными фокусированными ударными импульсами. Для этого использовался преобразователь с частотой 2 ГГц, апертурой и фокальной длиной 45 мм. Фокус излучателя находился в образце печени на глубине 13.5 мм. На основе решения уравнения ХЗК рассчитывались ударные профили волны в фокусе излучателя и

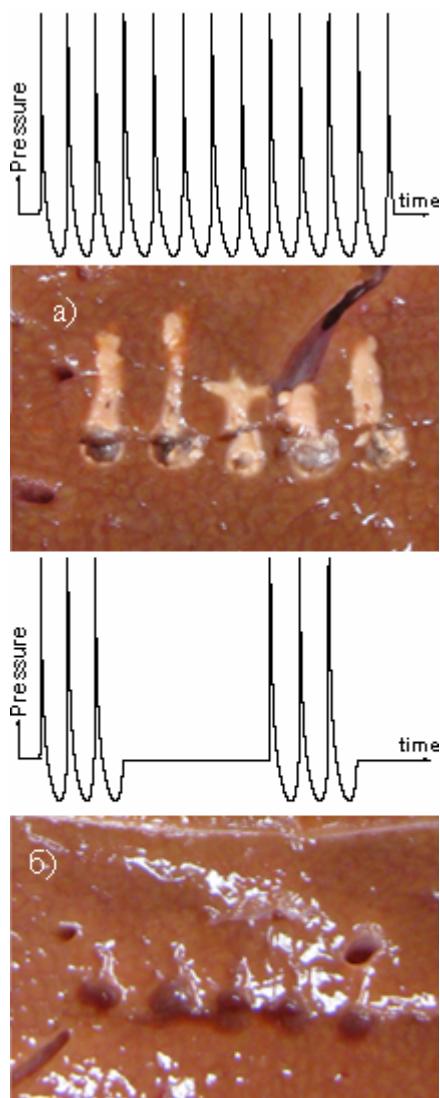


Рис.2 Профили УЗ сигналов и характерный вид разрушений в печени

времена нагрева ткани до температуры кипения при различных начальных амплитудах волн [3,4]. Исследовано влияние диффузии тепла; показано, для каких экспозиций она начинает играть существенную роль. Проведено сравнение результатов моделирования с экспериментом. После воздействия фокусированными ударными волнами образцы печени разрезались и фотографировались для наблюдения полученного разрушения. Были исследованы разрушения, возникающие в ткани, при воздействии импульсами одинаковой амплитуды ($p_0 = 0.57$ MPa) и полной акустической энергии, но различной длительности [5]. Показано, что при непрерывном облучении (100% коэффициент заполнения) наблюдается тепловая денатурация белка ткани (рис.2а). В случае, когда облучение проводится импульсами длительностью 10 мс и коэффициентом заполнения 1%, тип разрушения изменяется, происходит эмульсификация ткани без теплового некроза (рис.2б). Для иллюстрации на рисунке показаны только три периода волны, тогда как в реальности импульс длительностью 10 мс состоит из примерно 2000 периодов. Предсказанный теоретически и подтвержденный экспериментально эффект кипения в ткани под действием ультразвука за миллисекунды и обнаруженный эффект механического разрушения ткани под действием растущих взрывным образом кипящих пузырей является принципиально новым и чрезвычайно интересным явлением, требующим дополнительных исследований. Работа выполнена

при частичной поддержке грантов МНТЦ и РФФИ. Компьютерные вычисления проводились на суперкомпьютерном комплексе «СКИФ-МГУ».

- [1] C.R. Hill, J.C. Bamber and G.R. ter Haar, *Physical Principles of Medical Ultrasonics*. Wiley, London, 2004.
- [2] J.E. Parsons, C.A. Cain, G.D. Abrams, and J.B. Fowlkes. Pulsed cavitational ultrasound therapy for controlled tissue homogenization. *Ultrasound Med. Biol.*, 32(1):115-29, 2006.
- [3] О.В. Бессонова, В.А. Хохлова, М.Р. Бэйли, М.С. Кэнни, Л.А. Крам. Фокусировка мощных ультразвуковых пучков и предельные значения параметров разрывных волн. // Акуст. журн., 2009, т. 55, № 4-5, стр. 445–456.
- [4] M.S. Canney, V.A. Khokhlova, O.V. Bessonova, M.R. Bailey, and L.A. Crum, “Shock-induced heating and millisecond boiling in gels and tissue due to high intensity focused ultrasound,” *Ultrasound in Medicine and Biology*, 2009, submitted.
- [5] M.S. Canney, V.A. Khokhlova, J.H. Hwang, T.D. Khokhlova, M.R. Bailey, and L.A. Crum, “Tissue erosion using shock wave heating and millisecond boiling in high intensity focused ultrasound fields”, *Proc. of ISTU*, 23-26 Sept 2009, p. 48.

Использование модифицированных цианоакрилатных частиц для доставки лекарств в мозг

Гусев А.В.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Лечение расстройств нервной системы может производиться приемом препаратов воздействующих на функции или дисфункции нервной системы пациента. Обычно подобные лекарства принимаются орально или внутривенно. В то время как существует множество лекарств, способных преодолеть гематоэнцефалический барьер, огромное количество других лекарств не могут пройти через гематоэнцефалический барьер вообще или их преодоление сильно затруднено. Такие лекарства могут быть эффективны только при не посредственной инъекции в мозг. Гематоэнцефалический барьер это барьер между кровью с одной стороны и нервной тканью - с другой. Он состоит из эндотелия капилляров, базальной мембранны и периваскулярной пограничной глиальной мембранны из отростков астроцитов. Таким образом, огромное количество высоко эффективных лекарств не может широко использоваться в клинической практике. Данную проблему можно решить различными способами: увеличить проницаемость барьера, вживить специальную полимерную ткань, несущую лекарство с контролируемым высвобождением его, или же воспользоваться услугами носителей, способных преодолевать гематоэнцефалический барьер. Увеличение проницаемости мембран негативно оказывается на их структурах, часто разрушая ее, что негативно оказывается на дальнейшем функционировании мозга. Вживление же является сложным хирургическим вмешательством, которое имеет огромное количество рисков.

Последний третий вариант представляется наиболее эффективным. В качестве носителей лекарства, способных преодолеть барьер между мозгом и кровотоком, используют различные частицы, капсулы, липосомы, а так же модифицированные молекулы самого лекарства. Наиболее перспективными являются липосомы, но несмотря на биосовместимость они имеют серьезные проблемы со стабильностью.

Следует обратить внимание на тот факт, что обычно лекарство введенное в кровь или принятое орально, воспринимается иммунной системой человека как чужеродное тело, и немедленно атакуется фагоцитами. Так же имеет значение доза препарата, принимаемая пациентом. Большое количество активных молекул лекарства атакуют внутренние органы человека, нанося вред их структуре и функционированию. Проблема уменьшение доли лекарства, оседающего на внутренних органах человека, является очень важной.

И последний пункт: для управления транспортом лекарства по внутренним органам можно использовать магнитные поля и соответственно частицы, обладающие магнитными свойствами. Управляя носителями лекарства с помощью магнитных полей, можно создавать высокие концентрации лекарства в необходимых районах органов, и повышением интенсивности разрушать носители, высвобождая лекарство.

Идея проекта

Использовать полимерные цианоакрилатные наночастицы(размер от 100-200 нм) модифицированные наночастицами магнетита(5-10 нм) для доставки лекарств в мозг и контролируемого высвобождения содержимого в необходимых областях для создания нужной концентрации лекарства.

Преимущества перед аналогами:

- простота в изготовлении частиц;
- простая технология модификации;
- низкая стоимость исходных веществ для создания носителей(цианоакрилаты – являются широко используемыми суперклейми);
- возможность доставлять любые активные вещества в мозг, не требуется сложной работы синтетиков;
- цианоакрилатные частицы проходят гематоэнцефалический барьер, не нанося повреждения;
- крайне стабильные частицы, могут находиться в растворе достаточно продолжительное время(в отличие от липосом); и др.

Новизна

Использование наноносителей для доставки лекарств в человеческом организме является передовым шагом в современной фармакологии. Подобные методы только начинают применяться в клинической практике.

Масштабность использования

Список трудно излечимых болезней, эффективность лечения возросла бы с применением данной технологии возросла бы в несколько раз достаточно широк: энцефалит, менингит, столбняк, рассеянный склероз, дрожательный паралич и др...

Сроки

Внедрение в клиническую практику данного метода может затянуться на несколько лет. Процесс воплощения в жизнь можно разделить на несколько стадий:

- Исследования и доработка продукта: 1 год.
- Создание и тестирование прототипов продукции: до 2 лет.
- Тиражирование нового лекарства, том числе настройка оборудования, обучение людей: 1 год.
- Внедрение в клиническую практику: 2 года.

Итого: 6 лет.

Измерение сдвиговой упругости мягких тканей интерференционным методом

Крит Т.Б., Костиков В.В., Андреев В.Г.

Физический факультет Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова, кафедра акустики

E-mail: timofey@acs366.phys.msu.ru

В настоящее время существуют различные методы измерения вязкоупругих свойств мягких биологических тканей, среди которых следует выделить соноэластографию [1] и визуализацию посредством сдвиговых деформаций [2]. Предложенный метод измерения сдвигового модуля в мягких тканях основан на анализе стоячих волн в одномерном резонаторе, заполненном образцом из ткани. Похожий метод успешно работает в мегагерцевом диапазоне, где ультразвуковые резонаторы используются для измерения скорости и затухания в жидкостях [3]. По ширине резонансной кривой определяется значение коэффициента затухания, а по резонансной частоте – скорость звука.

Образец, состоящий из N параллельных слоев, закреплен на пластине, которая колеблется горизонтально. Твердая пластина конечной массы M закреплена на верхней грани образца. Частицы в каждом слое образца перемещаются в соответствии с уравнением движения и материальным уравнением:

$$\rho_n \frac{\partial^2 u_x^{(n)}}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xy}^{(n)}}{\partial y},$$
$$\sigma_{xy}^{(n)} = \mu_n \frac{\partial u_x^{(n)}}{\partial y} + \eta_n \frac{\partial^2 u_x^{(n)}}{\partial y \partial t}.$$

Здесь ρ_n – плотность n -го слоя, $u_x^{(n)}$ – смещение частицы в направлении оси x , μ_n – модуль сдвига, η_n – коэффициент сдвиговой вязкости, $\sigma_{xy}^{(n)} = \frac{F_x}{S}$ – соответствующая компонента тензора напряжений, F_x – компонента силы? действующая в направлении оси x , S – площадь поверхности, перпендикулярной оси y .

Решение системы этих уравнений должно отвечать двум условиям сшивания:

$$u_x^{(n)}(y = \sum_{r=1}^n L_r, t) = u_x^{(n+1)}(y = \sum_{r=1}^n L_r, t), \quad n = 1, 2, \dots, N-1,$$
$$\mu_n \frac{\partial u_x^{(n)}}{\partial y} \left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t \right) + \eta_n \frac{\partial^2 u_x^{(n)}}{\partial y \partial t} \left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t \right) =$$
$$= \mu_{n+1} \frac{\partial u_x^{(n+1)}}{\partial y} \left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t \right) + \eta_{n+1} \frac{\partial^2 u_x^{(n+1)}}{\partial y \partial t} \left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t \right), \quad n = 1, 2, \dots, N-1,$$

где L_r – толщина r -го слоя, и двум граничным условиям:

$$\left. \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} \right|_{y=0} = w_x \Big|_{y=0}, \quad M \left. \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} \right|_{y=\sum_{r=1}^N L_r} = -\sigma_{xy} \Big|_{y=\sum_{r=1}^N L_r} \cdot S.$$

Таким образом, для целого образца имеем систему $2N$ уравнений с условиями сшивания и граничными условиями. Такая система может быть разрешена. Следовательно, наиболее подходящим для обработки экспериментальных результатов является метод сопоставления с моделью.

Для проведения экспериментов с двухслойным образцом как простым примером неоднородной среды была создана экспериментальная установка. В двухслойном образце по известному сдвиговому модулю одного слоя можно вычислить значение сдвигового модуля в другом слое. Параметры исследуемого образца были следующими: $L_0+L_x = 2.6$ см, $\mu_0 = 6$ кПа, $\eta_0 = \eta_x = 3.5$ Па·с, $\rho_0 = 1$ г/см³, $\rho_x = 0.9$ г/см³. Индекс 0 соответствует известному слою, индекс x – слою с неизвестным сдвиговым модулем. Твердая пластина массой $M = 3$ г и площадью $S = 28$ см² была закреплена на верхней грани образца.

Рассчитанные зависимости резонансной частоты от неизвестного модуля сдвига представлены на рисунке. Они получены для случая, когда неизвестный слой располагался внизу. Верхняя кривая рассчитана для толщины известного слоя $L_0 = 1.365$ см и $L_x = 1.235$ см. Нижняя кривая рассчитана при $L_0 = 1.235$ см и $L_x = 1.365$ см. Результаты расчетов для $L_0=L_x = 1.3$ см показаны между этими кривыми. Точкой отмечена измеренная резонансная частота. Методом сопоставления измеренной частоты с рассчитанными зависимостями было найдено значение неизвестного модуля сдвига, которое составило $\mu_x = 3.50 \pm 0.10$ кПа.

В двухслойном образце сдвиговый модуль одного слоя можно найти, если известны остальные параметры. Точность метода выше, если неизвестный слой мягче и расположен ниже жесткого слоя. Точность измерения частоты около 0.5%. Когда толщина слоя измерена с точностью 5%, точность определения сдвигового модуля оказывается равной 3%.

1. Hoyt K., Castaneda B., Parker K.J. Muscle Tissue Characterization Using Quantitative Sonoelastography: Preliminary Results. IEEE Ultrasonics Symposium. 2007. P. 365-368.
2. Bercoff J., Tanter M., Fink M. Supersonic Shear Imaging: A New Technique for Soft Tissue Elasticity Mapping. IEEE Trans Ultrason. Ferroelect Freq Control. 2004. V. 51. No. 4. P. 396-409.
3. Eggers F., Funck T. Ultrasonic measurements with millimeter liquid samples in the 0.5 – 100 MHz range. Rev. Sci. Instrum. 1973. Vol. 44. P. 969.

Создание комплекса компьютерного моделирования протонного облучения онкологических больных для первого в России клинического центра протонной лучевой терапии

Хорошков В.С.¹, Черняев А.П.², Рязанцев О.Б.¹, Варзарь С.М.²,
Белоусов А.В.², Карпунин В.О.¹, Матусова Т.В.², Хайбуллин В.Г.¹

1. Институт теоретической и экспериментальной физики
им. А.И.Алиханова

2. Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Протонная лучевая терапия (ПЛТ) злокачественных новообразований является эффективным и активно внедряемым в медицинскую практику методом радиационной онкологии, отвечающим современным запросам здравоохранения. Число пациентов в России, которым показана протонная терапия, по некоторым оценкам составляет около 50 тысяч в год. Поэтому минимальное необходимое число протонных терапевтических комплексов в нашей стране составляет 5-7 специализированных клинических центров.

Институт Теоретической и Экспериментальной Физики (ИТЭФ), в котором с 1969 года ПЛТ была проведена для более 4000 больных, совместно с рядом других научных и производственных организаций России разрабатывает проект по сооружению первого в стране Клинического Центра ПЛТ при ГКБ им. С.П.Боткина. Одной из важнейших частей проекта является создание компьютерного комплекса трёхмерного дозно-анатомического планирования (компьютерного моделирования) протонного облучения ProCom# на базе существующего программного пакета ProCom, разработанного сотрудниками ИТЭФ.

Структура ProCom# будет состоять из большого числа функциональных программных пакетов, соответствующих независимо запускаемым задачам. Такое обособление функциональных задач позволит решить несколько проблем, возникающих как на стадии разработки программного комплекса, так и на стадии его применения. Основные из них: независимая работа разработчиков, упрощение тестирования, минимальность и простота локального пользовательского интерфейса, квазипараллельная обработка нескольких задач с разной загрузкой вычислительных ресурсов на одном или нескольких компьютерах, возможность настройки на индивидуальные потребности пользователя.

На данный момент в рамках ProCom уже реализована основная часть программных пакетов-прототипов по обработке топометрической информации (рентгеновских компьютерных томограмм (РКТ)), расчёту количества и направлений полей облучения, трёхмерного дозового распределения и визуализации результатов. Ведётся планирование облучения реальных пациентов на медицинских пучках протонного синхротрона в ИТЭФ. Предполагается использование пакета ProCom на медицинском протонном пучке в ИЯИ РАН. Сотрудниками ИТЭФ и НИИ ядерной физики МГУ им. М.В. Ломоносова ведётся разработка программы, позволяющей совмещать данные магнитно-резонансной

томографии (МРТ) с РКТ.

В Клиническом Центре ПЛТ будут принципиально другие лучевые установки, чем в ИТЭФ и ИЯИ, и актуальность создания комплекса ProCom# заключается в отсутствии соответствующих программных средств отечественных разработчиков для новых установок. Зарубежные пакеты программ для планирования протонного облучения на аналогичных установках, как правило, поставляются вместе с лучевыми установками. При этом доработка и адаптация программ, дополнительные настройки и сервисное обслуживание осуществляется также зарубежными специалистами, что ставит отечественных пользователей в зависимое положение и приводит к существенным дополнительным затратам. Поэтому в Клиническом Центре предполагается по возможности использовать техническое и программное оснащение от российского производителя.

Практическая ценность разработки комплекса планирования протонного облучения ProCom# заключается, во-первых, в более низкой стоимости по сравнению с мировыми аналогами, а во-вторых, в приобретении опыта по созданию подобного продукта и обретении независимости от зарубежного производителя.

Линейно-цепочечный углерод – перспективный материал для медицины

Александров А. Ф., Гусева М. Б., Новиков Н. Д.,
Савченко Н. Ф., Хвостов В. В., Фиошкин А.Г.

Кафедра физической электроники, Физический факультет,
МГУ имени М.В. Ломоносова

Органическая жизнь построена на материальной базе углерода. Главной особенностью атома углерода является способность к образованию химических соединений с двойными и тройными связями, что обеспечивает многообразие органических соединений и способствует их стабильности. В органических соединениях двойные и тройные связи могут легко перемещаться и трансформироваться, что обеспечивает известную гибкость и чувствительность органических и биомолекул к влиянию внешних условий и воздействий.

Линейно-цепочечный углерод по своей природе имеет сходство с живыми тканями как по своей первичной структуре (цепочечный углерод), так и по своей вторичной структуре (способность образовывать плотноупакованную структуру, напоминающую структуру клеточных оболочек и мембран).

Плотноупакованная структура sp₁-цепочек углерода состоит из параллельных цепочек и является прекрасной командной поверхностью для ориентированного осаждения на ней молекул белков и липидов, поскольку расстояние между цепочками, равное 5 ангстремам, совпадает с межмолекулярными расстояниями у большинства органических молекул. Другими словами, она задает первичную ориентацию биологических молекул в живых организмах, что весьма важно для обеспечения биосовместимости материала. Более того, ориентированные слои sp₁-углерода способны менять параметр решетки, пропускают ионы и молекулы жидкости, действуя как молекулярный фильтр. Это свойство объясняется слабым Ван-дер-Ваальсовским взаимодействием цепочек между собой, что делает возможным их раздвигание при взаимодействии с молекулами и ионами. Данное свойство еще больше роднит линейно-цепочечную фазу углерода с живым организмом, в котором Ван-дер-Ваальсовское взаимодействие наряду с водородными связями является основой строения.

Высокая биосовместимость пленок ЛЦУ обусловлена не только сродством цепочек углерода с концевыми группами белков и углеводородов, но и относительной «крыхостью» структуры линейно-цепочечный углерода. Концевые группы биополимеров могут входить в межцепочечное пространство, обеспечивая чисто механическое сцепление с поверхностью углеродной пленки, не разрушая ни саму пленку, ни структуру биомолекул.

Важным свойством линейно-цепочечного углерода является отсутствие у него канцерогенных свойств. Биомедицинские эксперименты с использованием линейно-цепочечного углерода показали отсутствие денатурирования белков на его поверхности и исключительно низкий потенциал свертывания крови.

Покрытие поверхности линейно-цепочечным углеродом придает ей исключительную тромборезистентность (превосходит полистерин) и позволяет улучшить биосовместимость медицинских имплантатов и устройств, уменьшает

риск образования тромбов, отторжения имплантата и развития воспаления.

Среди предполагаемых направлений использования линейно-цепочечного углерода - приборы для сердечно-сосудистой системы, ортопедические и зубные имплантаты, имплантаты мягких тканей, хирургические иглы и нити, протезы барабанной перепонки в отохирургии.

Хирургические нити, покрытые слоем линейно-цепочечного углерода, имеют меньшую травматичность за счет уменьшения коэффициента трения при нахождении в живых тканях. В тоже время, повышается прочность и сроки сохранности нитей в тканях за счет придания им свойств нерассасывающихся материалов. Технология нанесения линейно-цепочечного углерода позволяет легировать углеродную структуру, например, азотом или серебром, что придаёт покрытию бактерицидные свойства.

Технология покрытия имплантатов плёнкой линейно-цепочечного углерода была испытана в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии. Испытания показали, что все имплантаты, на которые нанесено биоуглеродное карбонсодержащее покрытие, соответствуют медико-биологическим требованиям:

1. все имплантаты ареактивны, а значит, биосовместимы;
2. биоуглеродное покрытие обладает стойкостью к методам стерилизации и не меняет своих свойств;
3. биоуглеродное покрытие само по себе и способ его нанесения не меняет физических свойств имплантатов: сохраняется необходимая эластичность бутилакрилатовых имплантатов, сохраняется прочность металлических конструкций;
4. покрытие имплантатов позволяет снизить процент воспалительных осложнений и отторжения имплантатов, фиксируемых в близости от постоянно инфицированных полостей (полость верхнечелюстного синуса, полость рта) или в непосредственном контакте с ними, что свидетельствует об апирогенности покрытия;
5. покрытие позволяет комбинировать различные виды металлических имплантатов, в частности, кобальтохромовый сплав, из которого изготавливаются протезы височно-нижнечелюстного сустава и фиксаторы в виде шурупов из стандартного набора для остеосинтеза костей лица, изготавливаемых из титана. При этом не происходит значимого в таком случае гальванизма, приводящего к отторжению имплантатов.

Проведённые исследования дают основание предположить, что контакт с ЛЦУ стимулирует направленную регенерацию слизистой оболочки полости рта. В свою очередь, подтверждение способности Sp1- углерода (ЛЦУ) стимулировать направленную регенерацию тканей организма человека открывает новые возможности в области восстановительной хирургии.

Перспективные магнитострикционные материалы на основе соединений редкоземельных и 3d-переходных металлов

Панкратов Н.Ю.⁽¹⁾, Никитин С.А.⁽¹⁾, Терешина И.С.⁽²⁾, Политова Г.А.⁽²⁾

⁽¹⁾ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

⁽²⁾ Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г.Москва, Россия

Разработка материалов с высокими значениями магнитострикции интенсивно ведется в ведущих промышленно-развитых странах (США, Великобритания, Германия, Китай и др.) с целью создания магнитострикторов для генерации звуковых и ультразвуковых волн в гидроакустике, для управления лазерными лучами в оптоэлектронике, для управляющих конструкций в гидравлике.

Явление гигантской магнитострикции в редкоземельных и урановых соединениях, обнаруженное отечественными учеными [1-2], создает базу для разработки магнитострикционных материалов с высокими значениями магнитострикционных констант. Для реализации этого явления в редкоземельных соединениях была показана [2] необходимость выполнения следующих условий:

- 1) Высокая концентрация ионов редкоземельных металлов;
- 2) Высокие значения эффективных обменных полей $H_{\text{эфф}}$, действующих на ионы редкоземельных металлов;
- 3) Наличие трех и более осей легкого намагничивания (что реализуется в кубической кристаллической решетке, или в базисной плоскости гексагональной кристаллической решетки).

Среди известных соединений в наибольшей степени эти условия выполняются для интерметаллических соединений типа RFe_2 с кубической кристаллической решеткой фазы Лавеса, где и была найдена гигантская магнитострикция при комнатных температурах [3], которая составляет в соединении $TbFe_2$ величину $\lambda \sim 1500 \cdot 10^{-6}$ в поле $H = 15$ кЭ. Однако эти соединения и материалы на их основе не обеспечивает в полной мере эффективность использования магнитострикторов, поскольку высокие значения магнитострикции достигаются только в довольно сильных магнитных полях ($H > 5$ кЭ). Поэтому важное значение приобретает исследование составов $RR'(\text{Fe},\text{Co})_2$ [4-6], где за счет подбора концентрации редкоземельных ионов с разными знаками констант магнитной анизотропии удается скомпенсировать большую часть магнитной анизотропии. Для минимизации констант магнитной анизотропии, целесообразно использовать соединения с тремя типами редкоземельных ионов, т.е. «четверные» системы. С этой целью была синтезирована серия поликристаллических редкоземельных сплавов стехиометрии $RR'R''(\text{Fe},\text{Co})_2$, где в качестве редкоземельных компонентов в сплавы, содержащие ионы Tb с положительной одноионной магнитокристаллической анизотропией, вводились металлы Dy и No , которые дают отрицательный вклад в константу магнитной анизотропии.

Образцы сплавов были выплавлены в дуговой электропечи с нерасходуемым вольфрамовым электродом на медном водоохлаждаемом поддоне в атмосфере аргона. Равномерность состава соединений обеспечивалась

трехкратным переплавом и последующим отжигом в эвакуированных кварцевых ампулах при температуре 900 °C в течение 100 ч. Фазовый состав синтезированных соединений контролировался методами рентгеноструктурного и металлографического анализов. Во всех этих образцах измерена зависимость продольной и поперечной магнитострикции от статического магнитного поля.

В работе проведён поиск составов, обладающих большой положительной магнитострикционной восприимчивостью при продольном намагничивании. Обнаружено, что в соединениях $RR'R''(Fe,Co)_2$, магнитострикционная восприимчивость $\partial\lambda/\partial H$, которая характеризует скорость возрастания магнитострикции с полем, составляет величины в интервале $20 \cdot 10^{-8} \text{ Э}^{-1}$ до $45 \cdot 10^{-8} \text{ Э}^{-1}$. Показано, что некоторые Со-содержащие соединения имеют более высокие значения магнитострикционной восприимчивости по сравнению с Fe-содержащими. В системе $Tb_{0,23}Dy_{0,27}Ho_{0,5}Fe_{2-y}Co_y$ максимум $\partial\lambda_{||}/\partial H = 42 \cdot 10^{-8} \text{ Э}^{-1}$ наблюдается в области малых концентраций Со ($y = 0,2$), в то время как в системе $Tb_{0,37}Dy_{0,5}Ho_{0,13}Fe_{2-y}Co_y$ максимум $\partial\lambda_{||}/\partial H = 32 \cdot 10^{-8} \text{ Э}^{-1}$ обнаружен при $y = 1,3$. Системы $(Tb-Dy-Ho)(Fe,Co)_2$ являются более перспективными для применения по сравнению с Fe-содержащими системами, исследованными ранее [7].

В работе также обнаружена гигантская объёмная магнитострикция $\sim(200-400) \cdot 10^{-6}$ вблизи комнатных температур в соединениях Y_2Fe_{17} и Lu_2Fe_{17} . Детально исследованы температурные и полевые зависимости продольной и поперечной магнитострикции монокристаллов Lu_2Fe_{17} и Y_2Fe_{17} в интервале температур 78-300 K в магнитных полях до 12 kOe. Обнаружено, что наибольшую величину имеет стрикция вдоль оси c в поле $H \perp c$, в то время как стрикция в базисной плоскости значительно меньше. Обращает на себя внимание, что при нагревании образца линейная и объемная магнитострикция сильно возрастают при приближении к температуре Кюри. Материалы с гигантской объемной магнитострикцией являются перспективными для решения ряда задач в гидравлике.

Работа поддержана грантом поддержки молодых российских ученых МК-5467.2008.2.

Литература

1. Белов К.П., Левитин Р.З., Никитин С.А., Соколов В.И. Явление аномально высокой магнитострикции в редкоземельных и урановых соединениях. Открытие №225 по Госреестру.
2. Белов К.П., Катаев Г.И., Никитин С.А., и др. УФН т.140, №2, 1983, с.271-313.
3. A. E. Clark, Magnetostrictive RFe₂ intermetallic compounds, in Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Ed. by K. A. Gschneidner, Jr. and L. Eyring (North-Holland, Amsterdam, 1979), Vol. 2, Chap. 15, p. 231-257.
4. Wu G., Wan J., Li J., et al. Appl.Phys.Lett. v.67, #14, 1995, p.2005-2007.
5. Терешина И.С., Никитин С.А., Политова Г.А., Опаленко А.А., Терешина Е.А., Телегина И.В. ФТТ, 2009, т.51, вып.1, стр. 85-90.
6. Tereshina I.S., Nikitin S.A., Politova G.A., et al. Solid State Phenomena Vol. 152 – 153, 2009, pp 7-10.
7. Tereshina I., Nikitin S., Tulyakov A., et.al. J.Alloys Comp. v.451, 2008, p.481-483.

Управляемые микроволновые композиты на основе ферромагнитных микропроводов

Панкратов Н.Ю.^(1,4), Панина Л.В.⁽²⁾, Жуков А.П.⁽³⁾, Peng H.-X.⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁽²⁾ School of computing, Communication and Electronics, University of Plymouth, UK

⁽³⁾ Departamento de Física de Materiales, Facultad de Química, UPV/EHU, San Sebastian, Spain

⁽⁴⁾ ACCIS, Aerospace Engineering, University of Bristol, Bristol, UK

Композитные среды с периодическими массивами элементов рассеяния являются интересными объектами исследования благодаря их аномальным дисперсионным характеристикам электромагнитного излучения. Известно, что композиты с внедренными проводами демонстрируют подобные уникальные свойства в СВЧ диапазоне. Целью данной работы является представление новых результатов о влиянии магнитного поля на спектры рассеяния в композитной среде, содержащей массив аморфных ферромагнитных микропроводов состава CoFeNiSiBMo.

Одиночный слой параллельно натянутых магнитомягких микропроводов покрытых стеклом, внедрялся в армированный стекловолокном тонкий планарный композит на основе эпоксидной смолы. Влияние магнитного поля на дисперсионную зависимость компонентов волновой матрицы микроволнового рассеяния исследовалось в свободном пространстве для композитов размером 50x50см (толщина 640 μm). На основе экспериментальных данных восстановлена дисперсионная зависимость эффективной диэлектрической проницаемости ϵ_{eff} в различных магнитных полях. Обнаружено, что исследованные композиты характеризуются резонансным видом спектра коэффициента отражения с резкой зависимостью от внешнего поля $H \leq 6 \text{ Т}$.

В работе экспериментально показана возможность управления магнитным полем на микроволновые свойства планарных композитов, содержащих включения протяженных ферромагнитных аморфных микропроводов с высоким содержанием кобальта. Спектр пропускания среды содержащей проволоки достаточно сильно изменяется под действием поля в узком диапазоне вблизи плазменной частоты. Отличительной особенностью является то, что в результате действия слабого магнитного поля происходит изменение в магнитной структуре микропровода, которое открывает полосу пропускания СВЧ сигнала. Установлено, что существует корреляция между магнитными свойствами композитов и геометрией расположения проволок. Данная работа показала, что микропровода с композицией (Co,Fe,Ni)(B,Si,Mo) пригодны для изготовления композитных сред чувствительных к магнитному полю. Сильная полевая зависимость СВЧ параметров отражения/передачи и эффективной диэлектрической проницаемости композитов, содержащих микропровод, показывает, что подобные композиты являются весьма перспективными кандидатами в материалы для широкого диапазона самотестируемых сред.

Работа поддержана EPSRC UK грантом No.EP/FO3850X.

Компьютерное моделирование в разработке новых материалов для органических светодиодов

Малафеев А.С.¹, Иванов В.А.¹, Лукьянов А.Е.²

1. Физический Факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

2. Max-Planck Institute for Polymer Research

Атомистический потенциал для Poly(2,3-diphenyl phenylene vinylene) (DP-PPV) был улучшен с помощью квантово-химических вычислений и сверен с экспериментальными данными. Моделирование методом молекулярной динамики разбавленных растворов DP6-PPV и DP10-PPV в хлороформе и толуоле подтверждает экспериментальные данные о том, что хлороформ является более хорошим растворителем для DP-PPV, чем толуол. В то же время, персистентная длина DP-PPV в хлороформе, рассчитанная из данных компьютерного моделирования, оказывается значительно больше, чем наблюдаемая в эксперименте; скорее всего, это связано с присутствием дефектов в цепях. Огрублённая модель и потенциал получены из атомистического моделирования с применением алгоритма Больцмановского инвертирования и алгоритма стягивания молекул из пакета GROMACS. Огрублённое моделирование подтверждает, что DP10-PPV не агрегирует, но, в то же время, показывает лишь незначительные различия между DP6-PPV и DP10-PPV, что не соответствует экспериментальным данным. Вероятно, более сильная агрегация DP6-PPV в эксперименте является следствием более сильной агрегации в твёрдом веществе до растворения, т.е. в кристаллической фазе.

В последнее время интерес к сопряжённым полимерам сильно вырос благодаря их уникальным оптическим и электрическим свойствам, именно это делает их перспективными материалами для оптоэлектроники, например полимерных светодиодов и пластиковых проводящих слоёв [1-3].

Уже на ранней стадии разработки полимерных оптоэлектронных устройств на основе сопряжённых полимеров стало понятно, что их свойства очень сильно зависят от локальной структуры расположения цепей. Выбирая различные условия при изготовлении плёнок, таких как растворитель, температура, способ получения плёнки из раствора, становится возможным получать плёнки с различными морфологиями и контролировать их свойства.

Атомистическая модель требует очень много вычислительных ресурсов, эта проблема может быть решена с помощью использования огрублённой модели. В огрублённой модели атомы объединяются в группы и рассчитываются потенциалы для взаимодействия этих групп как материальных точек. Потенциал для валентных взаимодействий вычисляется с помощью Больцмановского инвертирования корреляционных функций, полученных из атомистического моделирования, потенциалы для невалентных взаимодействий вычисляются с использованием алгоритма стягивания молекул из пакета GROMACS.

Стандартная структура растворимого сопряжённого полимера – это полужёсткий углеродный скелет с гибкими боковыми цепями, обеспечивающими растворимость и облегчающими формирование плёнки. Свойства плёнки, полученной методом drop-casting или spin-coating из раствора, зависят от конформации цепей в разбавленном растворе. Конечная конформация

зависит от баланса между сильным взаимодействием на малом расстоянии между углеродными скелетами (π - π взаимодействие) и стерическим и энтропийным отталкиванием боковых цепей.

Чтобы получить представление о влиянии качества растворителя на морфологию плёнки, можно использовать компьютерное моделирование. Из сравнения результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными можно получить представление о присутствии дефектов, влияющих на сопряжённость цепи и транспортные свойства.

Для получения атомистической модели было использовано силовое поле OPLS [4], а недостающие потенциалы для двугранных углов были получены с помощью квантово-химических вычислений из первых принципов с использованием пакета GAUSSIAN. Для расчета зарядов была использована процедура CHELPG [5]. Для уточнения силового потенциала сначала были проведены расчеты только для основной цепи, без боковых цепей. Для проверки потенциала температура плавления и коэффициент диффузии для кристалла транс-стильбена, полученные из моделирования, сравнивались с параметрами, полученными экспериментально, они совпали с хорошей степенью точности. Параметры моноклинной решётки транс-стильбена были взяты из [6]. Измеренная плотность транс-стильбена соответствует экспериментальным данным.

Получая потенциалы для производных PPV (DP6-PPV и DP10-PPV), мы следовали такой стратегии: сначала вычисляли частичные заряды на мономерах DP-PPV и затем проводили параметризацию двух дополнительных потенциалов для двугранных углов, один из которых связывает фенильные кольца и основную цепь, а другой – фенильное кольцо и алкильную боковую цепь. Для параметризации использовалась функция Райкарта-Беллемана [7], где $\phi=0$ соответствует транс-конформации. Для алкильной цепи использовался потенциал OPLS с объединёнными атомами. Для проверки потенциалов для растворителя было проведено молекулярно-динамическое моделирование 125 молекул хлороформа в течении 2 ns в NPT ансамбле при 300 K, 1 bar. Равновесная плотность и коэффициент диффузии хорошо соответствуют экспериментальным значениям. Далее одиночная цепь длиной 10 или 20 мономерных звеньев помещалась в растворитель, и система уравновешивалась в течении 10 ns. После достижения равновесия запускалось моделирование на 40 ns. Были рассчитаны корреляции для ориентаций мономерных звеньев в цепи.

Для построения огрублённой модели необходимо заменить определенные группы из нескольких атомов эффективными огрублёнными частицами. В случае с DP6-PPV мы использовали два атомистических звена в качестве одной такой частицы. Таким образом, n -мер атомистической модели становится $n/2$ -мером в огрублённой модели.

Следующий этап получения огрублённой модели – расчет потенциала для валентных взаимодействий. На этом этапе достаточно провести атомистическое моделирование только одной цепи. Необходимо исключить невалентные взаимодействия между атомистическими группами, соответствующими одной огрублённой частице, не соединёнными валентными связями вдоль по цепи, такими как 1-5 1-6 и т.д. Для простоты была взята схема только с одним видом огрублённых частиц. Моделирование проводилось в NPT ансамбле в ячейке размерами 15*8*8 nm для 10 мера, T=300 K, P=1 bar.

Для моделирования использовался пакет GROMACS, в нём валентные потенциалы могут быть заданы в виде таблиц, это очень удобно в нашем случае. После Больцмановского инвертирования мы получили негладкие функции. Они были сглажены с помощью алгоритма LOESS.

Для получения невалентного потенциала мы использовали алгоритм стягивания молекул. Два атомистических димера были помещены в ячейку с растворителем и стянуты до минимально возможного расстояния между их центрами масс. Затем они раздвигались друг от друга с заданной скоростью. С шагом в 0.02 nm были получены 100 различных систем, отличающиеся расстоянием между центрами масс димеров, затем расстояние фиксировалось и запускалось моделирование, в результате которого мы измеряли среднюю силу взаимодействия между димерами. Зная среднюю силу для каждого расстояния, нетрудно получить потенциал.

Эксперименты по светорассеянию дают информацию о куновском сегменте и перsistентной длине DP10-PPV в разбавленных растворах хлороформа и толуола. Перsistентная длина DP10-PPV в хлороформе равна 5,6 nm (примерно 10 мономерных звеньев), а для DP10-PPV в толуоле – 3,5 nm (примерно 6 повторяющихся звеньев). Длина повторяющегося звена DP10-PPV равна 0.57 nm. Мы пришли к выводу, что ориентационная корреляция в толуоле более слабая, чем в хлороформе, это подтверждает что толуол более плохой растворитель, чем хлороформ для DPP-PV [8]. В нашем моделировании перsistентная длина получилась равной примерно 17 мономерных звеньев (или 9.8 nm) для DP10-PPV в хлороформе. Отклонения в перsistентной длине, вероятно, получились из-за наличия дефектов в цепях. Эти дефекты могут разрушить сопряжённость цепи, уменьшить ориентационные корреляции и значительно повлиять на конформацию и перенос заряда в плёнке из такого полимера [9]. Огрубленный потенциал для DP10-PPV не имеет ярко выраженного минимума, что соответствует экспериментальным результатам. Но огрубленный потенциал для DP6-PPV тоже не имеет ярко выраженного минимума, что не вполне соответствует экспериментальным данным. Мы полагаем, что агрегация в эксперименте – результат неполного растворения полимера.

- [1] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, *Nature* 347, 539 (1990).
- [2] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. dos Santos, J. L. Bredas, M. Lögglund, et al., *Nature* 397, 121 (1999).
- [3] H. Spreitzer, H. Becker, E. Kluge, W. Kreuder, H. Schenk, R. Demandt, and H. Schoo, *Adv. Matter.* 10, 1340 (1998).
- [4] W. L. Jorgensen and J. Tirado-Rives, *J. Am. Chem. Soc.* 110, 1657 (1988).
- [5] C. Breneman and K. Wiberg, *J. Comp. Chem.* 11, 361 (1990).
- [6] A. Hoekstra, P. Meertens, and A. Vos, *Acta Cryst. B* 31, 2813 (1975).
- [7] J. P. Ryckaert and A. Bellemans, *Far. Disc. Chem. Soc.* 66, 95 (1978).
- [8] Y. C. Li, K. B. Chen, H. L. Chen, C. S. Hsu, C. S. Tsao, J. H. Chen, and S. A. Chen, *Langmuir* 22, 11009 (2006).
- [9] D. Hu, J. Yu, K. Wong, B. Bagchi, P. Rossky, and P. Barbara, *Nature* 405, 1030 (2000).

ВЧ РАЗРЯД ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

К.В.Вавилин², М.А. Гоморев¹, Е.А.Кралькина¹, В.Б. Павлов¹, В.П.Савинов¹

¹ – Физический факультет, Московский государственный университет им М.В.Ломоносова, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

1. Введение

В течение последних лет стала очевидной тенденция использовать газовые разряды при атмосферном давлении в промышленности, главным образом в плазмохимических приложениях. Однако в литературе отсутствует детальное понимание механизма физических процессов, протекающих в разрядах, а также при взаимодействии разряда с поверхностью материалов. Настоящая работа представляет первые результаты по систематическому изучению свойств ВЧ разряда при атмосферном давлении совместно с результатами исследования воздействия разрядов на поверхность материалов.

2. Конфигурация разрядов и методика экспериментов.

В экспериментах использовались два типа организации ВЧ разряда. В первом случае разряд зажигался в конфигурации острье-плоскость, расстояние между которыми изменялось в диапазоне 4-15mm. В некоторых экспериментах на заземленную пластину помещался диэлектрик. Разряд помещался в поток воздуха, создаваемый газораспределителем. Разряд поджигался и поддерживался ВЧ генератором, работающим на частоте 13.6МГц.

Вторым типом исследованных ВЧ разрядов являлся протяженный разряд,, организованный с помощью устройства, изображенного на Рис.1. С помощью поджигного электрода 1 инициировался разряд между металлической струной 1 и металлической пластиной. Разряд помещался в поток воздуха, имевший продольную и поперечную относительно струны составляющие скорости, что обеспечивало необходимую однородность разряда.

Для изучения свойств разряда в геометрии игла-плоскость измерялись временные зависимости приложенного ВЧ напряжения и разрядного тока, вольтамперные характеристики разряда, усредненные по времени значения потенциала плазмы относительно электродов.

Для изучения механизма формирования протяженного разряда проводилась видео съемка разряда. Кроме того, изучалась корреляция сигналов фотодиодов, установленных вдоль разряда.

Для изучения возможностей использования ВЧ разряда при атмосферном давлении для модификации поверхности материалов образцы различных материалов, предварительно очищенные этиловым спиртом, обрабатывались в разряде при их многократном сканировании через разрядный промежуток. После обработки в разряде измерялся контактный угол и адгезионная сила.

3. Результаты экспериментов

На Рис.2а показана вольт-амперная характеристика разряда в конфигурации острье-плоскость, поддерживаемого генератором, работающим на частоте 13.6МГц. Участки ВА характеристики, соответствующие последовательно увеличивающимся значениям ВЧ мощности, отмечены буквами, следующими друг за другом, начиная с буквы А.

Участок АВ вольтамперной характеристики соответствует случаю, когда разряд отсутствует. Участок СД соответствует условиям, когда светящаяся часть разряда, возникающая вблизи иглы, не касается пластины. В точке Д разряд касается пластины и появляется разрядный канал между плазмой и электродом. При этом уменьшается напряжение горения ВЧ разряда (точка Е). Точка F соответствует переходу разряда в дугу. Зависимость активной части разрядного тока от напряжения горения разряда показана на рис.2б. Можно видеть, что после заполнения плазмой пространства между иглой и пластиной в точке Д при увеличении ВЧ мощности активный ток возрастает, а ВЧ напряжение падает, т.е. наблюдается стабильная мода разряда с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Причинами наблюдаемого эффекта по всей вероятности являются нагрев газа в разрядном канале, его контракция и термоэлектронная эмиссия с иглы.

Видеосъемка протяженного разряда показала, что сначала поджигается разряд вблизи поджигного электрода, затем под действием потока воздуха факел перемещается вдоль струны пока не достигает электрода 4. Там разряд гаснет, а затем поджигается вновь вблизи поджигного электрода. Увеличение поперечной скорости потока воздуха приводит к увеличению скорости перемещения факела.

Протяженные разряды на частоте 13.6МГц использовались для модификации поверхности полимеров и металлов.

Эксперименты показали, что в результате обработки образцов в разряде происходит существенное снижение контактных углов материалов. Так в случае фторопласта, полиэтилена, полииамида и винил хлорида были получены значения 40° , 20° , 20° , 25° соответственно, а в случае алюминия и нержавеющей стали – $10-20^\circ$.

4. Список литературы

- [1]. Proceedings of HAKONE YII Conference.
Greifswald, 2000.

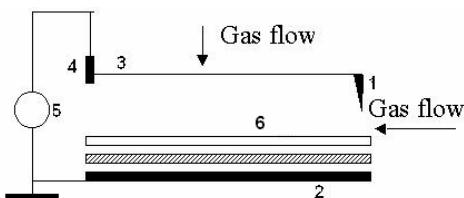
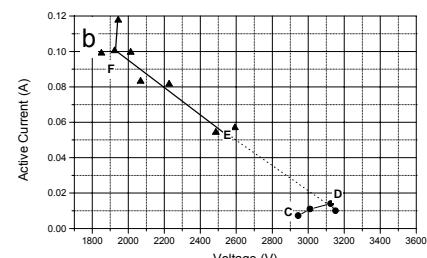
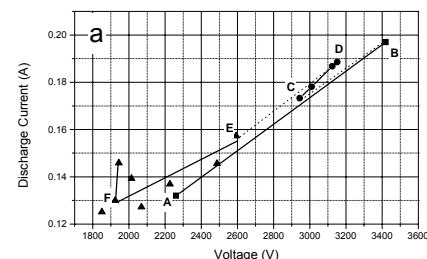


Рис1. Схема эксперимента струна-плоскость 1-поджигной электрод, 2 – металлическая пластина, 3,4 – электроды, 5 – ВЧ генератор, 6 - образец.

Рис2. Вольт-амперная характеристика ВЧ разряда на частоте 13.6МГц.

а – полный ток, б – активный ток.



Новый наноуглерод для микроэлектроники будущего

Коробова Ю.Г., Александров А.Ф., Гусева М.Б., Новиков Н.Д.,
Савченко Н.Ф., Хвостов В.В.

Кафедра физической электроники, физический факультет,
МГУ имени М.В. Ломоносова

Данная работа посвящена описанию уникального нового материала на основе углерода. Как все элементы IV группы периодической таблицы Менделеева, углерод образует связи между атомами не вследствие перекрытия основных орбиталей, а создавая новые, гибридизованные, орбитали. Но в отличие от других элементов IV группы он способен образовывать разные типы гибридизации. Две его фазы, соответствующие sp^3 (алмаз) и sp^2 - гибридизации (графит) хорошо изучены, найдены в природе и искусственно синтезированы. sp^1 -углерод долгое время не могли обнаружить. Впервые sp^1 -углерод (карбин) был синтезирован в ИНЭОСе Сладковым А.М. в 1959 г. в аморфной форме[1]. Были получены только аморфные или плохо упорядоченные пленки и порошки с размером кристаллитов не более 100 нм. Т.е. линейно-цепочечный углерод ЛЦУ устойчив только в нанофазе.

В настоящей работе описывается первый плёночный материал, основанный на линейно-цепочечном sp^1 -углероде – двумерно упорядоченный слоистый линейно-цепочечный углерод (ДУЛЦУ), полученный на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова [2].

Построена модель атомной структуры пленки. Структура многослойная и каждый слой состоит из sp^1 -гибридизованных углеродных атомных цепочек. Эти цепочки плотно упакованы в гексагональную решетку. Согласно картине электронной дифракции и атомной силовой микроскопии расстояние между цепочками лежит в пределах от 0.490 до 0.503 нм. Иными словами, пленочная структура состоит из идентичных изогнутых цепочек, в которой изгибы ориентированы случайным образом по отношению к осям цепочек. Изгибы соседних цепочек коррелированы: расположены в одной плоскости и одинаково направлены. Цепочки ровные только внутри слоя, а слои соединяются посредством зигзагов. Зигзаги поворачиваются от слоя к слою для всех цепочек коррелированно.

В формировании структуры пленки ДУЛЦУ и её стабильности важную роль играет подложка [2]. Она определяет «параметр порядка» - максимальную толщину пленки ДУЛЦУ, порядка 100нм. На большей толщине происходит разупорядочение ДУЛЦУ структуры вследствие сшивания цепочек.

Исследование СТМ выявило, что пленки ДУЛЦУ обладают туннельной прозрачностью. Этот эффект имеет ту же природу, что и туннельная проводимость длинных молекул углеводородов, осаждённых на проводящую подложку.

Экспериментальные исследования вертикального и горизонтального удельного сопротивления, показали, что пленки ДУЛЦУ являются

превосходными анизотропными проводниками. Отношение вертикального удельного сопротивления к горизонтальному $\geq 2 \times 10^5$.

Проводимость вдоль цепочек не зависит от температуры и от длины цепочки, т.е. толщины плёнки. Вдоль цепочек имеет место квантовая проводимость (туннелирование): электроны движутся по цепочке без потерь – баллистический режим. Поперёк цепочек проводимость прыжковая, т.е. плёнки ведут себя аналогично диэлектрикам.

Т.о., электроны вдоль цепочек движутся как в высоком вакууме, следовательно, открывается перспектива создания твердотельной электроники, работающей на принципах вакуумной баллистической электроники, а т.к. расстояние между цепочками примерно 5\AA и взаимодействие между цепочками слабое, то можно считать, что имеет место ансамбль квантовых нитей. Такая электроника сохранит в себе преимущества вакуумной электроники – быстродействие и отсутствие шумов – и преумножит ценные качества твердотельной электроники – возможность миниатюризации (практически безгранична - до атомного уровня) и интеграции. Показано, что ДУЛЦУ пленки можно легировать и интеркалировать и получать на их основе одномерные полупроводники n- и p-типа. Донорами могут быть группы N, NH₂, OH, CH₃, металлы. Акцепторами – группы NO₂, CH, S. Методами ЭСХА и ПЭМ показано, что при легировании атомами H и N они встраиваются в цепочку, создавая прочные химические связи с углеродными атомами. В то же время атомы S помещаются между цепочками и не образуют химических связей.

Таким образом, одномерная углеродная электроника может быть построена и на принципах современной полупроводниковой электроники, где активные и пассивные элементы создаются на основе p-n-переходов. Подвижность электронов в таких системах больше на два порядка, чем в лучших полупроводниковых образцах в настоящее время. Скорость переключения, соответственно, возрастает в 100 раз. Тепловое рассеяние практически отсутствует. Также отсутствует предел миниатюризации, что позволяет создать неограниченную степень интеграции. Системотехника такой электроники будет являться простым продолжением современных достижений микросхемотехники на кремнии. Только здесь не будет физического предела минимизации интегральных схем. Базовым элементом такой электроники может стать углеродная квантовая нить.

Предложены различные варианты приборов на основе ДУЛЦУ: преобразователь э/м излучения (например, УФ, видимого или ИК диапазонов), биполярный транзистор на основе пленки ДУЛЦУ, полевой транзистор на баллистических электронах, полевой транзистор и способ плотной записи информации на матрицу[3].

Кроме того, найдены некоторые другие интересные применения ДУЛЦУ. В медицине он может использоваться как биосовместимое тромборезистентное покрытие, в промышленности как защитное покрытие, как подслой для холодной сварки и т.д.

[1] Kydryavtsev Yu. ,Evsyukov, S., Guseva M., Babaev V., Khvostov V. Carbon, 1992, 30,213-221.

[2] Shibaev P., Guseva M., J. Crystal Growth, 1992,119,399-402.

Датчики магнитного поля на основе высокочастотных свойств нанокомпозитных материалов

Мельников В.А., Шалыгина Е.Е., Шалыгин А.Н.

Физический факультет Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова, 119991 Москва

В последнее время уделяется большое внимание изучению физических свойств нанокомпозитных материалов, и в частности, нанокомпозитных микропроволок, состоящих из проводящей внутренней сердцевины и магнитомягкой внешней оболочки [1 – 5]. Микронные размеры этих материалов, обуславливают их широкое применение в миниатюризованных устройствах современной микроэлектроники. Наибольшее применение они получили в качестве высокочувствительных микроэлементов в датчиках слабых магнитных полей [1], функциональные особенности которых основаны на магнитополевой зависимости гигантского магнитоимпеданса (ГМИ). Было обнаружено, что наличие хорошо проводящей сердцевины в нанокомпозитных микропроволоках значительно усиливает амплитуду ГМИ (см., например, [4, 5]). Вместе с тем повышение чувствительности описанных выше датчиков магнитных полей по-прежнему остается актуальной проблемой. Здесь следует отметить также, что в теоретической работе [6] было показано, что амплитуда ГМИ в тонких магнитных пленках, аморфных и нанокристаллических лентах и микропроволоках сильно зависит от их приповерхностной микромагнитной структуры (равновесного распределения намагниченности), которая для нанокомпозитных микропроволок практически не изучалась. Учитывая выше изложенное, в рамках данной работы были выполнены комплексные исследования приповерхностной микромагнитной структуры и магнитополевых зависимостей магнитоимпеданса нанокомпозитных NiFe/Cu микропроволок.

Нанокомпозитные NiFe/Cu проволоки были получены путем электролитического осаждения в специальной установке, которая состоит из водяной ванны, цилиндрической камеры со стальным антикоррозийным покрытием и генератора постоянного и переменного токов. Слои NiFe толщиной 5 микрон были нанесены на очищенные медные проволоки. С помощью описанного выше метода была получена серия образцов с разным содержанием Fe в слое NiFe, C_{Fe} , изменяющемся от 19.3 до 26.8 %. Микроструктура нанокомпозитных микропроволок была исследована рентгеновским (XRD) методом и проанализирована с помощью трансмиссионного электронного микроскопа (TEM). Изучение приповерхностной микромагнитной структуры NiFe/Cu микропроволок было выполнено с помощью метода сканирующей Керр микроскопии, позволяющего получать информацию о топографии намагниченности приповерхностного слоя толщиной 15 нм с пространственным разрешением вплоть до 0.3 микрон [7]. Распределения компонент намагниченности как параллельной, так и перпендикулярной приложенному магнитному полю были измерены с помощью экваториального эффекта Керра путем сканирования светового пятна диаметром 1 микрон вдоль длины

проводочных образцов L . Квазистатическое переменное магнитное поле с частотой $f = 80$ Hz было приложено параллельно L . Высокочастотные свойства изучаемых микропроволок были исследованы с помощью четырех контактной системы HP4192A. Магнитно-полевые зависимости магнитоимпеданса $\Delta Z/Z(\%) = \{Z(H) - Z_{\text{sat}}\}/Z_{\text{sat}} \times 100\%$ были измерены при различных значениях частоты f измерительного тока ($f = 0.1 - 50$ MHz) при циклическом изменении поля (от $+H$ до $-H$ и обратно), приложенного параллельно протекающему через образец высокочастотному току. Здесь Z_{sat} – значение магнитоимпеданса Z при $H = 40$ Э.

Микроструктурные исследования показали, что слои NiFe изучаемых композитных микропроволок имеют нанокристаллическую структуру с размером гранул D порядка 12 - 18 нм, причем значение D увеличивается с ростом C_{Fe} . Данные магнитооптических исследований свидетельствовали о том, что в приповерхностной области нанокомпозитных NiFe/Cu микропроволок существуют круговые домены с ± 90 -градусной ориентацией намагниченности в соседних доменах относительно длины образца. При этом основным механизмом перемагничивания изучаемых микропроволок является вращение локальных векторов намагниченности в круговых доменах. Было также найдено, что значение поля насыщения H_s увеличивается, а ширина кругового домена d уменьшается с ростом концентрации железа C_{Fe} (соответственно с ростом размера гранул D) в слое NiFe. Найденные зависимости $H_s(C_{\text{Fe}})$ и $d(C_{\text{Fe}})$ были объяснены микроструктурными особенностями микропроволок с изменением C_{Fe} . Изучение магнитополевых зависимостей ГМИ микропроволок, показало, что максимальные значения ГМИ, наблюдаемые для изучаемых микропроволок, зависят от размеров кристаллитов D , формирующих массив слоев NiFe. В частности, значение $\Delta Z/Z(\%)^{\text{MAX}}$ увеличивается с уменьшением D , при этом частотный диапазон, где регистрируется $\Delta Z/Z(\%)^{\text{MAX}}$ смещается в область меньших частот. Кроме того, было обнаружено, что значения $\Delta Z/Z(\%)^{\text{MAX}}$ почти на порядок превышают ГМИ, наблюдаемый для аморфных микропроволок.

В целом полученные данные позволили дать научно-обоснованные рекомендации повышения чувствительности датчиков магнитного поля на основе ГМИ.

Литература

- [1] R.S. Beach, N. Smith, C.L. Platt, F. Jeffers, A.E. Berkowitz // Appl. Phys. Lett. 1996. V. 68. P. 2753-2755.
- [2] G.V. Kurlandskaya, J.M. Barandiaran, J. Gutierrez, D. Garcia, M. Vazquez, V.O. Vas'kovskiy // J. Appl. Phys. 1999. V. 85. P. 5438-5440.
- [3] D. Garcia, G.V. Kurlandskaya, M. Vazquez, F.I. Toth, L.G. Varga // J. Magn. Magn. Mater. 1999. V. 203. P. 208-214.
- [4] A.S. Antonov, N.A. Buznikov, A.B. Granovsky, I.T. Iakubov, A.F. Prokoshin, A.L. Rakhmanov, A.M. Yakunin // J. Magn. Magn. Mater. 2002. V. 249. P. 315-318.
- [5] X.P. Li, H.L. Seet, Z.J. Zhao, Y.K. Kong, H. Gong // Trans. Mater. Research Society of Japan. 2004. V. 29. No 4. P. 1695-1700.
- [6] L.V. Panina, K. Mohri // J. Magn. Magn. Mater. 1996. V. 157/158. P. 137-140.

Высокоэффективные адсорбенты на основе sp¹-углерода

Александров А. Ф., Гусева М. Б., Нищак О. Ю., Новиков Н. Д.,

Савченко Н. Ф., Хвостов В. В.

Физический факультет, кафедра физической электроники

Высокая потребность в эффективных адсорбентах стала особенно актуальной в связи с проблемами загрязнения окружающей среды, очисткой технологических газов в современных высокопроизводительных процессах и необходимостью создания универсальных средств очистки.

Одним из наиболее привлекательных с этой точки зрения материалов является активированный углерод - углерод, обладающий повышенной адсорбционной способностью. Области его применения в настоящее время интенсивно расширяются. Это связано с очень большой удельной поверхностью активированного углерода и огромным разнообразием атомных структур, которые могут быть построены на его основе.

Основное препятствие для использования такого углеродного материала в больших масштабах заключается в относительно высокой стоимости, которая определяется традиционно применяемой технологией, состоящей из двух стадий: первая - карбонизация углеродосодержащего прекурсора (ПАН, целлюлоза и др.); вторая - активация карбонизованного материала в парах воды или углекислого газа (CO₂). Оба эти процессы требуют длительной высокотемпературной обработки (900-1000 °C). В результате из-за энергетических затрат конечная стоимость адсорбента возрастает на 60-70 %. Кроме того, большое количество летучих компонент, появляющихся во время технологического процесса, приводит к большой потере веса.

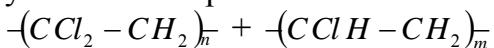
В работе предлагается новый вид волокнистых углеродных адсорбентов на основе линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ). Отличительной особенностью этих адсорбентов является исключительно низкая себестоимость, обусловленная низкотемпературной технологией их изготовления (низкоэнергетические затраты) и высоким коэффициентом использования исходного материала (выход 65% против 15%, существующих на сегодняшний день).

ЛЦУ получается низкотемпературной карбонизацией (T комн.) поливинилиденгалогенидов (ПВХ, ПВДХ, ПВДФ).

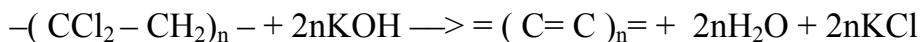
Особенностью используемой технологии приготовления адсорбентов является также низкотемпературный кратковременный отжиг (T=400°C, t=10минут). В результате получается высокопористый углеродный материал с высокой адсорбционной способностью.

Характерной особенностью этих адсорбентов является линейно-цепочечное строение (sp-гибридизация). Такой тип структуры закладывается в исходном материале и сохраняется после обработки в конечном продукте.

В качестве прекурсора в работе использовался сополимер поливинилиденхлорида (ПВДХ) и поливинилхлорида (ПВХ). Структурная формула сополимера:



Для получения углеродного волокна применялась химическая реакция дегидрогалогенирования:



В процессе реакции от молекулы полимера отщеплялись атомы хлора и водорода, и цепочка становилась углеродной. Полученный в результате материал на 98% процентов состоял из углерода в sp-гибридизации.

На всех стадиях формирования адсорбента исследовался состав и структура получаемого материала. Морфология и атомная структура изучались методом просвечивающей электронной микроскопии (JEM-100С), электронная структура – методом электронной спектроскопии (RIBER), химический состав – методами рентгеновской и Оже-спектроскопии, тип связи определялся из ИК- и КР-спектров.

Установлено, что на всех стадиях процесса сохранялась линейно-цепочечная структура с sp-типов гибридизации.

В просвечивающем электронном микроскопе наблюдалось формирование пористой структуры в углеродном материале. Средний размер пор изменялся в диапазоне 10-100 Å. Наличие большого количества нанопор в материале способствовало получению развитой поверхности углеродного материала.

Исследовалась потеря веса прекурсора в процессе изготовления адсорбента. Значительная потеря массы имела место в результате вакуумного отжига при температурах до 300°C.

Согласно измерениям, полная потеря массы после дегидрогалогенирования и отжига точно соответствовала теоретически рассчитанному значению 35% от полной массы прекурсора, что означало отсутствие неконтролируемых потерь.

Для исследования адсорбционной способности была выбрана одна из стандартных методик – адсорбция бензола. Динамика адсорбции бензола полученным волокнистым ЛЦУ показала ленгмюровский характер (монослойная адсорбция): количество адсорбированного вещества экспоненциально приближалось к максимальной адсорбционной способности. Установлено, что адсорбционная способность сильно зависит от температуры отжига: до температур 360°C адсорбционная способность незначительна и слабо изменяется, а начиная с 360°C - резко растет. Максимальное значение достигнуто при 400°C. Как показали исследования химического состава, возрастание адсорбционной способности связано с удалением прочно связанного кислорода из углеродного волокна (C=O связь) при температурах выше 350°C.

Коммерческие образцы активированных углей изготавливаются из целлюлозы и имеют адсорбционную способность по бензолу 150-200 мг/г. Аналогичная адсорбционная способность ЛЦУ материала достигается уже при температуре 300°C. При оптимальной температуре отжига 350°C максимальная адсорбционная способность достигает величины 450-600 мг/г.

Таким образом, адсорбционная способность волокнистых ЛЦУ адсорбентов по бензолу более, чем в два раза превышает величину адсорбционной способности используемых индустриально углеродных адсорбентов.

Новые органические комплексы железа (спиновые кроссоверы) для создания оптических сенсоров и устройств памяти.

Л.В. Хенкин¹, А.А.Новакова¹, Т.Ю. Киселева¹, В.В. Соцкий², Н.В.Усольцева²

¹⁾ *Физический факультет МГУ им. Ломоносова, Ленинские горы, Москва, Россия*

²⁾ *Ивановский Государственный Университет*

Под действием внешних факторов (таких как температура, давление, магнитное поле и т.д.) в некоторых металлоорганических комплексах переходных металлов может происходить изменение состояния центрального катиона металла – переход из высокоспинового (ВС) в низкоспиновое состояние (НС). Вещества, в которых происходят эти явления, называются спиновыми кроссоверами. Спиновые переходы связаны с изменением физических свойств всего соединения в целом, что даёт возможности практического применения спиновых кроссоверов в качестве оптических элементов дисплеев, сенсоров давлений и температур, ячеек для устройств хранения информации, контрастных веществ для магнето-резонансных изображений [1,2].

Для спиновых кроссоверов с разной структурой и химическим составом соединения кривая спинового перехода – зависимость количества фазы ВС от температуры – имеет разный вид. В частности, сдвигаются рамки температурного интервала превращения, изменяется наклон кривой, и может появиться гистерезис при съёмке вверх и вниз по температуре. На сегодняшний день основной задачей является создание спиновых кроссоверов с областью перехода при температурах близких к комнатной.

В нашей работе была синтезирована и исследована серия образцов – комплексов двухвалентного железа с лигандами на основе бензимидазола, в которых варьировался химический состав. Полученные соединения отличались друг от друга цветом, который, как известно, зависит от спинового состояния. Лиганды этих образцов отличались длиной алкильных заместителей, а также природой аниона (Cl^- или ClO_4^-). Исследования проводились методами мессбауэровской спектроскопии и измерения магнитной восприимчивости, которые позволяют получить информацию о форме кривой спинового перехода и об изменении валентного и спинового состояния катиона железа.

В результате измерений были выявлены температурные рамки и особенности спиновых переходов исследуемых образцов. Обнаружено, что увеличение длины алкильного заместителя приводит к смещению интервалов перехода в область более высоких температур. Для группы образцов, содержащих анион Cl^- , было установлено,

что помимо ионов Fe(II) они содержат ионы Fe(III), которые также влияют на свойства спинового перехода. Было установлено, что ионы Fe(III) также претерпевают спиновое превращение, но его интервал отличается от интервала перехода Fe(II). Количество ионов Fe(III) в исследуемых комплексах увеличивалось при увеличении длины алкильного хвоста.

[1] O. Kahn and C. Jay Martinez, Science, 279, 44-48, (1998)

[2] V. Stavila, M. Allali, et. al., New J. Chem., 32, 428–435 (2008)

Хенкин Лев Вадимович, 119991, Москва, Ленинские горы, физический факультет МГУ

Тел.: (495) 939-12-26; Факс: (495) 932-88-20; E-mail: lev_ne@mail.ru

Дистанционная олимпиада для школьников «Шаг в Физику»

Авторы: Прудников В.Н., Янышев Д.Н., Скворцова Н.И.

Организация: Центр дистанционного образования физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

На протяжении последних лет информатизация образования связана с активным использованием ресурсов сети Интернет в обучении. Внедрение информационных технологий и интернет-технологий является одним из приоритетов развития и реформирования среднего образования. Одной из таких технологий является интернет-олимпиада.

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова имеет большой опыт проведения и организации очных олимпиад высокого уровня. Ежегодно физический факультет проводит Московскую региональную олимпиаду по физике, которая имеет статус государственной важности и поддерживается Министерством образования РФ. В данной олимпиаде имеют право участвовать все желающие: учащиеся средней школы, учащиеся начального и среднего профессионального образования. Олимпиада проводится в очной форме в г. Москве. Для обеспечения возможности участия в олимпиаде учащихся из регионов РФ, было принято решение о проведении первого тура не только в очной, но и в дистанционной форме.

В связи с этим, в декабре 2008 года Физический факультет силами Центра дистанционного образования организовал дистанционную олимпиаду «Шаг в Физику».

Цель проведения данного мероприятия - дать возможность школьникам со всех регионов страны принять участие в олимпиаде высокого уровня.

К участию в проекте приглашались школьники 9, 10 и 11 классов под руководством координатора (учителя, школьного координатора, родителя). Участие в олимпиаде могли принимать как организованные группы школьников (используя компьютерные классы в школе), так и каждый школьник в отдельности (используя домашний компьютер).

Для проведения Олимпиады был создан портал - <http://olympiada.msu.ru/>, включающий в себя всю информацию по данной олимпиаде. Официальным партнером в проведении Олимпиады являлась компания Google, которая осуществляла информационно-техническую поддержку.

Для участия в олимпиаде «Шаг в Физику», необходимо было пройти обязательную регистрацию, с заполнением регистрационной формы участника олимпиады. После регистрации участник получал закрепленный за ним адрес электронной почты, куда высыпалась необходима информация.

С учетом географического расположения Российской Федерации ее территория при проведении олимпиады была разделена на две временные зоны: первая – для проживающих от Калининграда до Красноярска (часовые пояса от – 1 до + 4 по отношению к московскому времени), и вторая – для проживающих в Иркутске или восточнее (часовые пояса от + 5 до + 9).

Участникам каждого класса было предложено по 5 заданий, на решение и отправку, отведено 6 часов. Задания были размещены на сайте Олимпиады. Для представления ответов и решений допускались различные формы: текстовый файл, документ MSWord, а также отсканированные или сфотографированные с высоким разрешением рукописные страницы.

Общение между участниками и организаторами проекта осуществлялось посредством электронной почты, через лист рассылки - технологии позволяющей эффективно осуществлять доставку информации большому числу адресатов. Одновременно с этим сервер листа рассылки хранит архив проходящей через него корреспонденции, к которому любой из подписчиков может обратиться в любое время для решения тех или иных спорных вопросов. Для решения технических проблем, в проведении данного мероприятия, создавалась специальная группа, контролирующая этот процесс.

Стоит отметить, что данная Олимпиада вызвала немалый интерес как у Московских школьников, так и у школьников из регионов РФ. На момент проведения Олимпиады было зарегистрировано более полутора тысяч участников из всех регионов страны, так же несколько участников из ближнего зарубежья.

По результатам интернет-олимпиады было выявлено 70 победителей. Полученные баллы в дистанционном туре, для учащихся одиннадцатого класса, засчитывались во втором очном туре. Все победители дистанционного тура олимпиады были приглашены в Москву, для участия в заключительном туре Московской олимпиады по физике. Из 70 победителей дистанционного тура, в заключительном туре было выявлено 46 победителей. Одиннадцатиклассники получившие дипломы 1-ой и 2-ой степеней по решению Центральной приемной комиссии МГУ получили льготы для поступления на Физический факультет, в виде засчитанных 100 баллов по ЕГЭ по физике.

Победителям 9 и 10 классов, по решению Ученого совета МГУ, было предложено бесплатное обучение на дистанционных подготовительных курсах по физике в осеннем семестре.

Участие в дистанционном и в очном туре олимпиады позволило многим школьникам стать студентами физического факультета МГУ в 2009 году. В дальнейшем, планируется ежегодное проведение такого рода олимпиад на факультете.

Проведение второй Всероссийской дистанционной олимпиады по физике назначено на 13 декабря 2009 года.

Комплекс задач специального практикума по метаматериалам: «Волны в метаматериалах с сильным взаимодействием между элементами. Супер-линза.»

Радковская А.А. (1), Прудников В.Н. (1), Захаров П.Н. (2),
Бабушкин А.К. (2), Королев А.Ф.(2), Сухоруков А.П. (2)
МГУ им.М.В Ломоносова, физический факультет, кафедра магнетизма (1),
кафедра фотоники и физики микроволн (2)

Разработка и внедрение инновационных образовательных программ, обеспечивающих оперативное включение новых знаний в учебные теоретические и практические курсы, в настоящее время является необходимым при подготовке специалистов в быстро развивающихся областях современной науки. Метаматериалы - системы микрорезонаторов - обладают уникальными электромагнитными свойствами, управлять которыми можно, варьируя параметры системы. Исследование метаматериалов представляет как фундаментальный интерес, так и открывает широкие прикладные возможности по созданию приборов для управления ближним электромагнитным полем, включая новые типы электромагнитных сенсоров, линзы с субволновым разрешением, малогабаритные антенны, объекты, "невидимые" в определенном диапазоне частот и др. Активное изучение метаматериалов началось с первой практической демонстрации отрицательного преломления в 2001 году и с тех пор привлекает внимание исследователей по всему миру, хотя первая теоретическая работа появилась в 1960 г.

Для исследования магнитных метаматериалов на физическом факультете разработана и отлажена современная измерительная установка на базе векторанализатора Rohde&Schwarz ZFB20, позволяющая в автоматическом режиме проводить одномерное сканирование поверхности с микронным разрешением. Подготовлено описание задач практикума, включая необходимую теоретическую и практическую часть.

Основная цель практикума: изучение микроскопических свойств метаматериалов с учетом взаимодействия между микрорезонаторами – “элементарными ячейками” – атомами искусственной среды и исследование в широком частотном диапазоне от 20 МГц до 3ГГц. медленных магнито-индуктивных волн, определяющих электромагнитный отклик в магнитных метаматериалах

Для первой очереди задач в МГц диапазоне на основе разработанной оригинальной технологии изготовлены образцы метаматериалов, состоящие из периодической системы медных колец и конденсаторов. Элементы – кольцевые резонаторы (диаметр 23 мм, с впаянной постоянной емкостью 330пФ). Резонансная частота 51.7 МГц. Использование подстроечных конденсаторов позволило добиться точности по частоте 0.02%, и говорить о полной идентичности элементов.

В рамках практикума студентам и аспирантам предлагается выполнить ряд исследовательских работ, представляющих комплексное исследование метаматериалов, начиная с определения *индивидуальных свойств отдельных элементов*, составляющих метаматериал, и заканчивая магнитоиндуктивной супер-линзой, имеющей субволновое разрешение.

В частности, подробно изучается *взаимодействие элементов* и проводится исследование комплексного анизотропного коэффициента связи.

Взаимодействие между элементами приводит к распространению магнито-индуктивных волн, имеющих разнообразные дисперсионные характеристики. Демонстрируется *распространение прямых и обратных* магнитоиндуктивных волн в планарной и аксиальной одномерных линиях.

Проводится экспериментальное исследование биатомной метаматериальной структуры и подтверждается существование *акустической и оптической* ветвей в дисперсии магнитоиндуктивных волн. Обсуждается аналогия с дисперсией фононов в твердом теле.

Проводится исследование взаимодействия *связанных линий* метаматериала. Демонстрируется возможность управления дисперсией - шириной полосы пропускания и ее расщеплением на две зоны.

Приводится теоретическое обоснование и проводится экспериментальное подтверждение модели *субволновой линзы ближнего поля* на основе двухслойной магнито-индуктивной структуры. Магнитоиндуктивная супер-линза позволяет трансляцию радиосигналов с субволновым разрешением, для возможных применений в спектроскопии магнитного резонанса и медицинской томографии (см. Рис.1).

Исследуются передаточные свойства *магнито-индуктивных волноводов с управляемым коэффициентом связи*; демонстрируется эффект возможности вариации трансмиссии на 60 дБ, имеющий потенциал для создания приборов

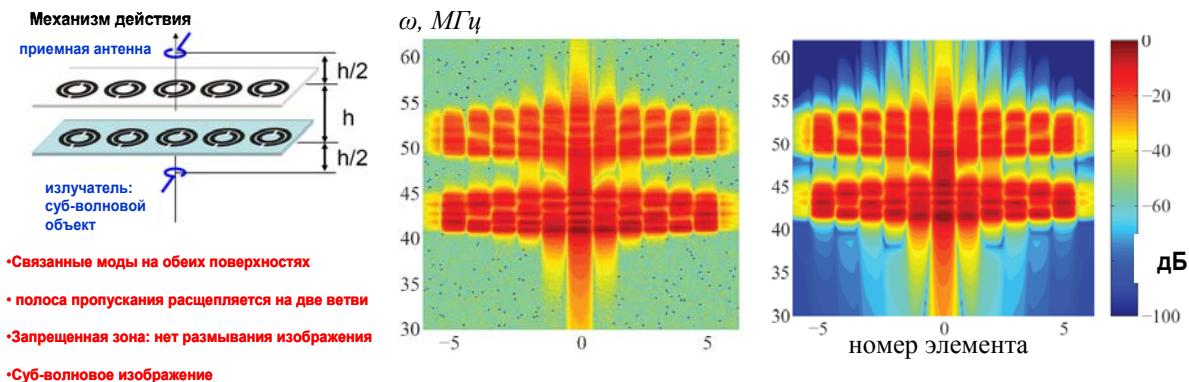


Рис.1. Схематичное изображение двухслойной магнитоиндуктивной линзы с субволновым разрешением. Распределение поля в зависимости от частоты и от положения в плоскости изображения эксперимент и численный расчет. (Слева на право)

Описанный комплекс задач основан на последних достижениях в области метаматериалов, представляет законченный цикл исследований и может быть рекомендован, студентам и аспирантам различных кафедр.

Система дистанционного контроля успеваемости студентов

Белышев С.С.¹, Ишханов Б.С.¹, Кузнецов А.А.², Курилик А.С.¹,
Стопани К.А.²

1. Кафедра общей ядерной физики, Физический факультет,
МГУ имени М.В. Ломоносова
2. НИИ ядерной физики имени Д.В.Скobel'цына,
МГУ имени М.В. Ломоносова

В последние годы благодаря интернету становится возможным дистанционное общение между студентами и преподавателями, появляется большое количество систем дистанционного обучения. Становится популярным контроль знаний обучающихся в виде тестирований на компьютере. В основном в таком виде тестирования выбирается только один ответ из нескольких предложенных. В качестве задания могут быть как качественные вопросы, так и задачи. В тесте заранее присутствуют ответы. Тест хорош для проверки знаний и запоминанию ограниченного набора определений и типовых задач. Тестирование является лишь дополнительным инструментом для проверки знаний или текущей успеваемости по предмету.

Данный доклад посвящен системе дистанционного контроля успеваемости студентов, разработанной на кафедре общей ядерной физики. Задачей системы является удаленная проверка знаний студентов, обучающихся на кафедре. Проверяются знания студентами текущего материала курса и умение решать основные типы задач. Другой целью данной системы является автоматическое ведение статистики успеваемости. Технически система представляет собой веб-сайт, созданный на языке программирования PHP, с использованием базы данных MySQL. Программные модули сайта содержат большое количество задач с автоматическим выбором условий, средства аутентификации студентов, интерфейс просмотра результатов.

Все задачи на сайте разделены по темам и спецкурсам. При входе на сайт пользователь должен ввести свое имя, номер группы и спецкурс по которому он будет решать задачи. Каждая задача в тесте имеет несколько варьируемых параметров, которые могут меняться непрерывно или дискретно. Для каждого студента задачи будут иметь уникальные условия. Еще одно важное отличие от общепринятых систем компьютерного тестирования состоит в том, что ответ нужно вводить в виде числа в нужной системе единиц, а не выбирать из списка предложенных. Единицы в которых нужно ввести ответ тоже изменяются в зависимости от задачи. Правильным считается ответ с некоторой точностью, точность проверки ответа можно настроить. По умолчанию для всех задач точность 10 %. Сразу после ввода ответа студент видит правильный ответ и результат решения конкретной задачи (правильно или неправильно).

Помимо этих типов заданий сейчас разрабатывается возможность для ввода в поле ответа формул, что еще больше расширит круг возможных заданий в тесте.

Основное назначение системы контроля знаний - это текущая проверка успеваемости. Преподаватель может в любой момент добавить новые задачи из банка задач, дать уже решенные ранее задачи на повторение и в оперативном режиме наблюдать за ходом их решения, контролировать остаточные знания по старым темам. В системе присутствует интерфейс для просмотра результатов решения задач. Все решения хранятся в базе данных, что дает много возможностей для просмотра различной статистики по решениям. Например, можно просмотреть какие задачи вызывают наибольшие трудности (по времени решения или по проценту правильно решенных).

Использование системы контроля текущей успеваемости положительно сказывается на образовательном процессе, потому что основной частью обучения является самостоятельная работа студентов. Студент может большое число раз и в любое время решать одну проблему до тех пор пока не добьется правильного решения. Таким образом он учится и проверяет себя сам, причем каждый раз получает измененные условия задачи.

Систему можно использовать также для проведения классического тестирования в компьютерном классе. Также тестирование можно проводить удаленно. При этом преподаватель может ограничивать время на тест и количество попыток ввода ответа. Студент же может написать этот тест удаленно в любое удобное ему время. Большие возможности система дает для дистанционного обучения. Стендовый доклад посвящен работы системы дистанционного контроля знаний по схеме классического тестирования с выбором ответов. Каждому желающему предлагается пройти такое тестирование. Предложено 40 вопросов, случайно выбранных из двухсот возможных. Тестирование ограничено по времени. Результат тестирования можно просмотреть сразу после теста.

Отметим достоинства системы дистанционного контроля успеваемости студентов. Во-первых это доступность – для работы с системой необходим только доступ к интернет. Все задачи определенного типа при каждом входе на сайт имеют разные условия. При этом студент каждый раз должен решать задачу заново, что исключает дублирование решений. Также преимуществом системы является то, что ответ вводится в виде числа в нужной системе единиц. При этом практически невозможно угадать ответ, а нужно обязательно решать задачу. Результаты решения задач можно видеть сразу после их решения.

Большое число тем и задач и возможность решать их в любом месте, где есть интернет, позволяет добиться непрерывности процесса обучения. Разнообразие типов вывода результатов дает преподавателю большую статистику по каждому студенту. Возможность в реальном времени наблюдать за процессом решения студентами заданий позволяет быстро оценить, как усвоена каждая тема, и вносить изменения в план обучения.

Система текущего контроля успеваемости студентов успешно используется на кафедре общей ядерной физики физического факультета МГУ им М.В. Ломоносова.

Магнитные свойства горных пород и метеоритов и их связь с эволюцией Земли и Солнечной системы

Безаева Н.С. (1), Трухин В.И. (1), Rochette P.(2)

(1) кафедра физики Земли, физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

(2) CEREGE CNRS/ Aix-Marseille Université (Франция)

При палеомагнитных исследованиях обнаружено, что примерно половина всех горных пород намагничена антипараллельно направлению напряжённости современного геомагнитного поля (ГМП). Предполагается, что обратная намагниченность горных пород образовалась во время периодов, когда древнее ГМП имело противоположную полярность (инверсии ГМП). Теоретические и экспериментальные исследования Л. Нееля и Т. Нагаты, соответственно, указали на возможность получения обратной намагниченности горных пород в поле прямой полярности. Это явление получило название самообращения намагниченности. Таким образом, существует альтернативный инверсиям ГМП механизм образования в природе обратной намагниченности. Самообращение намагниченности происходит за счёт внутренних физико-химических процессов, имеющих место в ферримагнитных минералах горных пород.

Инверсии ГМП могут оказывать огромное влияние на экологию нашей планеты, так как во время инверсии напряжённость ГМП близка к нулю и быстрые частицы высоких энергий солнечного и космического излучений могут достигнуть поверхности Земли и её биосферы. Следует заметить, все инверсии восстановлены по косвенным признакам – палеомагнитным данным. За время прямых измерений ГМП ни одной инверсии мы пока не наблюдали, и изучать инверсии напрямую мы никогда не сможем, так как средняя продолжительность инверсии составляет 5000 лет.

Поэтому большую роль приобретают исследования явления самообращения намагниченности горных пород и исследования физического механизма самообращения намагниченности. Самообращение естественной остаточной намагниченности NRM (от англ. Natural Remanent Magnetization), термонамагниченности TM (от англ. Thermo Magnetization) и термоостаточной намагниченности TRM (от англ. Thermo Remanent Magnetization) многократно наблюдалось во многих лабораториях мира, в том числе в лаборатории Геомагнетизма кафедры физики Земли физического факультета МГУ на кимберлитах Якутии, на синтезированных гемоильменитах и на подводных базальтах Атлантического Океана.

На основе экспериментальных исследований построена модель явления самообращения намагниченности горных пород (по однофазному механизму N-типа Нееля). Построенная модель существенно расширила возможности физического эксперимента и позволила исследовать явление самообращения намагниченности во всём диапазоне магнитных параметров виртуальных образцов горных пород (без необходимости синтезировать образцы с заданными свойствами или искать такие образцы в природе), а также рассмотреть различные варианты настоящего явления.

С точки зрения глобальной экологии проведённые нами исследования имеют инновационный характер, так как для познания эволюции Земли в прошлом, а также понимания и предсказания грядущих проблем Земли в последующие годы и столетия необходимо решить вопрос о наиболее вероятном физическом механизме образования в природе обратной намагниченности (инверсии ГМП или самообращение намагниченности) и вероятности возникновения инверсий в будущем. Детальное исследование особенностей процессов самообращения намагниченности ферримагнитных минералов горных пород поможет оценить вероятность соответствующего физического явления, и тем самым косвенно оценить вероятность инверсий ГМП. В настоящей работе решена проблема физического механизма самообращения намагниченности, определён путь оценки вероятности реализации инверсий ГМП, а также исследованы магнитные свойства некоторых метеоритов и проведен анализ полученных результатов с точки зрения эволюции Солнечной системы.

Природные флуоресцентные индикаторы состояния водных экосистем

В.В. Фадеев (1), П.А. Волков (1), Н.Н. Сысоев (2), И.В. Фадеева (2)

Физический факультет МГУ, кафедра квантовой электроники (1),
центр гидрофизических исследований (2)

Разработаны научные основы использования гумусового вещества (ГВ) и фитопланктона (ФП) как природных флуоресцентных интегральных индикаторов состояния водных экосистем. Эти соединения присутствуют в прибрежных морских водах и во внутренних водоёмах в концентрациях, достаточных для выполнения указанной функции. Именно такие водные экосистемы подвергаются наибольшей антропогенной нагрузке и поэтому для них особенно актуально использование техники и методов, позволяющих получать информацию в режиме реального времени, что обеспечивается с помощью указанных флуоресцентных индикаторов.

Флуоресценция ГВ представляет собой широкую полосу с максимумом в районе 440 нм при возбуждении в УФ области спектра. Этот природный индикатор может быть использован для определения структуры водных масс и для обнаружения токсикантов. Смена типа водной массы проявляется в изменении интенсивности флуоресценции ГВ и изменении формы полосы, хотя и небольшом, но поддающимся определению с помощью нейросетевых алгоритмов.

Известно, что ГВ, обладающие сложным составом и строением, способны взаимодействовать с различными химическими соединениями. В частности, ГВ содержат реакционные центры, которые связывают металлы и различные типы органических соединений, например ароматические углеводороды. Последний класс веществ рассматривается особенно внимательно, поскольку полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются экотоксикантами и в несвязанной форме представляют угрозу для существования живых организмов. Предельно допустимые концентрации некоторых ПАУ составляют десятки микрограммов на литр. Как показали наши исследования, выполненные для смесей ГВ с пиреном и уранилом, указанное связывание проявляется в изменении флуоресцентных характеристик ГВ и значениях фотофизических параметров их флуорофора, которые определялись методами нелинейной и кинетической лазерной флуориметрии. Таким образом, ГВ может служить флуоресцентным индикатором не только гидрологических структур, но и присутствия в воде экотоксикантов.

Присутствие фитопланктона (ФП) в природной воде проявляется для всех групп водорослей в появлении в спектре эхо-сигнала полосы флуоресценции с максимумом на длине волны 685 нм. Форма и положение этой полосы практически не зависят от вида и состояния водоросли, но от этого состояния, как оказалось, сильно зависят фотофизические параметры основного пигмента – хлорофилла *a*, которые можно определить методом нелинейной лазерной флуориметрии.

Как показали наши полевые исследования, в качестве базовых элементов измерительного комплекса для экологического мониторинга прибрежных морских акваторий и внутренних водоемов с использованием ФП и ГВ в качестве природных флуоросенсоров наиболее перспективны лидар берегового базирования и лазерный спектрометр с приемо-передающим оптоволоконным кабелем. В будущем для этих целей, возможно, будут использоваться и беспилотные авианосители с мини-лидаром на борту.

Очистка почв и грунтов под существующей инфраструктурой*

Копчик С.В.¹, Ханел М.²

1. Кафедра магнетизма физического факультета МГУ, Москва, Россия
2. Институт окружающей среды, Инновационный центр, Бремерхафен, Германия

В настоящее время наиболее широко используемыми методами очистки и восстановления почв и грунтов является выемка и удаление загрязненного слоя, который затем обрабатывается или вывозится для складирования в другом месте. Как правило, это дорогостоящие методы, сопровождающиеся сильным воздействием на окружающую среду. Более того, во многих случаях выемка затруднена по финансовым или техническим причинам. Поэтому приоритетной задачей является развитие новых альтернативных технологий удаления загрязняющих веществ из почв и грунтов на месте, без существенных нарушений почвенного покрова. В частности, для очистки и восстановления загрязненных тяжелыми металлами почв и грунтов перспективны технологии связывания металлов на месте с помощью мелиорирующих добавок, снижающих их биологическую доступность и миграционную способность. В качестве добавок используется широкий ряд природных минеральных и органических веществ, отходов промышленности и сельского хозяйства.

Технология Cleansoil (Чистая почва) развивает простой и экономически эффективный метод, пригодный для обработки загрязненных почв и грунтов *in situ*, без значительных нарушений территории. Метод основан на установке системы рукавов, которые могут включать множество секций-карманов, внутри параллельных перфорированных труб, заложенных на ту или иную глубину с помощью горизонтального бурения (Patent No. WO 98/51421, 1998). Карманы служат вместилищем подходящего сорбента, который поглощает поллютанты и может заменяться / удаляться по достижении необходимой степени очистки почв и впоследствии регенерироваться. Поэтому метод применим для очистки и восстановления почв и грунтов под зданиями, шоссе, путепроводами, железными дорогами как в случаях локального, так и диффузного загрязнения и для создания барьеров распространению загрязняющих веществ.

Полевой эксперимент проводили в течение двух месяцев на загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолах иллювиально-железистых, сформированных на слоистых водоно-ледниковых отложениях в 5 км от ГМК «Североникель» на Кольском полуострове. В качестве сорбента тяжелых металлов по результатам адсорбционных статических экспериментов был выбран вспученный вермикулит марки C-verad, полученный обжигом природного вермикулита Ковдорского месторождения, с размером фракций 0.5-2 мм и плотностью 110-140 кг/м³. Вермикулит закладывали в почвы в

* Авторы благодарны коллегам и студентам факультета почвоведения МГУ и ИППЭС РАН, участвовавшим в проведении полевых и аналитических исследований. Работа поддержана 6-ой РП Евросоюза (INCO-CT-2005-013420) и РФФИ (проект 08-04-01745).

горизонтальных перфорированных трубах на глубину 40-50 см. Для увеличения подвижности связанных в верхних горизонтах почв тяжелых металлов и выноса их в зону контакта с сорбентом применяли дополнительные способы обработки (полив водой, 0.01 М растворами соляной или лимонной кислот). Был изучен состав твердой фазы почв (гранулометрический состав, кислотность, катионообменные свойства, содержание углерода, азота, оксалаторастворимых алюминия, железа, марганца, доступных соединений Ni, Cu, Co, Pb, Cd, Zn), отработанного вермикулита, почвенного раствора и лизиметрических вод (рН, концентрации органического вещества, Ni, Cu, Co, Pb, Cd, Zn).

Обработка разбавленными кислотами оказывала заметное воздействие на растворимость тяжелых металлов. Применение соляной и лимонной кислот увеличивало концентрацию никеля и меди в почвенном растворе до 10 раз по сравнению с поливом водой и контролем. Под воздействием кислот количество мобилизованных тяжелых металлов со временем увеличивалось, усиливалась их миграция в нижние горизонты почвы. Этот процесс сопровождался также ростом концентраций алюминия и железа в почвенном растворе и выраженным подкислением дерново-подзола при обработке соляной кислотой.

Содержание доступных никеля и меди в верхнем горизонте обработанных кислотами почв снизилось к концу эксперимента. Результаты эксперимента свидетельствуют о перераспределении металлов между различными по прочности связи с почвенными компонентами соединениями и с глубиной. Однако доля металлов, высвободившихся из верхних слоев почвы в результате кислотной обработки, была невелика. Хотя соляная кислота более эффективна в мобилизации и перераспределении тяжелых металлов, вероятность подкисления почв и потеря элементов минерального питания при ее использовании достаточно высоки. Лимонная кислота может быть рекомендована в качестве более приемлемого для окружающей среды экстрагента тяжелых металлов, поскольку ее действие ограничено быстрым микробиологическим разложением. Обработка водой не привела к значимым изменениям в содержании металлов.

Вермикулит способен эффективно связывать тяжелые металлы в почвах и может применяться в сочетании с другими агентами в недорогих технологиях очистки и восстановления загрязненных почв. Однако в полевом эксперименте значительная часть тяжелых металлов не была перехвачена системой горизонтальных перфорированных труб с сорбентом. Система Cleansoil должна работать более эффективно при высоких концентрациях тяжелых металлов в почвенных растворах и низких скоростях миграции, при преобладании диффузного механизма перемещения металлов. Частая смена сорбента будет способствовать интенсивному связыванию поллютантов.

Таким образом, апробированный метод пригоден для очистки загрязненных тяжелыми металлами почв под существующей инфраструктурой и в случае широкого спектра поллютантов практически не имеет альтернативы. Однако метод следует применять с особой осторожностью в связи с возможностью токсичного действия мобилизованных поллютантов и высокой вероятностью загрязнения грунтовых вод, особенно при их неглубоком залегании.

Разработка технологии комплексного мониторинга состояния литосферы вулканоопасных и сейсмоактивных регионов Северного Кавказа на основе высокоточных деформографических, гравиметрических и GPS/ГЛОНАСС наблюдений.

Милюков В.К., Миронов А.П., Мясников А.В.

ГАИШ МГУ, Лаборатория лазерной интерферометрии.

Технология комплексного мониторинга состояния литосферы вулканоопасных и сейсмоактивных регионов Северного Кавказа разрабатывается с целью оценки изменения состояния литосферы, прогноза катастрофических природных и антропогенных явлений, развития навигационных систем.

Система основана на комплексном использовании результатов геофизических, геологических, гравиметрических, геодезических (включая спутниковые GPS/ГЛОНАСС) измерений. Предлагаемые для решения задачи технические средства либо относятся к лучшим образцам соответствующей аппаратуры, выпускаемой в мире (высокоточные гравиметры ZLS Burris и Scintrex CG5, абсолютный гравиметр FG-5, GPS/ГЛОНАСС приемники и антенны), либо практически не имеют аналогов (Баксанский лазерный интерферометр-деформограф). Планируется создание новых технических средств и станций наблюдения, а также закладка постоянных сетей для гравиметрических и GPS/ГЛОНАСС наблюдений в рамках комплексного мониторинга.

В результате выполнения проекта будет создана стационарная сеть комплексного мониторинга состояния окружающей среды по Северному Кавказу, состоящая из станций наблюдения литосферных деформаций и современных движений земной коры средствами длиннобазовой интерферометрии и спутниковой навигации, которая формирует новую технологию мониторинга и контроля окружающей среды. Региональная сеть станций GPS/ГЛОНАСС будет включена в Государственную службу времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) и в последующем интегрирована европейскую систему EPN (EUREF Permanent Network). Будет также создана региональная опорная сеть пунктов абсолютной гравиметрии, созданы на новом технологическом уровне полигоны высокоточной гравиметрии для режимного контроля неприливных вариаций силы тяжести, привязанные к абсолютной опорной сети.

В результате выполнения настоящей работы будут получены новые знания о состоянии и характеристиках литосферы и ее динамики, выявлены и получены оценки региональных зон концентрации напряжений и деформаций, выявлены периферические близповерхностные магматические камеры и питающие их глубинные очаги под «спящими» вулканами в пределах Эльбрусского вулканического центра, изучены механизмы современного движения Северного Кавказа. На основе полученных знаний будут построены геодинамические модели регионов исследования и прогностические модели развития природных катастрофических процессов и явлений. Полученные результаты научных исследований будут также использованы для совершенствования методов измерений и выработки оптимальных методов их математической обработки.

Основными результатами прикладного характера, выдаваемыми в ходе функционирования разрабатываемой региональной системы мониторинга, будет разработка методов контроля условий строительства и эксплуатации сложных технических сооружений в регионе, включая гидротехнические узлы, крупные

промышленные объекты, курортно-туристические комплексы. Полученные результаты будут использованы в задачах прогноза изменений окружающей среды и климата.

Создана база для комплексного мониторинга геофизической обстановки района вулкана Эльбрус и геодинамики Северокавказского региона на основе технологии GPS/ГЛОНАСС. Система предполагает дальнейшее развитие с появлением нового оборудования и созданием новых станций наблюдения.

В разработке проекта участвовали:

Сотрудники Лаборатории лазерной интерферометрии ГАИШ МГУ и кафедры небесной механики, астрометрии и гравиметрии Астрономического отделения Физического факультета МГУ:

Милюков В.К., зав. лабораторией, д.ф.м.н.;
Миронов А.П., м.н.с.;
Мясников А.В., н.с.;
Жаров В.Е., зав. кафедрой, д.ф.м.н.;
Копаев А.В., к.ф.м.н.;
Юшкин В.Д, н.с.

Иллюстрации.

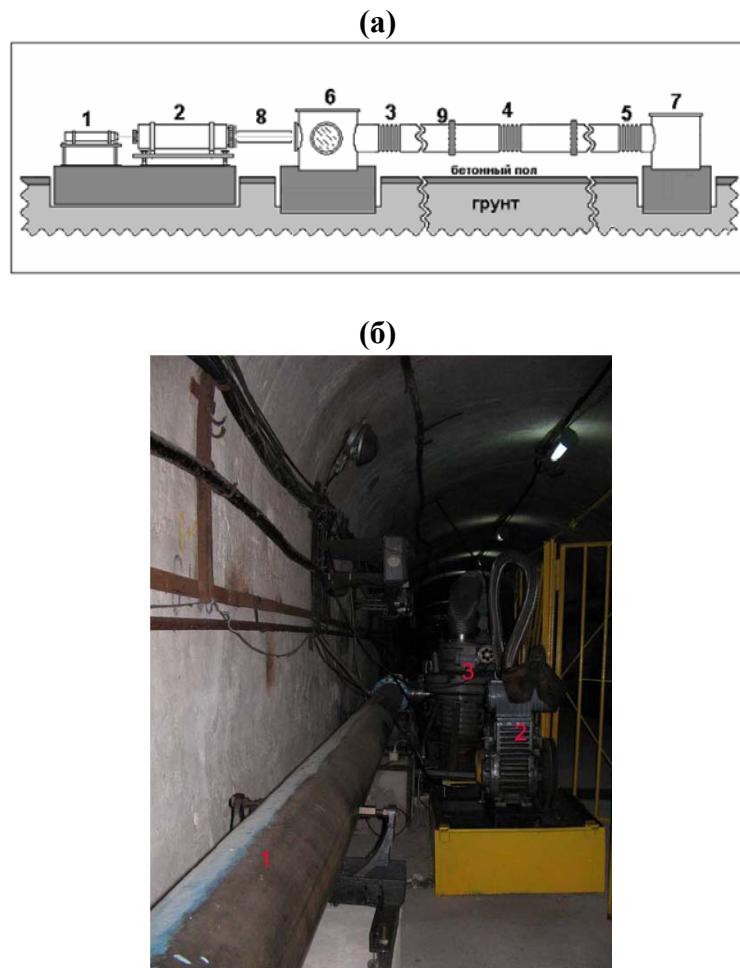


Рис. 1. Механическая, вакуумная система и общий вид светопровода интерферометра Баксанского лазерного интерферометра: (а) 1 – Не-Не лазер; 2 – телескопическая система; 3, 4, 5 – сильфоны; 6, 7 – вакуумные камеры; 8 – невакуумированный светопровод; 9 – вакуумированный светопровод.; (б) 1 – светопровод; 2 – форвакуумный насос; 3 – диффузионный насос.

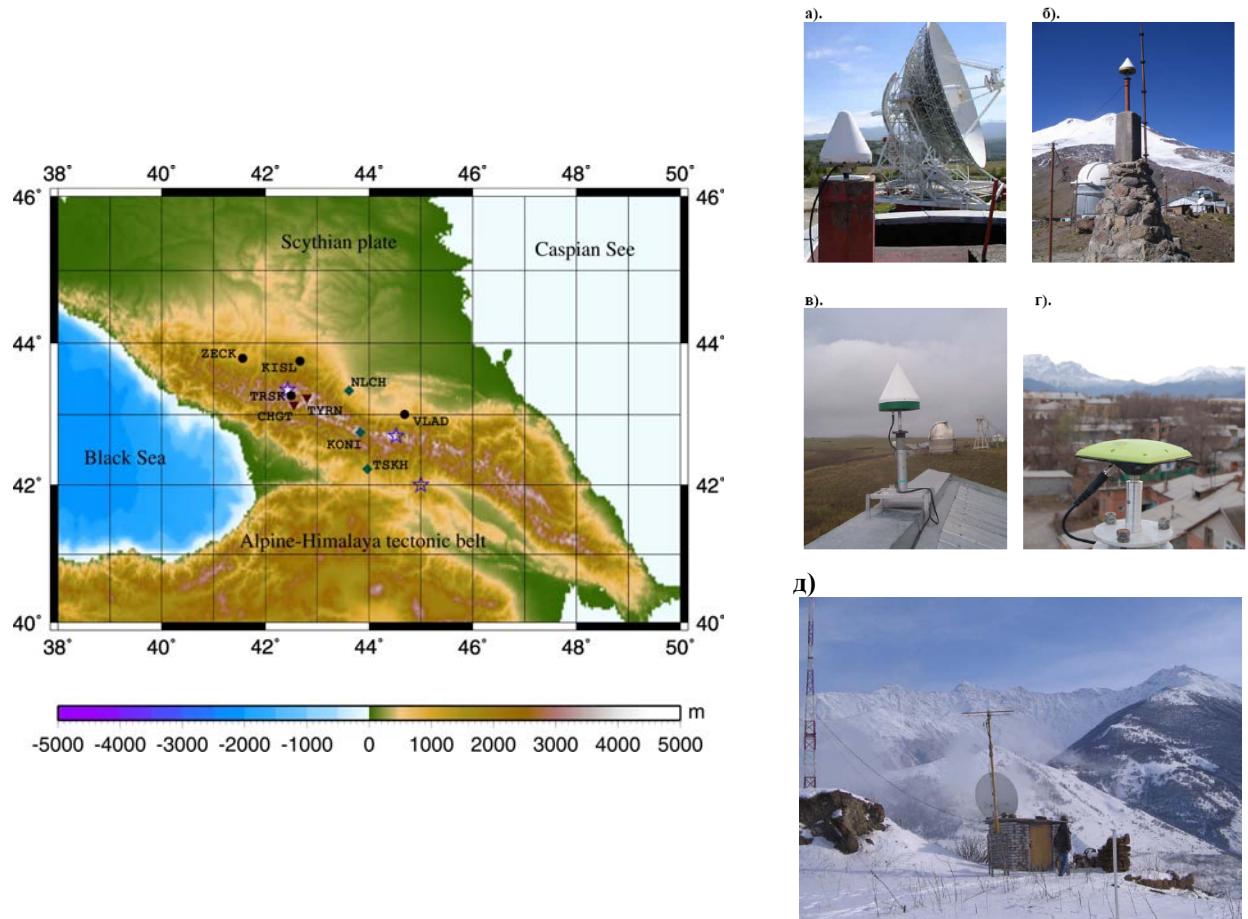


Рис. 2. Сеть стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС региональной сети мониторинга современных тектонических движений Северного Кавказа (Northern Caucasus deformation array, NCDA); действующие станции (а) ZECK – Зеленчукская, высота 1175 м; (б) TRSK – Терскол, высота 3100 м; (в) KISL – Кисловодск, высота 2100 м; (г) VLAD – Владикавказ высота 700 м; (д) KONI – Куртатинское ущелье (Северная Осетия), с. Кони, площадка метеостанции, оснащенной Интернетом, одно из возможных мест размещения стационарной GPS/ГЛОНАСС станции.

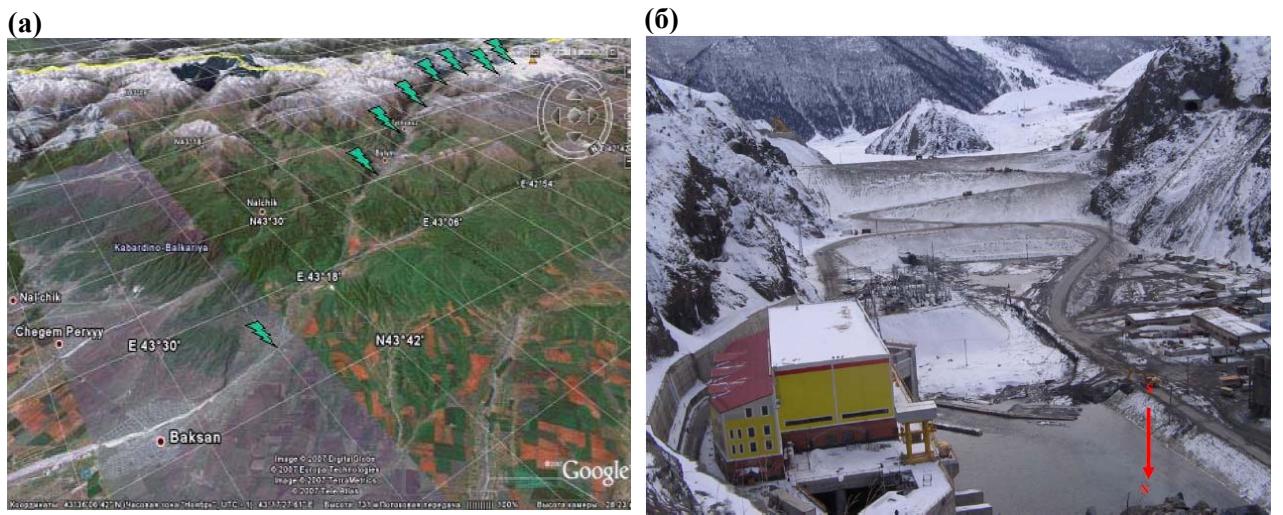


Рис. 3. GPS/ГЛОНАСС и гравиметрических наблюдения: (а) Баксанский гравиметрический полигон от г. Баксан до г. Эльбрус (в верхнем правом углу), стрелками указаны 8 из 16 совмещенных пунктов GPS/ГЛОНАСС и гравиметрических наблюдений; (б) Контроль условий строительства и эксплуатации Зарамагской ГЭС в Северной Осетии (общий вид, март 2009 г.) на основе технологии GPS съемки и геодезического мониторинга.



Рис. 4. Наблюдения абсолютным баллистическим гравиметром FG-5 (ЦНИИГАиК) на пункте подземной геодинамической Баксанской обсерватории ГАИШ МГУ.

Хладагенты и проблема экологической безопасности окружающей среды

Показеев К.В. (1), Бабакин Б.С. (2), Воронин М.И. (2), Чаплина Т.О. (1),

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, кафедра физики моря и вод суши (1)

Московский Государственный Университет Прикладной Биотехнологии, Факультет холодильной техники и технологии (2)

Экологические проблемы, вставшие перед человечеством во второй половине 20 века, являются предметом озабоченности всего мирового сообщества. Необходимость их решения предполагает объединение усилий международного сообщества, развитие международного сотрудничества в целях охраны окружающей природной среды. В наше время особую опасность приобретают: разрушение природных экосистем, выброс парниковых газов, недостаток и загрязнение пресной воды, исчезновение лесов и опустынивание, рост численности населения, загрязнение воздуха, деградация почв и экосистем, химическое загрязнение, истощение озонового слоя, истощение природных ресурсов и нарушение глобальных биогеохимических циклов.

Круг вопросов, освещенных в данной работе, охватывает изучение моделей глобального экологического кризиса, механизмы изменений климата, проблемы озонового слоя, парниковый эффект, воздействие на окружающую среду холодильной техники и технологий, разработка образцов энергосберегающей холодильной техники, работающей на альтернативных озонобезопасных веществах, и технических средств сервисного обслуживания холодильных систем.

Анализ истории озонового кризиса, многочисленных экспериментальных и теоретических исследований показал, что наряду с антропогенным воздействием, связанным с промышленным производством озоноразрушающих веществ, определяющий вклад в изменчивость озонового слоя вносят естественные геофизические процессы. Приведены доказательства большого влияния естественных изменений климата на стрatosферу и озоновый слой. Выполнен анализ различных вариантов предотвращения глобального изменения климата.

Нами был проведен анализ влияния хладагентов и конструктивных особенностей холодильных систем на окружающую среду. Среди веществ, оказывающих влияние на озон, особую роль играют хлорфтторуглероды (ХФУ) и гидрохлорфтторуглероды (ГХФУ) – вещества, широко используемые в качестве пенообразующих материалов, хладагентов, аэрозолей, растворителей. Альтернативой заменяемым хладонам являются природные рабочие вещества: аммиак, углеводороды, диоксид углерода, вода, воздух, используемые уже в холодильной технике.

В работе проведен анализ современных разработок по созданию альтернативных озонобезопасных веществ, удовлетворяющих требованиям международных соглашений, и обоснована целесообразность их применения. Однако следует учесть, что беспорядочный переход на природные хладагенты взамен хладонов приведет к большим экономическим потерям. Этот процесс должен быть подчинен определенной стратегии, разработанной ведущими специалистами в области холодильной техники.

Современное производство искусственного холода является одним из основных потребителей высокопотенциальной энергии. На долю холодильной промышленности приходится 15 % мирового потребления электроэнергии. Поэтому среди важнейших тенденций дальнейшего прогресса современной холодильной техники и технологий значительная роль принадлежит уменьшению энергозатрат на получение искусственного холода и снижение потерь при его потреблении. Для холодильной техники и технологии характерно сравнительно медленное протекание процессов тепло- и массообмена в холодильных системах и при консервировании пищевых продуктов. Основные направления решения этой проблемы – разработка методов и средств, интенсифицирующих тепло- и массообменные процессы как на стадии производства искусственного холода, так и на стадии его потребления.

Одним из наиболее эффективных и возможных решений при разработке энергосберегающей холодильной техники и технологии является совместное применение традиционных и электрофизических методов в холодильной промышленности. Технологии, основанные на электрофизическими методах, имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими технологиями, среди которых следует отметить малую энергоемкость, экологическую безопасность и высокую эффективность. Использование электроконвекции позволяет интенсифицировать теплообмен аппаратов и снизить их энергопотребление. Использование в системах кондиционирования электрофизических методов позволяет эффективно осуществлять очистку воздуха от механических взвесей и микроорганизмов. Использование электроконвекции в морозильных аппаратах позволило интенсифицировать процессы холодильной обработки пищевых продуктов. Были разработаны образцы холодильной техники, удовлетворяющие этим требованиям.

Перспективно применение электротехнологии в вспомогательных аппаратах холодильных систем (маслоотделители, отделители жидкости и др.). Новым этапом развития электротехнологии является разработка ЭГД-систем и на их основе новых типов компрессоров, насосов, вентиляторов, аппаратов для холодильной промышленности.

По материалам данной работы было издано учебное пособие «Экология и холодильная техника». Пособие рекомендовано УМО РФ в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности 190603 «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (холодильные установки, оборудование и системы кондиционирования)», направления подготовки 190600 «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования», УМО РФ в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности 140504 «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование», УМО РФ в области технологии сырья и продуктов животного происхождения в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальностям 240902 – пищевая биотехнология, 260301 – технология мяса и мясных продуктов, 260303 – технология молока и молочных продуктов.

Получено 200 авторских свидетельств и патентов РФ, например, патент РФ №2145407, №2295393 и др.

Аномалии гравитационного поля: наблюдения и интерпретация.
Ярков М.В., Копаев А.В., Жаров В.Е., Курилович Б.М.

Гравитационная разведка (или гравиразведка) является одним из методов исследования геологического строения верхних слоев Земли, поисков и разведки полезных ископаемых. Она основана на изучении свойств поля притяжения, источником которого являются массы горных пород. Разница в их плотности является основной предпосылкой успешного применения гравитационного метода.

Величина силы тяжести на Земной поверхности изменяется от $9,78 \text{ м/с}^2$ на экваторе до $9,83 \text{ м/с}^2$ у полюсов. В гравиметрии используются другие единицы измерений – 1 Гал (10^{-2} м/с^2), названная в честь Галилео Галилея и 1 мГал (10^{-5} м/с^2). В микрогравиметрии традиционно используется единица 1 мкГал (10^{-6} Гал или 10^{-8} м/с^2 , $\sim 10^{-9} \text{ g}$).

Гравиразведка активно применяется для поисков и разведки небольших антиклинальных структур, перспективных на нефть и газ, зон разуплотнения известняков или других пород, при поисках рудных инерудных месторождений. Этот метод дает надежные прогнозы нефтегазоносности территории по количественным и качественным признакам в микроструктуре гравитационного поля. Успешному решению региональных задач способствуют значительные амплитуды аномалий, уверенно выделяемых на фоне геологических и измерительных помех; наличие субвертикальных границ раздела плотности; возможность аппроксимации геологических объектов относительно простыми геометрическими телами.

Микрогравиметрия, как отдельное направление в гравиразведке, является перспективным методом инженерной геофизики, весьма эффективным для поиска близповерхностных разуплотнений (полости, карсты, микроразломы). Так, полость, заполненная водой и песком (типичное карстовое образование), создает меньший гравитационный эффект, чем воздушная полость (заброшенный подземный ход или подвал). Микрогравиметрический метод заключается в измерении очень малых вариаций гравитационного поля Земли и интерпретации их как проявлений малых подземных разуплотнений. Гравитационные аномалии, создаваемые такими объектами, не обнаружимы при помощи обычных гравиметрических съемок, поскольку они «тонут» в значительно больших аномалиях, вызванных изменением высот, плановых координат, притяжением различных геологических объектов и рельефа. Микрогравиметрия может использоваться в комплексе с традиционными методами инженерной геофизики, такими как сейсморазведка, электроразведка и георадар, имея ряд достоинств по сравнению с ними. Это относительно низкая стоимость, отсутствие активных воздействий на грунт и нечувствительность к электромагнитным и микросейсмическим помехам. Обычной практикой при выявлении опасных близповерхностных разуплотнений является бурение серии скважин на площади, предназначенной под строительство. Использование непрямых и неразрушающих геофизических методов, например, микрогравиметрии и георадара обходится намного дешевле, бурение используется лишь для подтверждения обнаруженных потенциально опасных объектов.

ГАИШ МГУ располагает высокоточными автоматическими микропроцессорными гравиметрами Scintrex CG-5 с разрешающей способностью 1 мкГал. Точность приборов по данным съемок сезонов 2005-2009 гг. (Москва и Подмосковье, Тверская область; Приэльбрусье; Камчатка), составляет 2-5 мкГал. Координатная основа высокоточных гравиметрических наблюдений обеспечивается комплексом стационарных и мобильных GPS/ГЛОНАСС-приемников Торсон и Javad, также имеющихся в ГАИШ МГУ. Обработка наблюдений выполняется с помощью лицензионных программных комплексов Pinnacle и Bernese, что позволяет определять координаты пунктов с миллиметровой точностью. Геологическая интерпретация результатов выполняется при помощи лицензионного пакета программ Oasis Montaj.

Лазерный on-line сенсор загрязнений природных вод, использующий фотосинтезирующие организмы в качестве флуоресцентных биоиндикаторов

Гостев Т.С., Кузьминов Ф.И., Моисеев С.А.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Использование естественных компонентов экосистемы в качестве индикаторов ее состояния является наиболее современной стратегией экологического мониторинга. Большие возможности для биоиндикации представляют фотосинтезирующие организмы — благодаря высокой чувствительности к изменениям в окружающей системе: присутствию загрязнителей, климатическим изменениям, изменению светового режима. Вместе с тем, фотосинтезирующие организмы — весьма сложный для исследования объект, и выявление параметров фотосинтетического аппарата, наиболее чувствительных к изменению внешних условий, а также комплексное их измерение в on-line режиме до сих пор представляет трудную задачу.

В работе показана принципиальная возможность использования фитопланктона в качестве on-line сенсора загрязнений природных вод — возможность, основанная на новом подходе, использующем фотофизические параметры молекулы хлорофилла *a*, которые определяются методом нелинейной лазерной флуориметрии. Одним из основных отличий данной методики от существующих классических (не лазерных) оптических методов исследования и мониторинга фотосинтезирующих организмов является возможность определения параметров на молекулярном уровне. Другая существенная особенность метода нелинейной флуориметрии — параллельное определение до четырех фотофизических параметров за одно измерение.

В основе данного метода лежит использование импульсного лазерного излучения высокой плотности мощности для возбуждения флуоресценции молекул хлорофилла *a*. При этом в фотосинтетическом аппарате проявляются фотофизические эффекты, не наблюдаемые в других методах в связи с низкой плотностью потока возбуждающего излучения, такие, как синглет-синглетная аннигиляция возбужденных состояний молекул хлорофилла *a*, и динамическое обеднение их основного состояния. Эти эффекты приводят к тому, что зависимость интенсивности флуоресценции от интенсивности возбуждающего излучения становится нелинейной — наблюдается насыщение флуоресценции. Экспериментальная кривая, отражающая эту зависимость, называется кривой насыщения флуоресценции.

В работе описана модель флуоресцентного отклика фотосинтетического аппарата на мощное импульсное лазерное излучение. Кривая насыщения определяется значениями четырех обобщенных (каждый из них характеризует сразу несколько различных процессов) молекулярных фотофизических параметров: σ — сечение возбуждения молекул хлорофилла *a*, τ — время жизни их возбужденного состояния, m_0 — максимальная скорость синглет-синглетной аннигиляции возбужденных состояний молекул хлорофилла *a*, Φ_0 —

нормированная интенсивность флуоресценции в отсутствие насыщения. В предыдущих работах показана высокая чувствительность этих параметров к состоянию фотосинтетического аппарата.

Для демонстрации принципиальной возможности использования фитопланктона в качестве биоиндикатора загрязнений природных вод, в работе были проведены лабораторные эксперименты по определению молекулярных фотофизических параметров водорослей *Chlorella pyrenoidosa* в присутствии гербицида диурона и ионов меди Cu^{2+} в различных концентрациях. Экспериментальная установка использует для возбуждения твердотельный импульсный лазер со следующими параметрами: длительность импульсов — 20 нс, длина волны излучения — 532 нм, энергия в импульсе — до 10 мДж. Плотность потока фотонов в возбуждающем излучении может варьироваться от 10^{21} до $10^{25} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Ниже приведены экспериментально определенные фотофизические параметры клеток фитопланктона.

Образец	$\tau, \times 10^{-10} \text{ с}$	$\sigma, \times 10^{-16} \text{ см}^2$	$\gamma n_0, \times 10^{12} \text{ с}^{-1}$
Контроль	180	2,2	2,6
$Cu^{2+} 10^{-9} \text{ М}$	210	2,1	1,6
$DCMU 10^{-7} \text{ М}$	460	1,8	0,8

*Значения фотофизических параметров *Chlorella pyrenoidosa* в присутствии ионов меди, диурона (*DCMU*), а также для контрольного образца.*

Из приведенных результатов видно, что фотофизические параметры фитопланктона, определяемые методом нелинейной флуориметрии, позволяют выявить присутствие загрязнителей в минимальных концентрациях, причем характер изменения параметров зависит от типа загрязнителя, а техническая реализация метода обеспечивает возможность дистанционного мониторинга этих параметров в режиме реального времени.

Лазерный КР-анализатор жидкостей с комплексным программным обеспечением

Буриков С.А., Доленко Т.А., Пацаева С.В., Южаков В.И.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

В ряде практических задач диагностики жидких сред требуются бесконтактные методы с возможной реализацией их в режиме реального времени. Именно такими свойствами обладают оптические методы, в частности, спектроскопия комбинационного рассеяния света (КР) и флуоресцентная спектроскопия.

Предлагаемый лазерный КР-анализатор предназначен для бесконтактной диагностики жидкостей в режиме реального времени с целью определения в них вредных или опасных примесей, а также для качественного и количественного анализа жидких многокомпонентных смесей.

Принцип работы прибора основан на возбуждении спектрального отклика жидкой среды (КР света или флуоресценции) лазерным излучением, регистрации отклика оптическим детектором и анализе спектров с помощью современных математических методов. Предусматривается возможность возбуждения сред излучением с различными длинами волн (использование нескольких лазеров или нескольких гармоник одного лазера), что позволяет существенно расширить набор диагностируемых веществ и обеспечить большую надежность их количественного анализа. Регистрация спектрального отклика может осуществляться в трех вариантах:

- 1) регистрация спектров проб жидкости, помещенной в кювету;
- 2) бесконтактное зондирование жидкостей в прозрачных контейнерах (в случае напитков – в бутылках без их вскрытия);
- 3) зондирование жидкостей с помощью погруженного световодного зонда – для диагностики жидкостей в канистрах, цистернах и т.д.

Система регистрации включает в себя монохроматор (фокусное расстояние 300 мм, решетка 1200 штр/мм) и охлаждаемую с помощью элемента Пельтье ПЗС – линейку. Система обеспечивает разрешение не хуже 4 см^{-1} . Предусмотрена работа прибора в 90° -ной и в 180° -ной схеме зондирования. Использование edge-фильтра позволяет приблизиться до 100 см^{-1} к линии возбуждения. Предполагается регистрировать спектры КР жидкостей в области $100 - 4000 \text{ см}^{-1}$. Это обеспечит получение практически исчерпывающей информации о спектральных линиях разнообразных молекулярных групп. Предполагается регистрировать поляризованные и деполяризованные спектры и измерять степень деполяризации как дополнительный идентификационный параметр наряду с положением, интенсивностью, формой спектральных полос.

Прибор оснащен комплексным программным обеспечением, содержащим программы для количественного анализа спектров и пакет Neuroshell2, обеспечивающий использование искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения задач распознавания образов и генетических алгоритмов.

Задачи, которые может решать предлагаемый лазерный КР-анализатор:

- определение горючих и токсичных жидкостей, контроль вредных примесей в напитках (например, при досмотре на транспорте);
- определение типа и концентрации каждого из неорганических соединений в технологических, сточных, пластовых водах (до 5-6 компонент в растворах);
- определение концентрации органических веществ в многокомпонентных жидкостях (моторное топливо, водно-спиртовые растворы).
-

Области применения прибора – безопасность, снижение уровня риска, контроль качества пищевой продукции, экология.

Преимущества реализуемого КР-анализатором метода – бесконтактность, возможность анализа жидкостей в режиме реального времени, без предварительной подготовки пробы и использования дорогостоящих реактивов. Предлагаемый лазерный КР-анализатор отличается от известных коммерческих установок более низкой стоимостью, портативностью, применением нескольких длин волн возбуждения, регистрацией поляризованной и деполяризованной компонент спектра, использованием комплексного программного обеспечения.

Авторским коллективом данного проекта с помощью лабораторного образца предлагаемого прибора были успешно решены задачи идентификации и определения концентраций неорганических соединений в многокомпонентных жидкостях [1-3], диагностики водно-этанольных растворов [4-7].

1. S.A. Burikov, T.A. Dolenko, V.V. Fadeev, and A.V. Sugonyaev. New opportunities in determination of inorganic compounds in water by method of laser Raman spectroscopy. *Laser Physics*, vol. 15, № 8, 2005, pp. 1-5.
2. С.А.Буриков, Т.А.Доленко, В.В.Фадеев. Идентификация неорганических солей и определение их концентраций в многокомпонентных водных растворах по валентной полосе КР воды с помощью искусственных нейронных сетей. Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2007, №5, с.62-72.
3. S.A.Burikov, T.A.Dolenko, V.V.Fadeev. Identification of inorganic salts and determination of their concentrations in water solutions from the Raman valence band using artificial neural networks. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2007, v.17, N4, pp.554-559.
4. С.А.Буриков, Т.А.Доленко, С.В.Пацаева, В.И.Южаков. Диагностика водно-этанольных растворов методом спектроскопии комбинационного рассеяния света. *Оптика атмосферы и океана*, 2009, т.22, №11, в печати.
5. S. Burikov, T. Dolenko, V. Yuzhakov, S. Patsaeva. Non-contact technique for alcohol quantification in aqueous ethanol solutions using Raman spectroscopy and data processing. 21-st Colloquium on high resolution molecular spectroscopy. August 31 – September 4, 2009, Castellammare di Stabia, Italy. Abstract book, p. 70.
6. S.A.Burikov, T.A.Dolenko, S.V.Patsaeva, and V.I.Yuzhakov. Raman spectroscopy of aqueous ethanol solutions. IX Int. Conf. "Atomic and molecular pulsed lasers". Sept. 14-18, 2009, Tomsk, Russia. Abstract book, p. 73.
7. Буриков С.А., Грачев А.В., Доленко Т.А., Пацаева С.В., Южаков В.И. Структурные особенности водно-этанольных растворов по данным ассоциации молекул родамина 6Ж и колебательной спектроскопии. Международная конференция «Фотоника молекулярныхnanoструктур», 16-19 сентября, 2009, Оренбург, Россия, Сб. докл., с. 13-16.

Разработка систем пассивного радиовидения миллиметрового диапазона для выявления спрятанных под одеждой потенциально опасных предметов.

Пирогов Ю.А., Тищенко Д.А., Гладун В.В., Котов А.В., Павлов Р.А.

Центр магнитной томографии и спектроскопии МГУ имени М.В.Ломоносова

В настоящее время становятся всё более строгими международные и внутренние требования по борьбе с терроризмом на транспорте, что обуславливает необходимость качественного совершенствования технических средств досмотра пассажиров и перевозимых грузов. Однако существующие и применяемые в отечественной и международной практике досмотровые комплексы транспортных терминалов не позволяют определять пассивными методами форму потенциально опасных предметов, спрятанных под одеждой. Для «открытого» досмотра пассажиропотока не всегда хватает времени и возможностей, поэтому для обеспечения безопасности иногда требуются методы «скрытного» обнаружения.

Разработка направлена на создание макета пассивной системы радиовидения миллиметрового диапазона, предназначенного для дистанционного обнаружения скрытых под одеждой человека потенциально опасных предметов (оружия, взрывчатых устройств, включая изготовленные с применением пластика и керамики). Разрабатываемое устройство основывается на возможности приёма миллиметрового диапазона высокочувствительными приемниками – радиометрами, которые позволяют детектировать слабое излучение предметов различной природы и свойств. Известно, что различные вещества по-разному взаимодействуют со сверхвысокочастотными электромагнитными волнами, они отличаются по коэффициентам отражения и поглощения. Именно на этом принципе основана разработка системы по измерению радиояркостного контраста различных материалов в миллиметровом диапазоне.

Пассивная система радиовидения может применяться для контроля пассажиропотока в местах массового скопления людей (аэропортах, ж/д вокзалах, стадионах), а также для визуального контроля посетителей зданий и помещений на предмет наличия опасных предметов под одеждой.



Рис 1. Модель новой системы радиовидения.

Спектры и эффективность люминесценции систем из полупроводниковых кристаллов на основе нитрида галлия и люминофоров как основы для разработок эффективных белых светодиодов

Ляпин И.Д., Туркин А.Н.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия

Системы из полупроводниковых кристаллов на основе нитрида галлия и люминофоров успешно используются для разработки эффективных белых светодиодов. Как правило, применяются люминофоры на основе алюмоиттриевых гранатов с активатором церием. Возбуждение люминофоров можно проводить синей линией излучения, которая при сложении с желто-зеленым спектром люминофора дает белый свет. Исследованы белые светодиоды (СД) на основе гетероструктур с квантовыми ямами типа InGaN/AlGaN/GaN. Показано, что для светодиодов теплого свечения максимумы излучения синей полосы находятся на длине волн 457 нм, изменяются с током на 3 нм при изменении тока от 10 до 350 мА, максимум излучения люминофора находится на длине волны 550-552 нм. Отношение интенсивности в максимуме излучения к интенсивности в максимуме полосы люминофора: 0,62-0,73. Спектры СД имеют коррелированную цветовую температуру 4800-5100 К, люмен-эквивалент 430-440 Лм/Вт. Для светодиодов холодного свечения максимумы излучения находятся на длине волн 455-458 нм, изменяются с током на 3 нм при изменении тока от 10 до 350 мА, максимум излучения люминофора находится на длинах волн 530-533 нм. Отношение интенсивности в максимуме излучения к максимуму люминофора: 1,4-1,7. Образцы имеют коррелированную цветовую температуру 8500-8700 К, люмен-эквивалент 350-370 Лм/Вт. На спектрах всех светодиодов виден пик примеси редкоземельных элементов на длине волны 694 нм. Обсуждаются проблемы разработок люминофоров для СД теплого свечения с высокими индексами цветопередачи.

Есть и другие пути создания светодиодов видимого диапазона и один из них – возбуждение люминофора ультрафиолетовым излучением. Исследованы светодиоды с зеленым люминофором, возбуждаемым ультрафиолетовой линией излучения. Интенсивность в максимуме ультрафиолетовой линии в 105 раз меньше чем в максимуме линии люминофора. Впервые показано, что такие зеленые светодиоды могут иметь значение люмен - эквивалента (световой эффективности) около 500 Лм/Вт, что превышает световую эффективность зеленых СД на основе гетероструктур InGaN//AlGaN/GaN (около 400 лм/Вт); это может оказаться важным для практических применений.

Модуляция света при коллинеарном акустооптическом взаимодействии

Манцевич С.Н., Балакший В.И.

Физический Факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

В современной акустооптике наиболее широко используются кристаллы и стекла. В этих материалах оси анизотропии, определяющие поляризацию собственных оптических мод, либо изначально заданы симметрией кристалла, либо возникают под действием ультразвука. Однако в любом случае величина АО эффекта и характеристики АО устройств сильно зависят от поляризации света, а, следовательно, правильный выбор поляризации падающего света очень важен в любом АО эксперименте.

Если среда является анизотропной, то поляризацию падающего светового пучка выбирают по одному из разрешенных направлений поляризации анизотропной среды. В любом случае величина АО эффекта сильно зависит от поляризации падающего света. Если падающий свет изначально не поляризован, то его предварительно поляризуют с помощью поляризатора, установленного на входе системы. При этом половина входной световой мощности теряется. Несомненный интерес с точки зрения как фундаментальной, так и прикладной физики представляет вопрос об АО взаимодействии неполяризованного света или света имеющего произвольную поляризацию. Вопрос о влиянии поляризации света на характеристики коллинеарной дифракции до сих пор оставался открытым. В данной работе теоретический анализ поляризационных эффектов при коллинеарном взаимодействии проведен в плосковолновом приближении. Эксперименты выполнены на коллинеарной АО ячейке, изготовленной из кристалла молибдата кальция.

Если на кристалл падает неполяризованное световое излучение, то на входе свет расщепляется на две равные компоненты со взаимно ортогональной поляризацией. В случае произвольной линейной поляризации светового излучения свет на входе в кристалл распадается на две компоненты, вообще говоря, не равные по величине. Эти компоненты дифрагируют в акустическом поле независимо друг от друга.

На выходе системы световые волны будут интерферировать друг с другом. Биения смещенных по частоте и не смещенных компонент дают как результат появление модуляции света по интенсивности с частотой ультразвука. Биения компонент светового пучка с частотами, сдвинутыми в большую и меньшую стороны, дают модуляцию интенсивности света с удвоенной частотой ультразвука 2Ω .

Отметим, что это единственный случай АО взаимодействия, когда при дифракции света на бегущей монохроматической акустической волне выходящее излучение оказывается промодулированным по интенсивности.

Дифракция света в акустическом поле неоднородного пьезоэлектрического преобразователя на частотах высших гармоник

Ревенко А.В., Балакший В.И

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
физический факультет

Работа посвящена теоретическому исследованию особенностей возбуждения ультразвуковых волн клиновидными пьезоэлектрическими преобразователями на частоте третьей гармоники. В акустике клиновидные преобразователи исследовались в контексте решения задачи расширения полосы рабочих частот возбуждения ультразвука или создания акустического пучка со сканирующей диаграммой направленности [1-4]. Однако применение таких преобразователей в акустооптике имеет ряд особенностей. Здесь знание интегральных характеристик преобразователя, таких как полоса частот и коэффициент преобразования электрической мощности в акустическую, недостаточно для оценки качества и пригодности преобразователя для решения акустооптических задач. Важно также знать структуру акустического поля в акустооптической ячейке и ее изменение с частотой ультразвука [5,6].

В данной работе задача о возбуждении клиновидного преобразователя решена в приближении малых изменений толщины пьезоэлектрической пластины. Получены соотношения для электрического импеданса и коэффициента преобразования электрической мощности в акустическую. Проанализированы их частотные зависимости для различных значений параметров акустооптической ячейки. При исследовании электрических характеристик клиновидного преобразователя на частоте третьей гармоники обнаружено существенное уширение полосы частот без какого-либо заметного уменьшения коэффициента преобразования. Установлено, что для угла клина, равного 0.25 градуса, можно достичь расширения полосы в 5 раз по сравнению с однородным преобразователем.

Показано, что сложная амплитудная и фазовая структура акустического поля, возбуждаемого клиновидным преобразователем, сильно влияет на характеристики акустооптической дифракции. Фазовая неоднородность оказывается более значительно, изменяя частотные зависимости угла Брэгга и эффективности дифракции. Проведённый анализ открывает новые возможности для улучшения акустооптических устройств.

1. Jayet Y., Perdris M., Goutte R. // Ultrasonics, 1981, v. 19, p. 179.
3. Breazeale M.A., Du G., Joharapurkar D. // J. Acoust. Soc. Amer., 1990, v. 88, p. S167.
4. German L., Cheeke J.D.N. // IEEE Trans., 1993, v. UFFC-40, p. 140.
5. Balakshy V.I., Linde B.B., Vostrikova A.N. // Molec. & Quant. Acoustics, 2006, v. 27, p. 7.
6. Balakshy V.I., Linde B.B., Vostrikova A.N. // Ultrasonics, 2008, v. 48, № 5, p. 351.

Прикладные аспекты нелинейного магнитного отклика в магнитостатически взаимодействующих микропроводах

Самсонова В.В. (1, 2), Ипатор М.П. (3), Ильин М.И. (3),
Жукова В.А. (3), Перов Н.С. (1), Жуков А.П. (3)

Физический Факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия (1)

Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, Москва, Россия (2)

Departamento Física de Materiales, Facultad de Químicas, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Universitatea, San Sebastián, Spain (3)

Аморфные микропровода в стеклянной оболочке с значительно уменьшенными диаметром металлической жилы и толщиной стеклянной оболочки приобрели большое прикладное значение в течении последних нескольких лет [1]. Современные магнитномягкие аморфные микропровода обладают диаметрами металлической жилы от 1 до 30 мкм при толщинах стеклянной оболочки от 0,5 до 15 мкм. Такие тонкие микропровода проявляют уникальные различные магнитномягкие свойства [2]. Так, коэрцитивная сила микропроводов из сплавов на основе Со с близкой к нулю магнитостикцией может достигать 4 А/м. Высокие магнитномягкие характеристики необходимы для получения высокого эффекта гигантского магнитоимпеданса (ГМИ). Хорошими магнитотранспортными свойствами (эффект гигантского магнитосопротивления - ГМС) обладают гранулированные микропровода. Кроме того, для микропроводов из сплавов на основе Fe характерно магнитобистабильное поведение, связанное с проявлением гигантского скачка Баркгаузена. В таких проводах наблюдается также быстрое распространение доменной границы ~ 1500 м/с [3]. Широкий спектр свойств тонких микропроводов делает их удобными для замены традиционных магнитных материалов в различных применениях. Например, метки, используемые в противокражных системах, обычно состоят из магнитномягких материалов. В таких системах обеспечивается быстрое изменение намагниченности даже в относительно слабых внешних полях., и при этом происходит генерирование комплексного сигнала в приёмной катушке. При этом детектирование сигнала на гармониках способствует увеличению сигнала и улучшают надёжность всей системы [4, 5]. Современные метки разрабатываются на магнитномягких лентах. Однако использование микропроводов более технологично и дёшево.

Настоящая работа была посвящена улучшению магнитного отклика в системе микропроводов для применения в качестве магнитных меток. Для увеличения амплитуд высших гармоник мы попробовали увеличить нелинейность петель гистерезиса. Были измерены спектры индуцированного в приёмной катушке сигнала различных систем микропроводов, возбуждаемых переменным магнитным полем. Обнаружено, что комбинирование микропроводов и изменение амплитуды внешнего магнитного поля приводит к возможности управления формой и амплитудами высших гармоник в спектре индуцированного сигнала.

Также активно ведутся разработки и поиски материалов в области кодирования информации в попытках заменить современные оптические штрихкоды. В этой области применения так же важны вопросы связанные с особенностями перемагничивания систем микропроводов. Комбинируя микропровода из сплавов на основе Fe и на основе Со можно получить систему, обладающую лучшими свойствами вышеперечисленных систем, - оставить с одной стороны ступеньки на петле гистерезиса, близкие к скачкам Баркгаузена (за счёт наличия микропроводов на основе Fe), и с другой стороны обладающие меньшей критической длиной (благодаря микропроводам на основе Со). Исследование перемагничивания таких комбинированных систем становится новым направлением в исследовании перемагничивания систем аморфных микропроводов.

Обычно магнитные свойства тонких аморфных микропроводов изменяются выбором соответствующего химического состава сплава, из которых их получали, термообработкой (в магнитном поле или без него, с приложенными напряжениями или без них) [1-3, 6]. Свойства одиночных аморфных микропроводов в стеклянной оболочке из сплавов на основе Fe и Со достаточно детально изучены [1-3]. В нашей работе мы попытались управлять магнитным откликом таких микропроводов посредством магнитостатического взаимодействия между ними. Мы исследовали процессы перемагничивания в системах, содержащих различное число (1-5) аморфных микропроводов следующих составов $Co_{67}Fe_{3.9}Ni_{1.5}B1_{1.5}Si_{14.5}M_{0.6}$ или/и $Fe_{74}B_{13}Si_{11}C_2$. Микропровода на основе Fe и Со в каждой системе были расположены в непосредственной близости друг к другу. $Fe_{74}B_{13}Si_{11}C_2$ микропровода имели прямоугольную петлю гистерезиса, в то время как $Co_{67}Fe_{3.9}Ni_{1.5}B1_{1.5}Si_{14.5}M_{0.6}$ микропровод с близкой к нулю константой магнитострикции имел наклонную петлю гистерезиса с близкой к нулю коэрцитивной силой. Петли гистерезиса были измерены индукционным методом [6]. Амплитуда внешнего магнитного поля изменялась от 800 до 15 A/m.

- [1] A. Zhukov and J. Gonzalez, *Amorphous and Nanocrystalline Soft Magnetic Materials*, in Advanced Magnetic Materials, book 3 “Processing of advanced magnetic materials.” Edited by Liu, Y.; Sellmyer, D.J. and Shindo, D.; Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 2004; Vol. 3, Capítulo 5, pp 115-181
- [2] A. Zhukov, J. Gonzalez, M. Vázquez, V. Larin, and A. Torcunov. Nanocrystalline and amorphous magnetic microwires. In Nalwa HS, editor, Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology, vol. X, Chapter 62, page 23. American Scientific Publishers, 2004.
- [3] H. Chiriac, T.A. Ovari, Prog. Mat. Sci. **40** (1996), 333-407.
- [4] P. Ripka, Sensors and Actuators A: Physical **106**, 1-3, (2003), 8-14.
- [5] C. Moron, C. Aroca, M.C. Sanchez, A. Garcia, E. Lopez, P. Sanchez, IEEE Trans. Magn. **31**, 906 (1995).
- [6] A. Zhukov, Adv. Funct. Mater. **16** (2006), 675-680.

Метод акустической голограммии для восстановления трехмерных неоднородностей в оптически непрозрачных средах

Цысарь С.А., Сапожников О.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия

Современная техника акустической визуализации, как правило, основывается на использовании эхо-импульсного принципа, т.е. использует отраженные от неоднородностей короткие акустические импульсы. С помощью такой методики при проведении неразрушающего контроля или медицинской диагностики удается получить двумерные и даже трехмерные изображения с пространственным разрешением, ограниченным длительностью импульса и частотой сигнала [1,2]. Однако привычная оптическая визуализация основана на применении непрерывных квазимонохроматических волн. Такой же принцип может быть применен в акустике. Голограмма, записанная с использованием непрерывных волн, в некоторых случаях может являться альтернативой эхо-импульсному методу. Например, акустическая голограмма ближнего поля позволяет разрешать детали размером менее длины волны [3,4]. Голограммия – это метод полной записи акустического поля (амплитуды и фазы), отраженного от объекта, позволяющий после обработки восстановить форму и положение этого объекта. Экспериментальная реализация метода акустической голограммии для изучения колебаний поверхностей ультразвуковых преобразователей была осуществлена в работе [5]. Практический интерес представляет расширение этого метода на случай исследования трехмерных объектов, находящихся в акустическом поле. В настоящей работе показана принципиальная возможность использования метода акустической голограммии для визуализации трехмерных объектов, основанного на сканировании гидрофоном акустического поля вдоль двумерной поверхности с применением монохроматических ультразвуковых волн.

Используемый в работе голографический подход к ультразвуковой визуализации основан на применении интеграла Рэлея и принципа обращения времени. Эксперимент был разделен на несколько шагов. Сначала ультразвуковой пучок, состоящий из длинных тональных импульсов, направлялся на исследуемый объект. Результирующее акустическое поле с помощью гидрофона регистрировалось в большом количестве точек, расположенных на фиксированной поверхности измерений. Перемещение гидрофона осуществлялось управляемой компьютером высокоточной механической позиционной системой с шагом меньшим половины длины волны. На следующем шаге производился численный расчет акустического поля, формируемого обратным распространением ультразвуковых волн с обращенным волновым фронтом с поверхности измерений в трехмерную область расположения исследуемого объекта.

Для выбора оптимальных параметров измерений на начальном шаге с использованием численных методов производился расчет прямого и обратного распространения ультразвуковых волн от точечного источника до поверхности

измерений и обратно. В эксперименте в качестве исследуемого объекта использовался набор пластиковых шариков диаметром 3 мм. Использовались монохроматические волны с частотами в диапазоне 1-1.5 МГц. Шаг сканирования вдоль поверхности измерений варьировался в зависимости от частоты и удаленности от объекта в диапазоне 0.3-0.4 мм.

Теоретические расчеты и результаты экспериментов показывают, что пространственное разрешение используемого метода трехмерной акустической голограммии ограничено дифракционными эффектами. Дискретные рассеиватели размером больше длины волн однозначно разрешаются в исследуемом объеме пространства. Точность восстановления формы объектов зависит от частоты акустических волн и угловых размеров области измерений амплитуды и фазы.

Полученные результаты показывают принципиальную возможность восстановления трехмерных неоднородностей с помощью метода акустической голограммии. Как показало обсуждение метода на Международном симпозиуме по ультразвуку [6], качество восстановления рассмотренных неоднородностей методом акустической голограммии сопоставимо с качеством эхо-импульсного метода. Следует отметить, что для использования предлагаемого метода акустической голограммии на данном этапе его развития пока требуется более продолжительное время, чем для импульсного метода (несколько часов по сравнению с минутами). Важным преимуществом голографического подхода является то, что в нем используются лишь монохроматические волны, в то время как для импульсного метода необходимо наличие достаточно дорогого широкополосного тракта для излучения и приема сигнала.

Таким образом, при развитии метода акустической голограммии, возможно его применение в различных областях акустической визуализации, таких как медицинская диагностика, дефектоскопия, исследование морского дна и др., наряду с эхо-импульсным методом.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00368, МНТЦ 3691 и NIH R01EB007643.

Список литературы

- [1] G. S. Kino, *Acoustic Waves: Devices, Imaging, and Analog Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1987.
- [2] F. W. Kremkau. *Diagnostic Ultrasound: Principles and Instruments*, 7th ed. Philadelphia: Elsevier/Saunders, 2006.
- [3] E. G. Williams, *Fourier Acoustics: Sound Radiation and NAH*, London: Academic, 1999.
- [4] E. G. Williams and J. D. Maynard, "Holographic imaging without the wavelength resolution limit," *Phys.Rev.Lett.*, vol. 45, pp. 554–557 (1980).
- [5] O.A. Sapozhnikov, Yu.A. Pishchalinikov, and A.V. Morozov, "Reconstruction of the normal velocity distribution on the surface of an ultrasonic transducer from the acoustic pressure measured on a reference surface," *Acoustical Physics*, vol. 49, no. 3, pp. 354–360 (2003).
- [6] S.A. Tysar and O. A. Sapozhnikov, "Ultrasonic holography of 3D objects," *Proceedings of 2009 IEEE International Ultrasonic Symposium* (Rome, Italy, September 19-23, 2009), in print.

Оптический и акустический методы калибровки широкополосных микрофонов в задачах нелинейной аэроакустики

Юлдашев П.В., Аверьянов М.В., Хохлова В.А., Сапожников О.А.
физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Измерение широкополосных акустических сигналов в экспериментальной аэроакустике все еще находит определенные трудности. Например, проблемы возникают при измерении импульсов давления с узким ударным фронтом, в частности, N -волн (рис.1). Развитию теоретических и экспериментальных

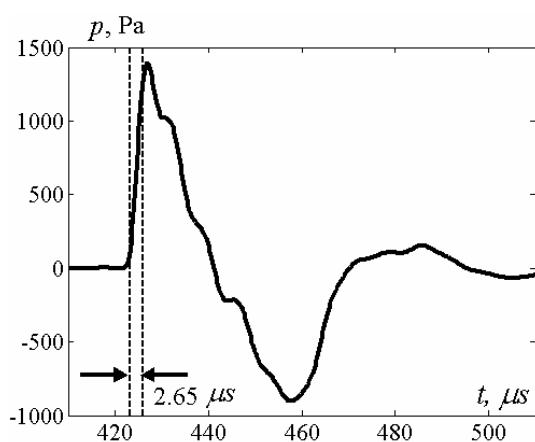


Рис. 1. Профиль N -волны от искрового источника, измеренный микрофоном фирмы B&K.

исследований распространения ударных волн в атмосфере способствовало создание сверхзвуковой пассажирской авиации. Генерируемые самолетом ударные волны большой амплитуды распространяются до поверхности земли и представляют собой импульсный шум. Чем выше уровень давления в волне, тем выше субъективная громкость шума и вызываемое им раздражение. Субъективная громкость возрастает также и при уменьшении ширины ударного фронта, которая обычно определяется как время нарастания давления на фронте от $0.1P_{\max}$ до $0.9P_{\max}$, где P_{\max} - пиковое давление (амплитуда) [1].

Экспериментальные исследования распространения N -волн в натурных условиях достаточно дороги. Альтернативой натурным экспериментам являются уменьшенные до лабораторных размеров модели [2,3]. Для генерации ударных волн в лаборатории обычно используют искровой источник, создающий N -волны с амплитудой 1000 Па и длительностью 30 мкс. Согласно теории ширина ударного фронта в воздухе при таких амплитудах может быть порядка 0.1 мкс. На рис.1 представлен пример профиля N -волны, измеренной микрофоном



фирмы Brüel & Kjaer. Видно, что ширина ударного фронта очень велика - 2.65 мкс. Большое расхождение между экспериментом и теорией объясняется тем, что чувствительность использованного микрофона (диаметр 1/8", рис. 2) существенно падает на частотах выше 140 кГц. Существуют и другие трудности использования микрофонов для измерения широкополосных сигналов. Например, микрофон может быть вмонтирован в специальный экран, уменьшающий влияние дифракции. В этом случае отклик всей измерительной системы отличается от отклика отдельно взятого микрофона. В связи вышеуказанными проблемами, необходима простая и быстрая процедура калибровки измерительной системы. В данном проекте разработан совместный акустический и оптический методы калибровки. Акустический метод основан на

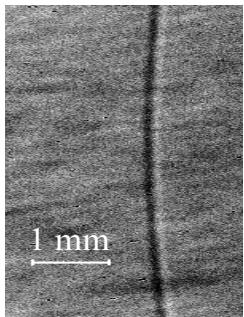


Рис. 3. Пример теневой картины ударного фронта

использовании нелинейных эффектов при распространении сферической N -волны от искрового источника [4]. С увеличением пройденного от источника расстояния, из-за нелинейных эффектов, длительность N -волны увеличивается, что позволяет рассчитать амплитуду N -волны по данным измерений длительности [4]. При этом очень важна точность определения длительности. Из-за размытого ударного фронта определить длительность по профилю затруднительно, поэтому нами был предложен другой оригинальный метод, основанный на поиске частот, на которых достигаются минимумы спектра. Тогда длительность вычисляется по формуле $T = 1.436/f_1$, где f_1 - частота первого минимума.

Показано, что при использовании метода, амплитуда N -волны может быть определена с точностью до 10 %. Для измерения ширины ударного фронта был использован оптический теневой метод [5]. Теневые картины формируются благодаря рефракции света на неоднородностях показателя преломления, создаваемых вариациями плотности воздуха в проходящей волне. В оптическом эксперименте тени были зарегистрированы при помощи объектива и CCD камеры. Пример теневой картины приведен на рис. 3. Для нахождения ширины ударного фронта теневые картины были проинтерпретированы при помощи моделирования распространения света через вариации показателя преломления, создаваемые N -волной. На рис. 4 проведено сравнение ширины ударного фронта, полученной в оптическом эксперименте с предсказаниями теории на различных расстояниях r от источника [6]. Результаты оптического и акустического экспериментов находятся в хорошем согласии друг с другом, относительная ошибка не превышает 10%. Сравнение измеренного микрофоном сигнала и сигнала, промоделированного на основе данных об амплитуде и длительности, позволяет осуществить калибровку. Измерение ширины ударного фронта обеспечивает проверку метода. Таким образом, совместное использование акустического и оптического методов позволяет улучшить калибровку современных широкополосных датчиков.

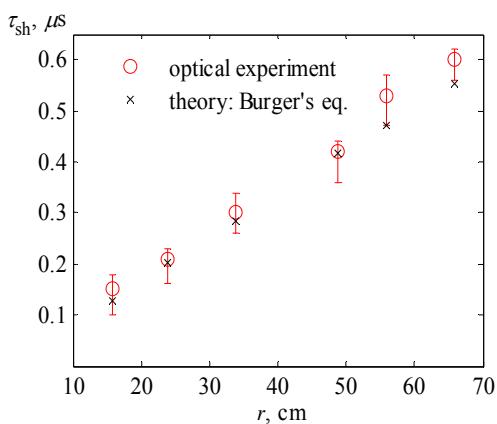


Рис. 4. Ширина ударного фронта, измеренная теневым методом (круги) и рассчитанная на основе микрофонных измерений (крестики).

- Leatherwood D. et. al. J. Acoust. Soc. Am. 111(1) Pt 2. 586 – 598 (2002).
- Ollivier S. et. al. AIAA-2004-2921, 10th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference.
- Lipkens B. et. al. J. Acoust. Soc. Am. 103(1). 148-158, (1998).
- Wright W., J. Acoust. Soc. Am., 73(6). P. 1948—1955. (1983).
- Settles G. Springer-Verlag, Heidelberg, (2001).
- Yuldashev P. et. al. Acoust. Phys., 54(1), 32-41 (2008).

Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ. Компьютерные вычисления проводились на суперкомпьютере «СкиФ-МГУ».

Новый способ генерации рентгеновского излучения при кавитации быстрой струи воды

А.А.Корнилова (1), В.И.Высоцкий (2), Н.Н.Сысоев (3),
Н.К.Литвин (4), В.И.Томак(5), А.А.Барзов (6)

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Россия (1)

Киевский национальный университет им. Т.Шевченко, Украина (2)

Московский технический университет им. Баумана (МВТУ), Россия (3)

В работе [1] были обнаружены и исследованы оптические и рентгеновские процессы, которые сопровождали кавитационные явления, протекающие в движущемся при давлении 70-90 атм машинном масле, вытекающем из тонкого диэлектрического канала в кавитационную камеру. Механизм формирования рентгеновского излучения был связан с последовательным тандемом кавитационных и ударно-волновых процессов внутри камеры.

В данной работе представлены результаты изучения интенсивного рентгеновского излучения, связанного с пузырьковой кавитацией сверхзвуковой струи воды при очень высоком давлении (от 200 до 3000 атм) возле конца выводного канала и в свободном пространстве. Мягкая часть излучения ($E_X \approx 1$ КэВ) генерировалась поверхностью быстрой струи воды в области кавитации при любом давлении. Энергия излучения, генерируемого поверхностью стального водовыводящего канала, соответствовала $E_X \approx 2$ КэВ. В случае дополнительного свинцового покрытия этой поверхности энергия излучения возрастила до $E_X \approx 4.5-5$ КэВ (см. Рис.1). Полная активность рентгеновской генерации соответствовала 0.1 Кюри. Аналогичные радиационные явления регистрировались с помощью рентгеновской фотопленки. Было показано, что в такой водовыводящей системе с интенсивной кавитацией возможен процесс тандемного формирования управляемого (фокусированного или направленного) рентгеновского излучения с заданной поперечной структурой. Был предложен и детально исследован метод создания комбинированной "акусто-рентгеновской" оптической системы. В докладе представлены результаты фокусировки и дефокусировки рентгеновского излучения генерируемого при воздействии кавитирующей сверхзвуковой струей воды на толстые мишени и управляемого "акусто-рентгеновской" оптической системой изготовленной из металлической линзы (см., Рис.2).

В докладе обсуждаются разные методы применения рентгеновского излучения, генерируемого в процессе кавитации, в микроэлектронике, медицине и биотехнологии.

1. А.А.Корнилова, В.И.Высоцкий, Н.Н.Сысоев, А.В.Десятов. Генерация рентгеновского излучения при пузырьковой кавитации быстрой струи жидкости в диэлектрических каналах //Поверхность, 2009, № 4, с. 17–26

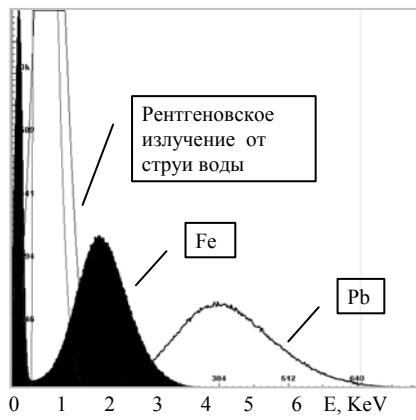


Рис.1

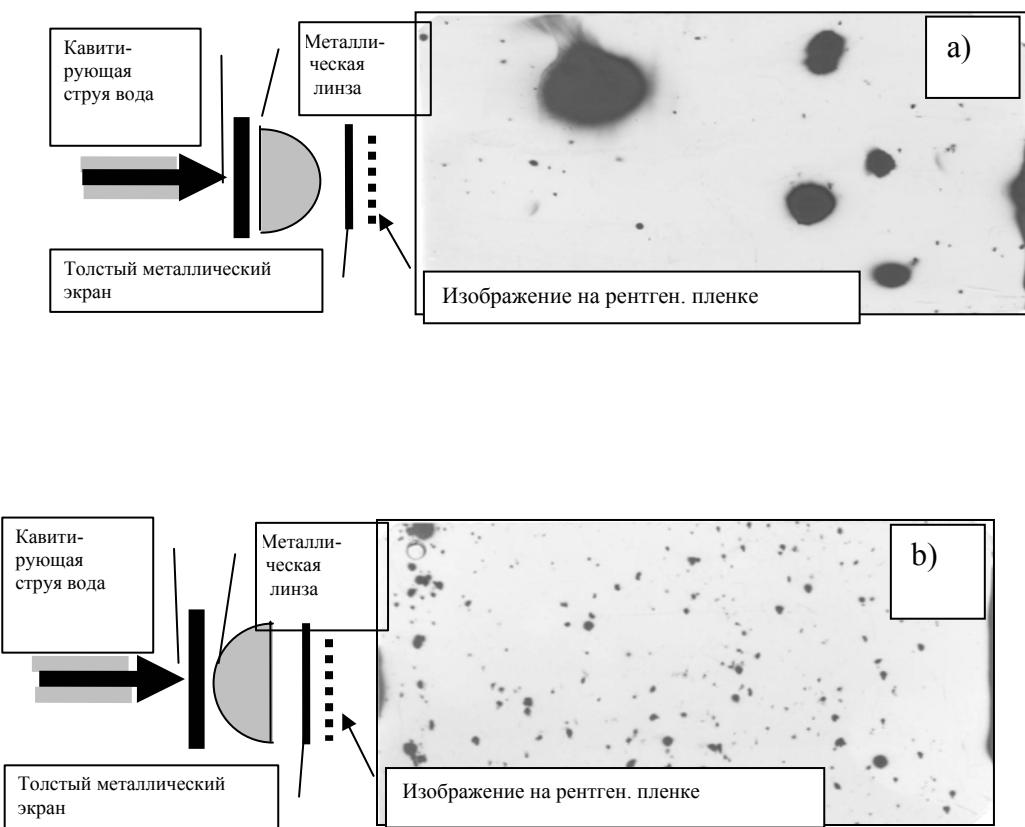


Рис.2. Фокусирующее (а) и дефокусирующее (б) действие металлических линз на комбинационное "акусто"- "рентгеновское" поле

Перспективы ветроэнергетики в горах

Кожевников В.Н.

Кафедра физики атмосферы Физического факультета МГУ

Самолеты летают за счет подъемной силы, возникающей при обтекании его крыльев встречным потоком воздуха. Важнейшим фактором, определяющим эту силу, является угол между направлением потока и плоскостью крыла, называемый углом атаки. Устойчивость полета обеспечивается только тогда, когда величина угла атаки не выходит за пределы некоторого диапазона значений. Соответствующие исследования данной проблемы показывают, что выход из допустимого диапазона может происходить тогда, когда самолет попадает в область серьезных возмущений атмосферы и прежде всего когда он попадает в область заметных возмущений вертикальной скорости. В таких ситуациях в лучшем случае сильно возрастают перегрузки, действующие на самолет и пассажиров в нем, и в худшем – самолет теряет управляемость (начинает «сваливаться» с возможным переходом в штопор). В настоящее время удается достаточно надежно оценивать интенсивность возмущений атмосферных потоков над реальными горными хребтами [1, 2, 3]. В [1, 3], к примеру, были проведены оценки возмущений вертикальной скорости атмосферы и связанных с этим изменений угла атаки и перегрузок для двух типов пассажирских самолетов. Одна из таких оценок, проведенная в [3], иллюстрируется ниже на рисунках и в таблице для легкомоторного самолета. На первом рисунке даны траектории движения и изолинии вертикальной скорости W над всеми горами, на втором – траектории и изменения угла атаки D над главными хребтами. В таблице приведены экстремальные значения возмущений. Оценка показывает, что изменения угла атаки могут достигать 9 градусов. Обычно полагают, что при превышении 7 градусов самолет может потерять управление.

Оценки показывают, что существенные для полетов возмущения атмосферы следует ожидать над горами с высотами от 500 до 1500 м, которые, как известно, весьма часто встречаются в практике полетов. Проведение расчетов подразумевает знание двух аспектов проблемы: характеристик горного рельефа и параметров состояния атмосферы в потоке перед горами. Характеристики рельефа определяются по разработанной процедуре анализа карт высот. Параметры состояния атмосферы нетрудно определять по данным стандартного радиозондирования в оперативном режиме.

Включение указанных расчетов в метеорологическое обеспечение полетов позволит повысить безопасность и комфортность полетов на многих из существующих авиатрасс. Данный подход может использоваться так же при прокладке новых авиатрасс и планировании строительства новых аэропортов. На первом этапе такие мероприятия можно было бы использовать в качестве получения специальной информации о типовой характеристике конкретных авиатрасс. Нет сомнений, что в недалеком будущем станет возможным проводить оценку безопасности и комфорта непосредственно во время

проведения полета. В этом случае метеослужба сможет давать рекомендации по использованию маневров для обхода конкретных опасных зон в атмосфере.

1. Кожевников В.Н., Павленко А.П. Возмущения атмосферы над горами и безопасность полетов. Изв. РАН, ФАО, т. 29, N 3, стр. 301--314, 1993.
2. Кожевников В.Н. Возмущения атмосферы при обтекании гор. Москва, "Научный Мир", 160 стр. с илл., 1999.
3. Кожевников В.Н., Мемариан М.Х. Орографические возмущения и проблема безопасности полетов над горами Ирана. Проблемы анализа риска. Том 3, №4, стр. 546-361, 2006.

Место	W, м/с	D, град
Земля у хребта e	-10/+7	10
Земля у хребта g	-10/+7	10
Высоты 3-4 км	-6/+5	8
Высоты > 4 км	-6/+5	9

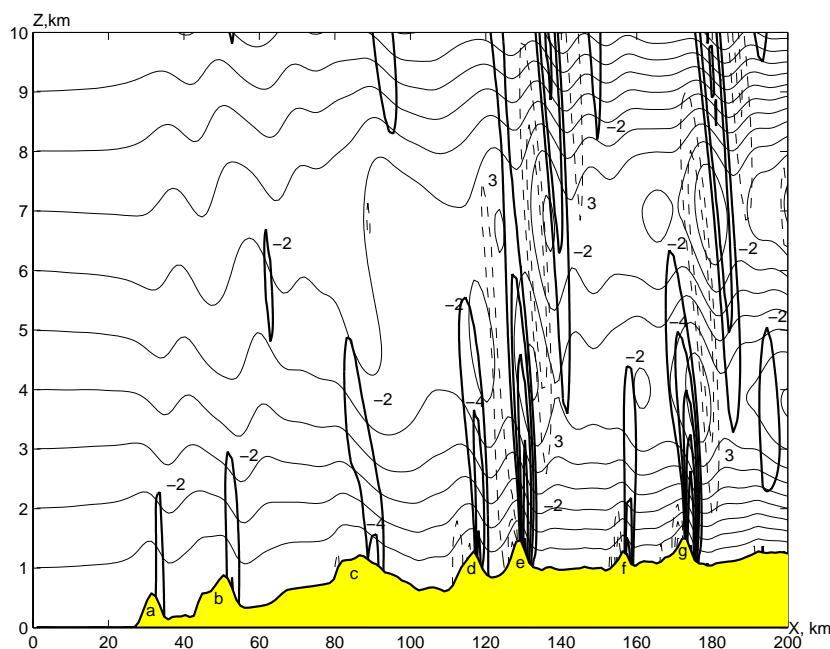


Рис. 1. Орографические возмущения атмосферы при обтекании гор Ю.Загрос в Иране. Сплошными линиями показаны траектории движения воздуха (основной поток направлен слева направо). Изолинии вертикальной скорости представлены сплошными (нисходящие потоки) и пунктирными линиями (восходящие потоки), цифрами даны значения в м/с. Главные хребты выделены буквами.

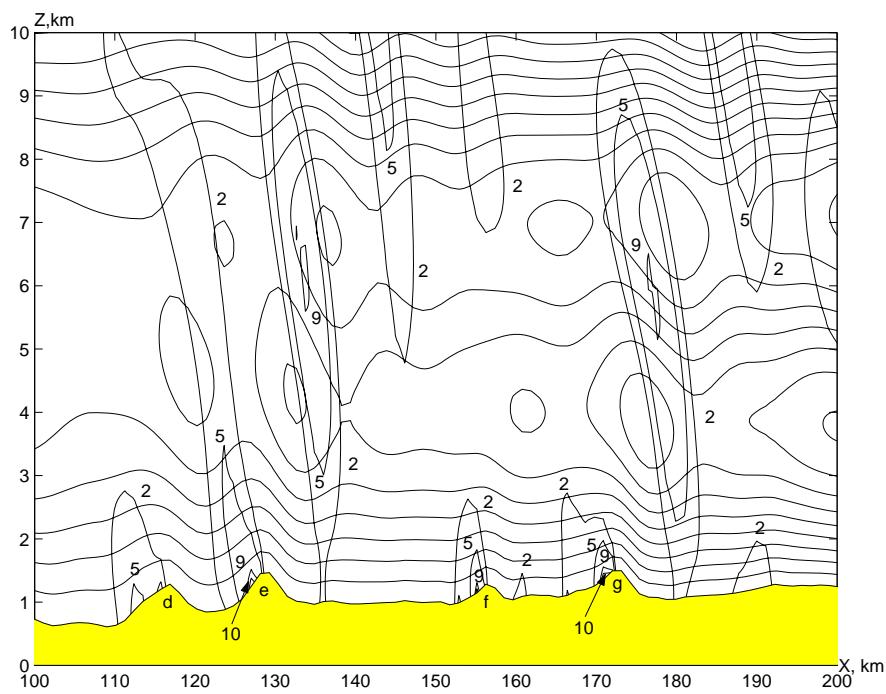


Рис. 2. Орографические возмущения над господствующими хребтами. Сплошными линиями представлены траектории движения, сплошными с цифрами – изолинии изменений угла атаки (в градусах).

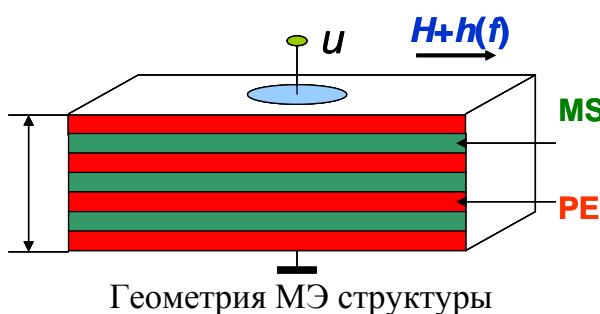
Датчики магнитных полей и автономные источники энергии на основе магнитоэлектрического эффекта в слоистых структурах ферромагнетик – пьезоэлектрик

Фетисов Л.Ю., Перов Н.С.

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Целью проекта является создание датчиков магнитных полей и автономных источников энергии нового типа на основе магнитоэлектрического эффекта в твердотельных структурах.

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект проявляется в электрической поляризации образца (генерация электрического напряжения U на гранях образца) при помещении его во внешнее магнитное поле H . Максимальный по величине МЭ эффект обнаружен в композитных структурах, содержащих



механически связанные ферромагнитные (ФМ) и пьезоэлектрические (ПЭ) слои. Эффект возникает в результате комбинации магнитострикции ФМ слоя и пьезоэффекта в ПЭ слое. Величину эффекта характеризуют коэффициентом $\alpha = U/(d \cdot H)$, где d – толщина структуры. В структурах содержащих материалы с высокой

магнитострикцией и большим пьезоэффициентом достигнута эффективность МЭ преобразования $\alpha \approx 0.1\text{--}100 \text{ В}/(\text{Э}\cdot\text{см})$ [1].

МЭ структуры перспективны для создания высокочувствительных датчиков постоянных и переменных магнитных полей. Такие датчики, в отличие от распространенных датчиков на основе эффекта Холла и эффекта гигантского магнетосопротивления, не требуют дополнительного источника питания, просты по конструкции, работают при комнатной температуре и имеют повышенную радиационную стойкость [1]. За рубежом разработаны опытные образцы МЭ датчиков переменных магнитных полей с чувствительностью до 1 пТл, работающие при комнатной температуре.

Другая область применения МЭ структур – автономные источники, преобразующие энергию механических колебаний и магнитных полей в электрическое напряжение. Источниками механических колебаний могут быть движения частей человеческого тела, вибрация зданий и сооружений, транспортные средства и различные природные процессы (волны, ветер). Магнитные поля возникают при работе промышленных установок. Такие источники энергии экологически чистые и, в отличие от используемых сегодня батарей, могут иметь неограниченный срок службы [2].

Нами были проведены различные исследования МЭ эффекта в структурах, содержащих магнитострикционные слои из никеля, галфенола и аморфного

металла, и пьезоэлектрические слои цирконата-титаната свинца [3]. Продемонстрировано резонансное усиление МЭ взаимодействия на частотах акустических резонансов структур [4]. Полученные данные демонстрируют возможность практического использования таких структур.

В проекте предполагается исследовать МЭ эффект в структурах содержащих материалы с повышенной магнитострикцией и пьезоэффектом, разработать оптимальные конструкции датчиков магнитных полей различного типа, изготовить опытный образец автономного источника энергии на основе МЭ эффекта в слоистых структурах и исследовать его характеристики.

- [1] C.-W. Nun, M.I. Bichurin, S. Dong et al, Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions, JAP 103, 031101 (2008).
- [2] S. Priya, J. Ryu, C.-S. Park et al, Piesoelectric and Magnetoelectric Thick Films for Fabricating Power sources in Wireless Sensor Nodes, Sensors 9, 6362 (2009).
- [3] L.Y. Fetisov, K.E. Kamentsev, D.V. Chashin et al, Converse magnetoelectric effects in a galfenol and lead zirconate titanate bilayer, J. Appl. Phys., 105, 123918 (2009).
- [4] N.S. Perov, Y.K. Fetisov, L.Y. Fetisov, Magnetoelectric interaction in amorphous magnetic-piezoelectric structures, Abstracts of the Progress in Electromagnetic Research Symposium, 18-21 August, 2009, Moscow. Russia.

Способ импульсного воздействия на взрывную волну вблизи поверхности

Знаменская И.А., Иванов И.Э., Коротеева Е. Ю., Карацуба А.К.,
Мурсенкова И.В., Орлов Д.М., Сысоев Н.Н.

МГУ, физический факультет

Предложен метод воздействия на ударную волну вблизи твердой поверхности с помощью распределенного поверхностного разряда наносекундной длительности.

Исследовано газодинамическое течение, возникающее при распространении взрывной волны в канале, на одной из стенок которого инициируется импульсный сильноточный поверхностный распределенный скользящий разряд (плазменный лист). Мгновенное с точки зрения характерных газодинамических времен вложение энергии в тонком слое воздуха у стенки канала приводит к значительному росту давления и температуры в области разряда, и по разрядной камере начинают распространяться ударные волны и возмущения. Через 30-40 мкс все возмущения затухают; в разрядной области идут релаксационные процессы, а вблизи поверхности образуется тонкий слой нагретого разреженного газа. Экспериментально исследовано взаимодействие ударной волны с квазидвумерной пристеночной областью релаксирующей плазмы распределенного поверхностного разряда.

Эффекты воздействия плазменного листа на плоскую ударную волну, движущуюся вдоль поверхности и течение за ней, включают: деструкцию и искривление участка фронта волны, пространственную турбулизацию течения за фронтом (см. Рис.1 а, б).

Эволюция ударной волны при ее движении по возбужденному разрядом слою газа исследуется на разных временных стадиях после инициирования разряда ($t=40-500\text{мкс}$) и для разных чисел Маха ($M=1,5-3$). В этих условиях течение нестационарно, оно отличается от установившегося движения ударной волны вдоль теплого слоя, так как идет релаксация, расширение нагретой импульсным разрядом области. Теневыми методами обнаружено образование крупномасштабного возмущения, опережающего фронт основной волны, - предвестника, размеры которого растут с выходом на автомодельный режим.

Поскольку геометрия задачи позволяет считать течение квазидвумерным, теневые снимки сравниваются с результатами численного 2D моделирования. Расчет проводился по методу Годунова повышенного порядка, основанного на решении задачи Римана о распаде произвольного разрыва, в рамках полной системы нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Расчеты проводились для воздуха ($\gamma=1.4$) с соответствующими экспериментальными граничными и начальными условиями ($P_0=25$ Торр, $T=300$ К). Турбулентность описывается к-е моделью, а вложение энергии моделируется как мгновенное изменение начальных данных в области, где сосредоточен поверхностный разряд (протяженностью 10 см, толщиной 0.7 мм).

Расчет дает картину течения, аналогичную наблюдалась на теневых снимках, а также подтверждает сохранение ударно-волновой конфигурации с предвестником по мере движения ударной волны вдоль области поверхностного энерговклада и постоянную скорость роста предвестника (Рис.1 в).

Анализ экспериментальных результатов и численного расчета течения позволяет прогнозировать воздействие на ударную волну вблизи твердой поверхности импульсного поверхностного сильноточного разряда, а также исследовать тепловые и релаксационные, гетерогенные процессы в области разряда в широком диапазоне параметров.

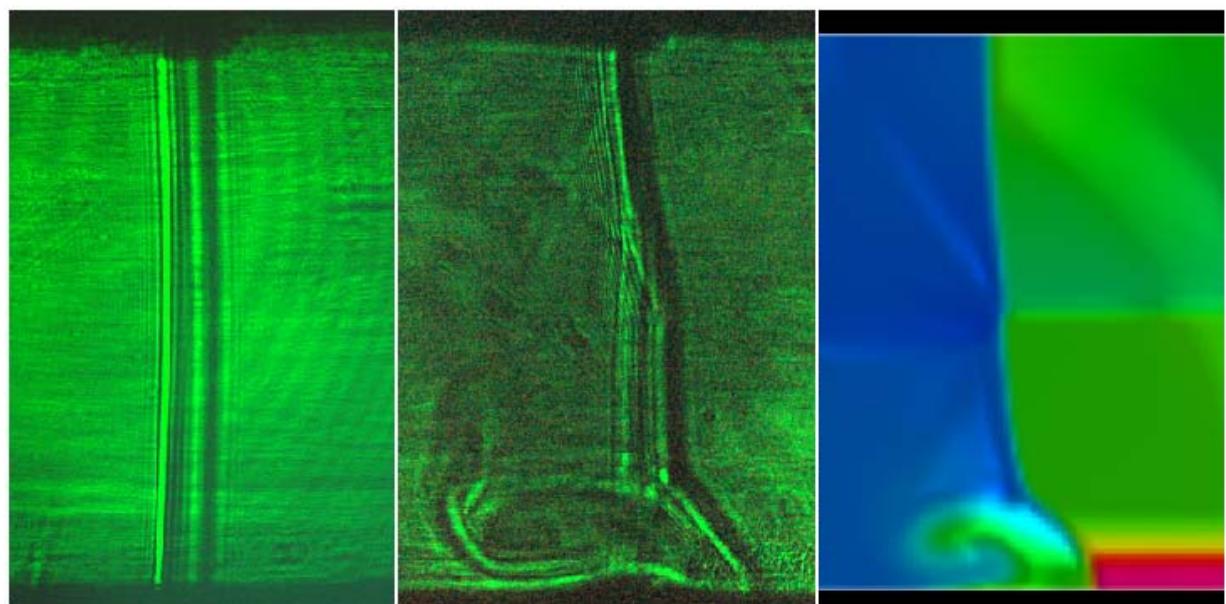


Рис.1. а), б) теневые изображения фронта УВ:
а) в отсутствии воздействия плазменного листа;
б) при взаимодействии с плазменным листом;
в) численный расчет картины течения, соответствующий изображению б).

Новые методы оптимизации горения

Черников В.А., Каменщиков С.А.

Кафедра физической электроники, Физический факультет,
МГУ имени М. В. Ломоносова

На сегодняшний день применение плазменных источников признано одним из самых перспективных для управления высокоскоростными потоками, а также для воспламенения и интенсификации горения. В последние 10 лет появилась новая область на стыке разделов физики – плазменная аэродинамика. Большинство работ, посвященных данной тематике представлено на конференциях [1,2] и описывает тепловое, химическое, комбинированное воспламенение потоков, а также управлением набегающего потока с использованием классических типов газовых разрядов. Разработанные подходы к стимуляции горения и управлению потоком являются решением шести основных задач. Проблематике стимуляции горения соответствуют задачи эффективного перемешивания, экономичного объемного воспламенения и стабильного удержания пламени. Проблемы воздействия на поток можно подразделить в свою очередь на управление зоной отрыва потока при обтекании тел, управление ударно-волновой структурой при сверхзвуковых потоках и управление турбулентным следом. В этом проекте мы хотели бы представить новые подходы к решению проблем удержания пламени и объемного ударно - радиационного воспламенения. Условия, для которых будут разрабатываться предлагаемые методики – высокоскоростные пропана - воздушные потоки со скоростями 200-500 м/с (число Maxa: 1,5-2). В качестве воспламенителя предлагается использовать продольно – поперечный дуговой разряд постоянного тока ППР (рис.1) мощностью 3 кВт с длительностью импульса зажигания 1-3 с. При этом концентрация электронов в плазме составляет $n_e = 10^{13}$ см⁻³, температура газа $T_g = 2000$ °К.

Рис.1. Продольно поперечный дуговой разряд постоянного тока

Удержание пламени электрическим полем. Применение однородного электрического поля может сыграть существенную роль для стабилизации пламени в высокоскоростном потоке при выполнении условия $v_d = v_f - v_c$, где v_d - скорость дрейфа заряженных радикалов, v_c – локальная скорость волны горения, v_f – скорость потока. Характерная скорость потока в камере горения для наших экспериментов составляет 500 м/с, в то время, как скорость дефлаграции - 10-30 м/с. Используя для оценки массу и заряд радикала C_2H_3O и напряженность электрического поля 2.04 В/м для скорости дрейфа в электрическом поле получаем величину 480 м/с. Эта скорость близка к собственной средней скорости потока (500 м/с), что позволяет говорить о возможности остановки пламени. Указанные значения поля могут быть получены в лабораторных условиях. Успешное удержание пламени позволяет сократить мощность, затрачиваемую на поддержание горения в 10^5 раз и избежать постоянного плазменного воспламенения смеси. Кроме того, периодическая модуляции электрического поля может быть использована для возбуждения турбулентности плазмы пламени, увеличивающей поверхность теплообмена. Одной из целей данного проекта

является разработка теоретического подхода воздействия электрического поля на удержание плазмы пламени в высокоскоростном потоке пропана – воздушной смеси, а также создание бесконтактного полевого держателя пламени с применением постоянного и модулированного однородного слабого электрического поля.

Ударно-радиационное воспламенение. Пульсационный механизм воспламенения приобретает решающее значение при высоких скоростях потока, то есть, в случае, когда скорость дефлаграционного горения существенно ниже средней скорости натекания смеси. В данном проекте предлагается исследовать возможность воспламенения смеси при помощи гиперзвуковой квазиплоской ударной волны и ультрафиолетового излучения, образующихся при эрозионном плазмодинамическом разряде. Преимуществами предложенного типа воспламенения смеси являются малый вес установки, малые детонационные расстояния, а также использование дополнительного радиационного механизма наработки радикалов. Теоретически рассчитана минимальная энергия одного импульса плазматрона, равная 100 Дж, которая необходима для эффективного воспламенения разрядом. При этом мощность установки может составлять менее 10 кВт. Число маха гиперзвуковой волны достигает $M=10$. Предлагается осуществить фокусировку ударной волны в волноводе с прямоугольным сечением, экспериментально подтвердить возможность детонационного воспламенения и найти область электрических параметров, при которых данный режим возможен. Также будут исследован оптимальный состав смеси, при котором максимальна длина свободного пробега высокоэнергичных квантов. Объемное "просветление" смеси, приводящее к фотодиссоциации, значительно понижает энергетические требования к установке и к характеристикам ударной волны. В ходе работы будет осуществлен режим воспламенения в условиях неподвижной пропана – воздушной смеси и сверхзвукового потока ($M=2$), а также создана камера сгорания, работающая в режиме пульсационного воспламенения. Будут проведены расчеты удельного импульса тяги.

[1] 1st – 7th AIAA International Workshops on Weakly Ionized Gases. //Proceedings AIAA, USA, Colorado-1997; Norfolk-1998, 1999; Anaheim-2001; Reno-2002, 2003, 2004, 2005.

[2] 1st – 6th International Workshops on Magneto- and Plasma Aerodynamics for Aerospace Applications. //Proceedings IVTAN Russia, Moscow-1999; 2000, 2001, 2002, 2003, 2005.

Разработка высокоэффективного источника света на основе новой модификации высокочастотного газового разряда.

Неклюдова П. А., Турковская А.В., Петров А.К.

Физический факультет, Московский государственный университет им М.В.Ломоносова

Введение.

Наиболее эффективными современными источниками плазмы являются устройства, созданные на основе использования высокочастотных разрядов низкого давления – индуктивного и емкостного. Как известно, в первом из них легко получается весьма плотная плазма с концентрацией зарядов $n \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Достоинством же емкостного разряда является значительное обогащение плазмы электронами высоких энергий ($E \sim 1 \text{ кэВ}$) и возможность формирования заданного электронного энергетического спектра. Известно, что поджиг индуктивного ВЧ разряда представляет известную трудность и требует технических решений, усложняющих конструкцию. Кроме того, горение индуктивного разряда в энергетически эффективной mode возможно при мощностях, превышающих некоторую критическую величину. Это сужает возможность построения семейства источников плазмы, рассчитанных на различные величины мощности. Естественно, что возникает мысль о создании разряда, поддерживающего как вихревыми, так и потенциальными ВЧ полями, плазма которого отличалась бы высокой плотностью и эффективно управляемым энергетическим спектром электронов. В настоящей работе представлены первые результаты по изучению возможности использования такого ВЧ разряда в качестве источника света. Предполагается, что индуктивная составляющая разряда обеспечит высокую энергетическую эффективность источника света, а емкостная составляющей – возможность плавной регулировки интенсивности свечения и понижения пороговой мощности, при которой разряд переходит в энергетически эффективную моду.

Схема и методика экспериментов.

Источники света (ИС) представляют собой цилиндрические стеклянные или кварцевые колбы диаметром 7 см и длиной 2.5, 4.5 и 8 см. Для возбуждения разряда на боковой или торцевой поверхности колб располагались спиральные антенны. Дополнительно к спиральным антеннам, по крайней мере, на одной торцевой поверхности крепился электрод, необходимый для возбуждения потенциальных полей в разряде. Колбы заполнялись неоном в диапазоне давлений 0.1-10 Тор.

Схема эксперимента показана на рис.1. Концы антеннены через согласующее устройство подсоединяются к ВЧ генератору, работающему на частоте 13.56 МГц. Изображение от ИС с помощью линзы создаётся на экране с отверстиями. Измерение светового сигнала производится с помощью ФЭУ и монохроматора. Сигнал поступает по световоду через монохроматор или напрямую на ФЭУ. Для поджига ИС используется ВЧ генератор и система согласования. Напряжение и электрический ток измеряются с помощью осциллографа при использовании делителя напряжения и пояса Роговского соответственно.

По измеренным значениям мощности ВЧ генератора P_{gen} , напряжения V и тока I антенны рассчитывались эквивалентное сопротивление плазмы R_{pl} и мощность P_{pl} , вкладываемая в плазму.

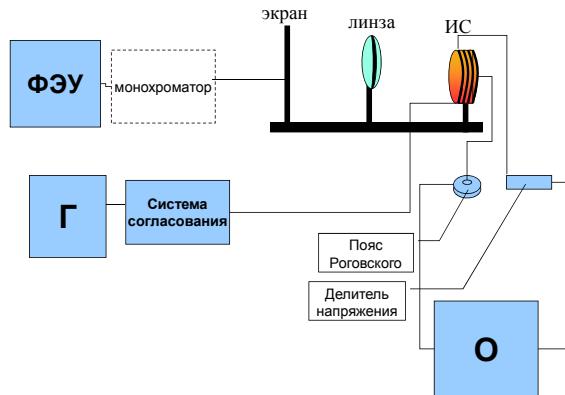


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

Результаты экспериментов.

На рис.2 показаны зависимости отношения интенсивности свечения плазмы Int к мощности, вкладываемой в плазму P_{pl} , от P_{pl} для чисто индуктивного и модифицированного ВЧ разрядов. Как видно, в случае модифицированного ВЧ разряда удается получить интенсивность свечения плазмы на 10-15% выше, чем в случае чисто индуктивного разряда.

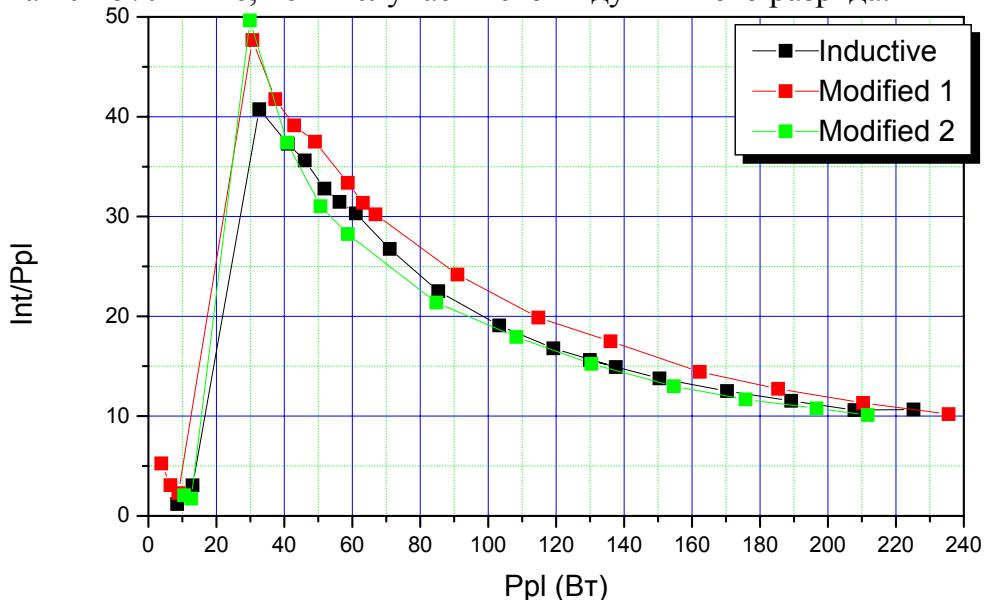


Рис.2. Зависимость отношения интенсивности свечения плазмы к мощности, вкладываемой в плазму, от P_{pl}

Выводы.

Первые полученные результаты указывают на перспективность использования модифицированного ВЧ разряда в качестве высокоэффективных ВЧ источников света.

Особенности прохождения фазовых превращений в фольгах сплава Pd-Y после неоднократного гидрирования

Степенко С.О., Авдюхина В.М., Ревкевич Г.П., Уманская Н.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Ленинские горы, МГУ, д.1 стр.2, Москва, 119991 ГСП-1, Россия

Введение

В настоящее время единственным эффективным способом получения особочистого водорода(99.9999%) в одну стадию является извлечение его из газовых смесей с помощью мембран из сплавов палладия. Однако в таких мембранных фильтрах в процессе эксплуатации происходят структурные и фазовые превращения, что приводит к их быстрому механическому разрушению. Поэтому актуальной является задача определения типа и концентрации примеси в матрицу чистого палладия, при которой повышается механическая прочность мембраны и остается высокой ее водородопроницаемость.

В настоящее время одними из перспективных в этом плане считаются сплавы палладия с редкоземельными металлами, а именно, система Pd-Y, способность которой пропускать водород в некотором интервале концентраций иттрия в 2-3 раза выше, чем у сплавов системы Pd-Ag и В1, используемых в промышленности в настоящее время [1]. Кроме того, легирование палладия атомами иттрия увеличивает прочностные характеристики сплавов, в результате чего следует ожидать повышение срока эксплуатации мембран. Однако вопросы структурной эволюции в этих сплавах после их неоднократного гидрирования ещё не достаточно изучены [2].

Настоящая работа посвящена изучению характера фазовых превращений, протекающих в 130 мкм фольгах сплава Pd-8.3ат.%Y, после трехкратного насыщения их водородом в процессе длительной релаксации методами прецизионного рентгенодифракционного анализа.

Результаты и обсуждение

Впервые для сплава Pd-8.3ат.%Y, находящегося при температуре насыщения водородом вблизи двухфазной области, в процессе релаксации при нормальных условиях после гидрирования наблюдали немонотонные фазовые превращения. Как было установлено ранее [3], гидрирование палладия и сплавов на его основе приводит к образованию большого количества вакансий, и, следовательно, к росту коэффициентов диффузии компонент сплава. Вследствие этого в течение 850 ч. релаксации при комнатной температуре однофазный сплав Pd-8.3ат.%Y распался на три фазы: фазу Pd₇Y, α-твердый раствор Pd-8ат.%Y, обогащенных водородом ($n_H/n_{Pd-Y} \approx 0.30$), и фазу, в которой концентрация иттрия понизилась до 4ат.%, с меньшим количеством водорода ($n_H/n_{Pd-Y} = 0.12$), чем в вышеуказанных фазах.

Исследования положений дифракционных максимумов и их интегральной интенсивности в интервале времен релаксации (8400-13700) ч. показали, что на дифрактограммах также наблюдаются три системы линий, которые отличались

как по положению, так и по интенсивности от дифракционной картины, наблюдаемой при 850 ч.

Было установлено, что спустя 13700 ч. релаксации количество водорода в основной фазе снизилось до $n_H/n_{Pd-Y} = 0.04$. Очевидно, что водород должен был уйти и из фазы Pd₇Y. Однако рассчитанный из эксперимента период решётки этой фазы для данного времени релаксации вырос. Подобный результат свидетельствует о том, что длительная релаксация привела к фазовым превращениям, и пик, наблюдающийся под меньшими углами дифракции, принадлежит фазе Pd₃Y, в которой практически нет водорода. Это произошло за счет высокой диффузионной подвижность атомов РЗМ в матрице палладия, в которой содержится много водорода и вакансий. Дополнительным подтверждением данного фазового превращения является тот факт, что ширина левого пика уменьшилась почти в два раза при увеличении времени релаксации от 8400 до 13700 ч.

Пик, наблюдаемый при больших углах дифракции, был идентифицирован нами как фаза, обеднённая иттрием. Было установлено, что в процессе длительной релаксации (13700 ч.) рассчитанный из эксперимента период решётки этой фазы стал меньше периода решётки чистого палладия. Подобный результат свидетельствует о том, что в этой фазе содержится аномально высокая концентрация вакансий.

Выводы

Проведение длительных рентгendifракционных исследований фольг сплава Pd-8.3ат.%Y после их электролитического гидрирования позволяет сформулировать следующие результаты:

- при высоком содержании в матрице сплава водорода и вакансий твердый раствор Pd-8.3ат.%Y распадается на фазу Pd₇Y-H, α -твердый раствор Pd-8ат.%Y-H и α -твердый раствор Pd-4ат.%Y-H; количество водорода в сверхструктурной фазе выше, чем в фазах Pd-8ат.%Y-H и Pd-4ат.%Y-H;
- при выходе водорода из фазы Pd₇Y-H в процессе релаксации, она распадается, и образуется (но в значительно меньшем количестве) фаза Pd₃Y, которая не содержит водород;
- в результате длительной релаксации образуется фаза, обедненная атомами иттрия, концентрация вакансий в которой достигает 6 ат.%.

Все приведенные результаты получены впервые.

Литература

1. Бурханов Г.С., Горина Н.Б., Кольчугина Н.Б., Рошан Н.Р. Ж-л российского химического общества им. Д.И.Менделеева, 2006, L, №4 с.36.
2. Авдюхина В.М., Ревкевич Г.П., Назмутдинов А.З., Бурханов Г.С., Рошан Н.Р., Кольчугина Н.Б. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2007, №10, с.9.
3. Авдюхина В.М., Кацнельсон А.А., Ревкевич Г.П. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2006, №12, с.1.

On-line контроль содержания форм урана в смеси с использованием лазерного флуоресцентного сенсора

Е.А. Ширшин¹, В.Г. Петров², Г.С. Будылин¹, Б.С. Обморошев¹

¹ Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва,

² Химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва,

shirshin@lid.phys.msu.ru

В результате технологического процесса выщелачивания, заключающегося в экстракции кислотой урана из руды, образуется смесь, содержащая различные физико-химические формы уранила UO_2^{2+} , продукта гидролиза урана U(VI). При этом знание процентного содержания каждой из форм необходимо для оптимизации процесса добычи урана. В настоящее время существует ряд подходов, использующих ионную хроматографию, рентгеновские методы анализа, методы на основе электрохимических сенсоров или жидкостно-сцинтилляционную спектрометрию, позволяющих частично решить эту задачу. При этом отдельно стоит подход, основанный на использовании лазерной флуориметрии с временным разрешением, позволяющий проводить диагностику с максимальной эффективностью: это экспрессный, неконтактный метод, работающий в режиме реального времени. Однако его использование сопряжено с трудностями, связанными с обработкой экспериментальных данных: до сих пор не существует адекватной модели, учитывающей фотофизику отдельных форм уранила и описывающей флуоресцентный отклик смеси. Отсутствие априорных данных, большое число параметров задачи делают полное решение задачи почти безнадежным. Более того, применение этого метода к реальному объекту связана с техническими сложностями, поскольку смесь представляет собой сильно рассеивающую яркоокрашенную среду.

В настоящей работе представлены результаты разработки лазерного флуоресцентного сенсора, способного производить on-line контроль смеси форм уранила с учетом всех вышеописанных трудностей, как методологических, так и чисто технических.

Для решения первой группы проблем, связанных с анализом данных, получаемых из эксперимента, предложена модель, описывающая кинетику флуоресценции образца — смеси наиболее значимых для процесса выщелачивания фторидных и сульфатных комплексов урана. С помощью программного обеспечения MEDUSA проводился теоретический расчет распределения форм нахождения урана в модельных растворах. Известно, что при

увеличении числа лигандов в комплексах урана наблюдается увеличение интенсивности флуоресценции и сдвиг максимумов длин волн флуоресценции. Зависимость индивидуальных фотофизических параметров комплекса от количества лигандов в нем, определение которой стало возможным лишь благодаря применению метода нелинейной флуориметрии, и легла в основу модели.

Вторая группа проблем связана со свойствами исследуемой среды — высокими поглощением и рассеянием. Известные на данный момент флуоресцентные сенсоры урана имеют в своей основе ИАГ:неодимовый лазер и используют для возбуждения флуоресценции четвертую гармонику его излучения (длина волны 266 нм), попадающую в максимум полосы поглощения. В условиях реальной среды такой сенсор неприменим. Для преодоления этой трудности нами был использован алюминат:неодимовый лазер, третья гармоника излучения которого (длина волны 447 нм), как нельзя лучше подходит условиям задачи, попадая в длинноволновую полосу поглощения.

На основе данных, полученных с использованием сенсора, было определено содержание отдельных комплексов в модельных растворах. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами термодинамических расчетов. Показана возможность определения форм нахождения урана в неразбавленных растворах без предварительной пробоподготовки и в присутствии коллоидных частиц (таких как SiO_2 , обладающих собственной флуоресценцией и Fe_2O_3 , имеющих интенсивную окраску). Тем не менее, количество определяемых параметров все еще велико, что осложняет точное решение обратной задачи.

Одновременно с решением прикладной задачи выполняются фундаментальные исследования фотофизических процессов в комплексах уранила; впервые определены их индивидуальные параметры — сечения поглощения, квантовые выходы, времена жизни при возбуждении в верхнее и нижнее электронные состояния. На данный момент стоит задача теоретического описания эффектов, связанных с влиянием локальных полей лигандов на структуру уровней и параметры уранила. Решение этой фундаментальной задачи существенно облегчит анализ экспериментальных данных.

Ускоритель электронов для нефтегазовой промышленности

Алимов А. С., Ишханов Б. С., Пахомов Н. И., Шведунов В. И., Юров Д. С.

Кафедра общей ядерной физики,
Физический факультет МГУ

В настоящей работе представлена разработка компактного линейного ускорителя электронов для использования в радиационных технологиях для нефтегазовой промышленности. Применение радиационных технологий в нефтегазовой промышленности позволит эффективно решать проблемы, связанные с транспортировкой тяжелых битумных экстрактов и. значительно повысить выходы продуктов переработки битумов, представляющих ценность для рынка и удовлетворяющих экологическим требованиям.

Предлагаемый электронный ускоритель может быть использован в электронно-лучевой обработке для безотходной конверсии природного и попутного нефтяных газов в водород и жидкие разветвленные алканы. Важными достоинствами метода являются весьма умеренные давления и температуры процесса и высокая потребительская стоимость конечных продуктов. Реализация данного метода на удаленных нефтегазовых месторождениях поможет минимизировать или устранить непродуктивное сжигание газов и повысить выход наиболее качественных фракций нефти.

На основе действующего прототипа - двухсекционного линейного ускорителя электронов непрерывного действия на энергию 1.2 МэВ - разрабатывается ускоритель на энергию 1 МэВ, основные характеристики которого приведены в таблице 1. На основе предлагаемого ускорителя возможно создание модульной системы, что обеспечит простоту доставки ускорителя на место и монтажа. В случае выхода из строя одного из модулей установка сохраняет работоспособность, замена модуля может быть осуществлена в короткие сроки.

Таблица 1. Проектные характеристики ускорителя непрерывного действия на энергию 1 МэВ.

Энергия пучка	1 МэВ
Длина ускорителя	1.26 м
СВЧ мощность, рассеиваемая в стенках секции	20 кВт
Средний ток пучка	0 - 26 мА
Максимальная средняя мощность пучка	26 кВт
Рабочая частота	2450 МГц
Мощность, потребляемая от сети	~75 кВт
КПД	~30%
Габариты ускорителя (без системы развертки и вывода пучка в атмосферу)	900x1260x400 мм ³

В настоящем проекте применен целый ряд нетрадиционных для ускорителей непрерывного действия решений и методик, связанных, прежде

всего, с системами инжекции и формирования электронных сгустков и системой СВЧ-питания.

В качестве энергии инжекции выбрана энергия 15 кэВ, совпадающая с напряжением питания клистрона 15 кВ, что дает возможность запитывать электронную пушку не от отдельного источника питания, а от источника питания клистрона.

Разработана оригинальная электронная пушка на энергию 15 кэВ с двумя промежуточными анодами и регулировкой тока от 0 до 250 мА без существенных изменений оптических характеристик пучка. Пушка располагается непосредственно на входном фланце ускоряющей секции без пространства дрейфа, группирующего резонатора и фокусирующих элементов. При этом эффективный захват (50%) и предварительное группирование пучка реализованы в первых ячейках ускоряющей структуры.

Ускоряющая структура представляет собой бипериодическую структуру с внутренними ячейками связи, работающую на $\pi/2$ колебании. Проведены оптимизация и расчет внутренней геометрии ячеек ускоряющей структуры с использованием пакета программ трехмерного моделирования электромагнитных полей. На основании расчетов подготовлен комплект конструкторской документации и изготовлены все ячейки ускоряющей структуры. В настоящее время проводятся измерения их электродинамических характеристик и настройка.

В основу используемой системы высокочастотного питания заложен автоколебательный принцип работы клистрона и ускоряющей секции, позволяющий отказаться от задающего генератора и развязывающего циркулятора между клистроном и секцией.

Studying of high frequency signals (to 11 kHz) of geoacoustics emission preceding strong earthquakes (power class $K > 9-10$)

¹Gordienko T.V., ¹Gordienko V.A., ²Shevtsov B.M., ²Marapulets J.V.

¹Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

²Institute Cosmo-physical Investigations and Wave Transmission, Far Eastern Department of Russian Academy of Sciences (IKIR DVO RAN)

Prediction of earthquakes is one of the most urgent modern problems. The results of the researches which have been done by us in a seismic region of Kamchatka since 2003, make us hope to solve this problem for some regions. We have found out the new effect, – the existence of anomalies of the high-frequency (4-11 kHz) geoacoustic noise caused by tension, arising under the preparation of strong seismic events, and representing itself as the operative harbingers of coming earthquake. Anomalies are considered as the increase on two-three order of the frequency of impulses of signals of geoacoustic emission (GE) in the chosen frequency range of the filling of these impulses. Any serious researches of signals on GE in the specified frequency range had not been done before, so this frequency area was traditionally considered underdeveloped due to the strong attenuation of high-frequency signals in the soil [1].

According to our statistical data almost for hundred seismic events, formation of large cracks with low-frequency filling of pulse signals of GE (it is considered that the size of a crack r changes in inverse proportion to frequency of filling of an impulse and at its value $f = 3$ kHz makes by estimations [2] nearby 1 m), anticipating earthquake, is the event rather rare while the abnormal increase in number of formed cracks and breaks with radiation of signals of GE having frequency of filling more 5 kHz was observed by us more than for 75 % of events with power class $K > 9-10$. Thus, the absence of the registration of high-frequency signals of filling for other events in points of supervision is probably connected only with the presence of breaks between a point of observation and an earthquake epicentre. So the increase in the number of reception systems and their spatial disperse, will significantly increase the percent of the observation of such anomalies of signals of GE.

The example of display of one of the characteristic anomalies of GE in various frequency ranges is presented at fig. 1. The occurrence of abnormal noise takes place, as a rule, approximately in a daily time interval before strong seismic events to power class $K > 9-10$. The duration of anomalies varies from ten minutes to several hours.

Because of a strong attenuation in the soil, these high-frequency signals registered by the reception system cannot be generated in a subduction zone of coming earthquake. Essentially they are secondary effects of preparation of earthquakes and are caused by the formation of cracks under the influence of deformations [1] which extend from the seismic centre and create the shift pressure by the points of observation in areas of the epicentre defining primary orientation of cracks. As consequence, there is an orientation of an oscillatory motion of particles of medium with carrying over of acoustic energy in the direction of a subduction zone and the centre of coming earthquake. Range of distribution of the area of the formation of the cracks and intensity of deformations are defined by the size of the centre. For earthquakes with $K > 9-10$ these signals can be registered at the distance of 200-250 km from the epicentre of coming earthquake [2]. As the sizes of secondary cracks are

usually considerably small, the elastic fluctuations caused by them are in more high-frequency part of the spectrum in comparison with the waves created by the basic phase of seismic event and consequently overstep the bounds of frequencies used in the traditional seismology.

By the character of the particles movement of medium in a wave (wave polarization) it is possible to carry out the location of areas of preparation of seismic events in a horizontal plane. For this purpose it is required to register the character of movement of particles of medium in a projection to two horizontal mutually orthogonal directions without any amplitude-phase distortions.

1. A.G. Sobolev, A.V. Ponomarev, Earthquake Physics and Precursors (Nauka, Moscow, 2003).

2. S. D. Vinogradov, et al., in Physical Processes in Earthquake Sources (Nauka, Moscow, 2008).

Fig. 1. Typical forms of the total energy of GE signals for frequencies below 10 Hz and in certain third-octave analyzing bands during the anomaly recorded before the event on November 16, 2004 at Mikizha lake ($K = 12,8$). The earthquake moments are marked by the arrows.

Thin-film polymeric material contains functional biological components: method of fabrication and possible applications

¹Dementiev A.A., ²Kraevsky S.V., ¹Kuvykin I.V., ³Mamedov M.D., ³Ptushenko V.V., ³Semenov Yu.A., ¹Tikhonov A.N., ¹Khomutov G.B.,

¹Biophysics department, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University,

²Institute for Theoretical and Experimental Physics

³Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, M.V. Lomonosov Moscow State University.

Investigation of mechanisms and features of novel materials formation are of substantial importance now. In this field, special attention should be given to hybrid systems including the components of biological nature such as supramolecular and subcellular colloid particles and vesicles. Such systems can combine high functional effectiveness of biological systems with stability and processability of synthetic materials.

In our previous works [1,2], we discussed the formation and elucidation of biological and polymeric self-assembled hybrid systems in aqueous phase and on the substrate surface.

In the present communication, we report the results of investigations aimed at the fabrication of polymeric films with high density of functional biological components. We modified the layer-by-layer method for the formation of multilayer complex described in [1]. The modification included the stage of chloroplast centrifugation, which was combined with the incubation of positively charged substrate in the chloroplasts suspension. Other steps of multilayer formation were the same as described earlier [1]. The films produced according to modified procedure were placed in a storage flask with HEPES buffer, pH 7,8. All EPR and fluorescence measurements were carried out within 12 hours after the fabrication of a sample.

Electron transport in chloroplast/polyelectrolyte complex films was studied at room temperature (20–22 °C) by the EPR method. The light-induced redox transients of the primary electron donor of photosystem I (P_{700}) were measured from the EPR signal given by oxidized centers P_{700}^+ according to the protocol described in [3]. Fig. 1 demonstrates the light-induced changes in the amplitude of this signal. A decrease in the signal amplitude in response to illumination with red light (650 nm) indicate that electron transport from photosystem II to P_{700}^+ was not inhibited in chloroplasts immobilized in damped polyelectrolyte films.

Chlorophyll fluorescence in the chloroplasts included in polymeric film was studied with a fluorometer FluorPen ("Photon Systems Instruments" Chech Republic). As seen from Fig. 2, the addition of diuron (the inhibitor of photosystem II) caused a marked acceleration of the fluorescence induction, thus indicating that immobilized chloroplasts retained their photochemical activity.

Structural studies of chloroplast/polymer films were carried out using atomic force microscopy technique (AFM). The Multimode TM Scanning Probe Microscope ("Digital Instruments") was employed to obtain all images. Samples for AFM were dried at the ambient room temperature (20–22 °C).

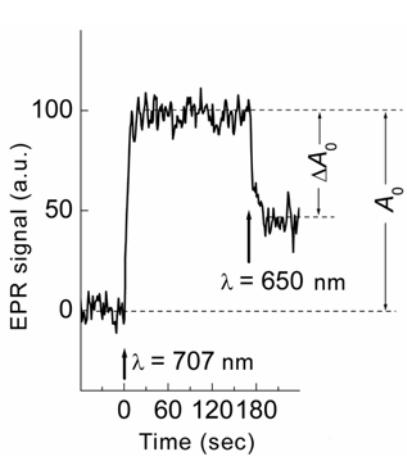


Fig. 1 Typical light-induced changes in the amplitude of the EPR signal I from oxidized centers P_{700}^+ in chloroplast/polyelectrolyte thin-film complexes

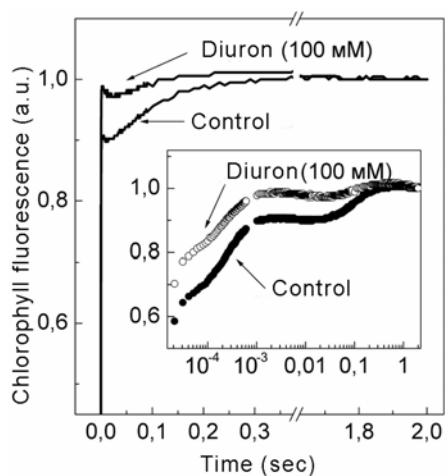
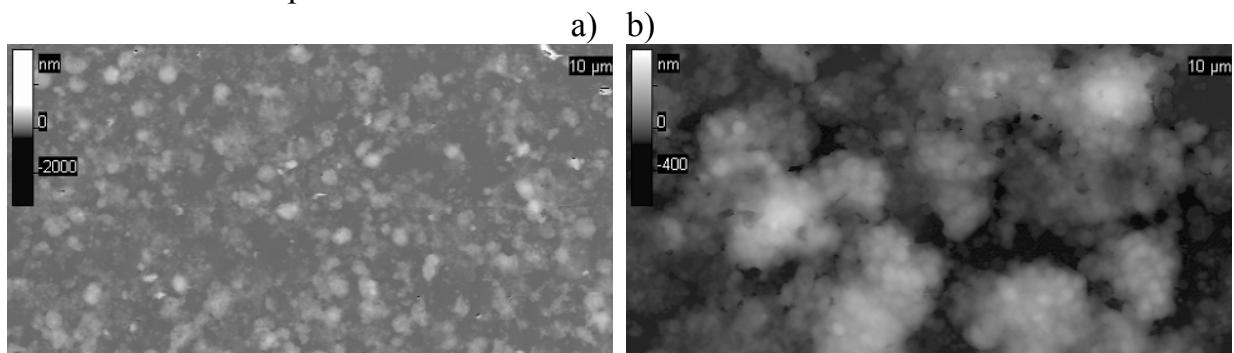


Fig. 2 The kinetics of chlorophyll fluorescence changes in chloroplast/polyelectrolyte thin-film complexes



AFM images of single chloroplasts layer on the surface of mica substrate (a,b).

This approach may be employed for fabrication of new thin-film composite polymer materials and coatings, elements of sensor, analytical, diagnostic devices and systems of hydrosphere condition monitoring.

1. Dementiev A.A., Baikov A.A., Ptushenko V.V., Khomutov G.B. and Tikhonov A.N., *Biochimica et Biophysica Acta (BBA-Biomembranes)*, 2005, v. 1712, pp. 9-16.
2. Dementiev A.A., Khomutov G.B., Semenov A.Yu., Tikhonov A.N., Patent RU № 2326898.
3. Tikhonov A.N., Khomutov G.B., Ruuge E.K., Blumenfeld L.A., Electron transport control in chloroplasts. Effects of photosynthetic control monitored by the interthylakoid pH, *Biochim. Biophys. Acta*, 1981 v.637, p.21–333.

Novel numerical algorithm for simulation shallow water flows

M.V.Afanasieva, O.V.Bulatov

Neutronography and mathematic department, Lomonosov Moscow State University
E-mail: dombulatov@mail.ru

The flow below a free surface in a incompressible fluid is described by a set of partial differential equations known as shallow water equations(also called Saint Venant equations[1]). This mathematical model is widely used for real-world problems, that have a practical application. Particularly, it is used for mathematical modelling of flow in shallow water, rivers, artificial reservoirs. It can describe the flow near sea coast, tsunami waves and release of flows from hydroelectric power station. And also it used for many other problems, that have a straight connection to ecological problems, atmospheric physics and oceanology.

Due to the nature of the shallow water equations they are associated with equations of fluid dynamics. That is why for numerical solution of shallow water equations it is possible to use algorithms, that were developed for computation of fluid dynamics, and this algorithms are also rather complicated[2].

In this work absolutely new and effective method is suggested for numerical computation of nonstationary shallow water equations. Introduced method is based on special type of regularizing of aerodynamics equations[3]. It have principal advantages, that are a simplicity of numerical implementation, high rate of convergence to the exact solution with the help of thickening of space grid, possibility of numerical computation of oscillating flow. The last thing is very important for computational modeling of emergency situations at the hydroelectric power station. Significant quality of algorithm is a natural adaptation for unstructured space grid and possibility of effective implementation on the modern multiprocessor computers, and make it possible to describe real configuration of the coastline.

First results, that were obtained on this matter, can be found in [4] and [5].

References

- [1] L. D. Landau, E. M. Lifshitz. Fluid Mechanics. Science, M., 1986.
- [2] A.G.Kulikov, N.V.Pogorelov, A.U.Semenov. Mathematical problems of numerical computation of hyperbolic system. Moscow, Fizmatlit, 2001.
- [3] T.G.Elizarova. Quasi-gasdynamic equations and numerical methods for viscous flow simulation. M., Scientific world, 2007.
- [4] T.G.Elizarova, M.V.Afanasieva. Regularizing shallow water equations. Bulletin of Moscow State University. № 1.
- [5] T.G.Elizarova, O.V.Bulatov. Computational modeling of flow of gas with quasi-hydrodynamic equations. Bulletin of Moscow State University. № 6.

Pulse discharge above the surface of water

Vaulin D.N, Kvas A.A

Department of Physical Electronic, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Pulsed high voltage electric discharges generated in the atmosphere between the two electrodes, one of which is placed above the surface of a weakly conducting liquid and the second in contact with it [1-4], can be effective for a range of technological applications: electrical discharge water purification, initiation of reactions in a liquid with the use of active particles formed in the gas phase, processing of solid electrode material, ignition of high-speed flows as gaseous and liquid hydrocarbons.

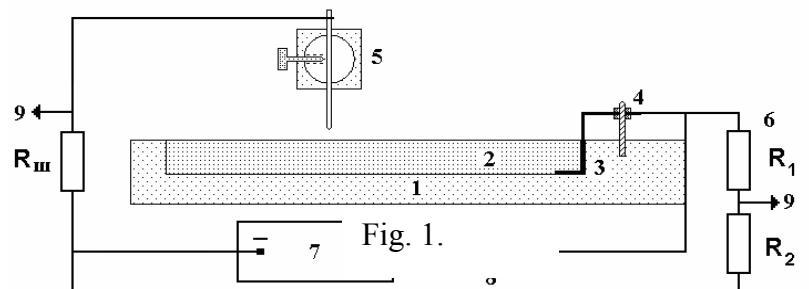
In this paper we present the results of experimental studies of modalities for implementing a pulsed discharge above the water surface and determination the characteristics of its distribution.

Device diagram where experiments were conducted on is shown (Fig. 1). Water poured into the dielectric cuvette, above which was located the high-voltage electrode in the form of a pointed rod.

The second electrode was placed in the water at the opposite wall of the cuvette. The discharge was created by high-voltage pulse generator, which works out quasi-square form of pulses of duration $\tau = (10 - 800)$ microseconds and amplitude $U_0 = (5 - 28)$ kV. Initial conditions were defined for existence of the discharge above the water surface: a falling current-voltage characteristic, the existence of the primary linear breakdown of the air gap and the presence of continuous electrical contact between the discharge and water.

It is shown that, depending on the initial conditions discharge can has both incomplete and complete character, in which he reaches the opposite electrode (Fig. 2). The maximum length of the discharge achieved in the experiments is 20 cm with a voltage impulse, 28 kV, which is more than an order of magnitude less than the voltage needed to establish the discharge of such length in the air gap.

Experimentally it was determined that the main characteristic of discharge propagation over water is a time and, consequently, the speed of its movement between the electrodes. The main dependence of this time from a wide range of initial conditions: pulse voltage, pulse width, the distance between the electrodes, the impedance of water, etc, - was determined.



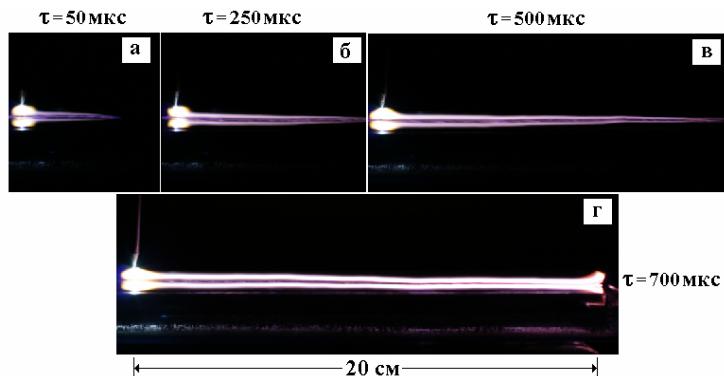


Fig. 2. unfinished and finished appearance of the discharge. $U_0 = 28 \text{ kV}$.

The various methods for determining the velocity of discharge of the water were considered. The results allow a more detailed study of the basic physical processes that determine the mechanism of discharge propagation over the surface of water or other weakly conducting fluid.

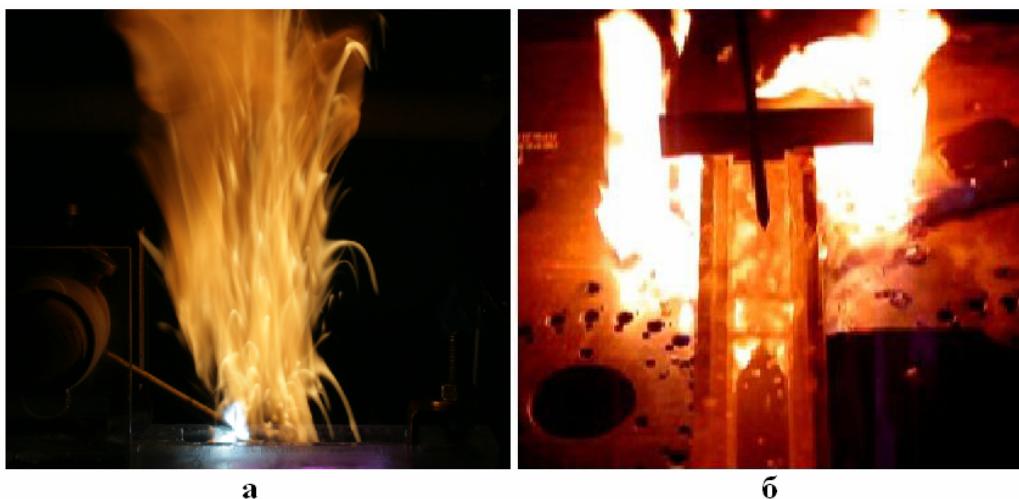


Fig. 3. Combustion of gasoline film initiated by a pulsed discharge: a - in the still air, b - in the flow at a speed of 20 m / sec.

The results of the study show the possibility of using a pulsed discharge above the water surface for the ignition of hydrocarbon films deposited on its surface (Fig. 3) are presented. It follows from experimental results that the addition of gasoline leads to a significant increase in the intensity of the discharge glow during the pulse. Combustion of fuel can occur in three stages after the pulse: pre-glow phase, the pause stage and phase self-combustion. Increasing mass of the added fuel leads to pause time decrease, after that the stage of self-burning begins immediately.

References

1. Belosheev V.P. // Thermal Physics Journal. 1998. v.68. part.7. p.44.
2. Shmelev V.M., Evt'uhov N.V. // Chemical Physics. 2004. v.23. №9. p.77.
3. Piskarev I.M., Rylova A.E. Sevastjanov A.I. // Electro Chemistry. 1966. v.32. №7. p.895
4. Gaisin A.F., Son E.E. // Thermal Physics of High Temperature. 2005. 2005. v.43. №1. p.5.

Role of chiral compounds in embryogenesis

Ivlieva A.A., Tverdislov V.A.

Faculty of Physics M.V. Lomonosov M.S.U, Chair of Biophysics

Embryogenesis is under the strict control of many reaction networks that provide for the embryo development. According to the hypothesis put forward by the authors the early stages of embryogenesis involve regulatory mechanisms closely related to the processes that gave rise to the origin of the living cells, namely, formation of the two fundamental asymmetries: cellular (ionic) and molecular (chiral).

It was established experimentally that the nonequilibrium surface of the (world) ocean has physical and chemical properties that provide for fractionation of ions, enantiomers of amino acids, and the bases of nucleic acids, as well as formation of closed lipid vesicles, i.e. the conditions under which spontaneous generation of the living cell predecessors seems feasible (V.A.Tverdislov, L.V.Jakovenko).

Chiral asymmetry constitutes the basis of the stereospecificity of biosynthesis, enzymatic catalysis, reception, hormonal regulation, immunity, resulting in the «chiral purity» of the biosphere.

Chiral asymmetry was fixed during the biological evolution by the use of only L-amino acids in the ribosomal synthesis of peptides and only D-(deoxy) ribose in nucleic acids

Aging of and pathologic processes in organisms are accompanied by spontaneous racemization of amino acids in proteins (mainly L-aspartate).

Ontogeny and phylogeny

Embryology is closely connected with the evolutionary theory, Darwin (1859 *) used characteristic lines of development of germs as one of evolution proofs. Haeckel (1866 *) has revealed a communication between embryology and phylogeny.

Organism formation in a racemic mother "broth" at the initial stages repeats stages of selection of ions and stereospecific chiral substances, which are characterized for formation protocells in the sea water. Certainly, it is a reproduction of stages, but not their biophysical mechanisms.

Chiral Regulation

Until recently it was considered, that the biosphere is homochiral and deals only with L-amino acids, but researches of last years notice presence of D-amino acids both in a free condition, and in structure of peptides, that can modulate their biological activity and can protect from proteases.

Racemation L/D amino acids at aging and atherosclerotic changes, Alzheimer's diseases and Parkinson's diseases, forms a positive feedback in system of regulation of processes of a metabolism.

Researches of last years have established, that D-amino acids are in a dynamic stream, themselves or as part of peptides takes part in neyrodifferentsirovka embryonic sheets (free D-aspartat is found in a considerable quantity in CNC and endocrine system - a hypophysis, a pineal gland, an adrenal gland...). Its concentration changes depending on bodies and a development stage in embryo.

D-Asp is a novel type of messenger synthesized by specific tissues and cells in the mammalian body. D-Asp is released from the cell after synthesis, and may act in an autocrine and paracrine manner. An example of such autocrine activity is that in the

anterior pituitary, prolactin-producing cells synthesize D-Asp that stimulates the secretion of more prolactin. In terms of paracrine activity, D-Asp secreted by seminiferous tubules stimulates Leydig cells in the interstitial space to increase testosterone production by activating StAR gene expression. Tissues such as the adrenal and pineal glands take up D-Asp synthesized elsewhere. D-Asp in the adrenal gland may modulate steroidogenesis? Comparable to its regulation of testosterone production in the testis. Similarly, D-Asp in the pineal gland may suppress melatonin secretion by pinealocytes. The brain contains D-Asp during embryonic development, but as yet, the functional significance of this is unclear. Notably, D-Asp is an agonist for the L-Glu receptor, which may be involved in the development and neurogenesis of the brain.

Available data specifies on key role of D-Asp in regulation of development of an organism during time embryogenesis and after a birth. There are bases to consider, that the similar scheme of regulation is one of primary, and its infringements are capable to lead to development of pathologies.

This new direction of researches is obviously important and perspective. It is planned to find out concentration dynamics amino structure of embryonic liquid at the first divisions of oocyte. The innovative prospect of research consists in working out of a technique, which consists in selection of an effective parity of amino acids and their enantiomers for therapy of pathological changes in embryogenesis.

REFERENCES

1. V.A. Tverdislov, A.A. Zhavoronkov, L.V. Yakovenko.
The hiral purity of biosphere and ecological safety// Ecology, 2007. №1, p. 6-11.
2. Biol Pharm Bull. 2005 Sep;28(9):1566-70 Free D-aspartate in mammals.
Furuchi T, Homma H. Laboratory of Biomolecular Science, School of
Pharmaceutical Sciences, Kitasato University, Tokyo, Japan.

PROSPECTIVE PLASMA AND ION BEAM NANOTECHNOLOGIES. PLASMA SOURCES. FACILITIES.

Alexandrov A.F., Kralkina E.A., Pavlov V.B., Vavilin K.V.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

During last decades the tendency became evident to utilize plasma based technologies in industry. This is related first to wide spectrum of plasma technologies possibilities and second to the increase of the ecological requirements to industrial processes.

The fundamental investigations in the field of plasma physics and chemistry as well as in the field of micro- and nanoelectronics are carried out traditionally at the chair of physical electronics of physical faculty of MSU. The level of the obtained results can be approached as high as the best results obtained in the other labs of the leading universities and research institutes. The basic results obtained at the chair are used for the development of the original prototypes of the plasma sources, plasma, ion-beam and nano-technologies. To present time the basic developments of the chair are energy efficient families of the plasma and ion sources, operating at low pressure, the family of the plasma devices operating at atmospheric pressure, surface modification technology leading to the significant improvement of the adhesion, plasma polymerisation technology providing the possibility to deposit coatings with nano structure.

The result of fluoroplastic adhesion improvement using ion beam, low and atmospheric pressure technologies is shown on Fig.1. One can see that utilization of vacuum technologies allows to increase fluoroplastic adhesion more than 10 times. More cheap treatment of fluoroplastic in RF discharge at atmospheric pressure provides the 4-5 times increase of adhesion.

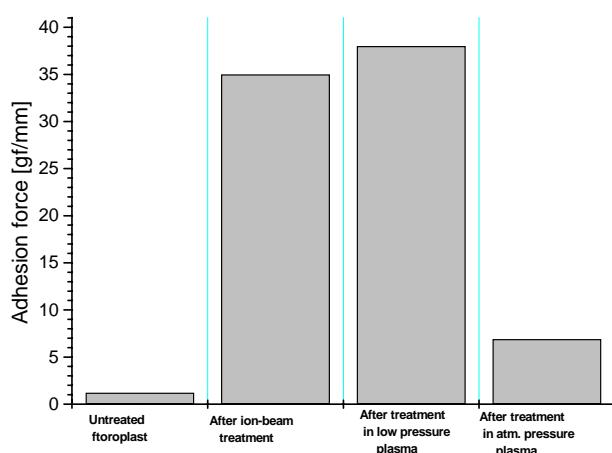
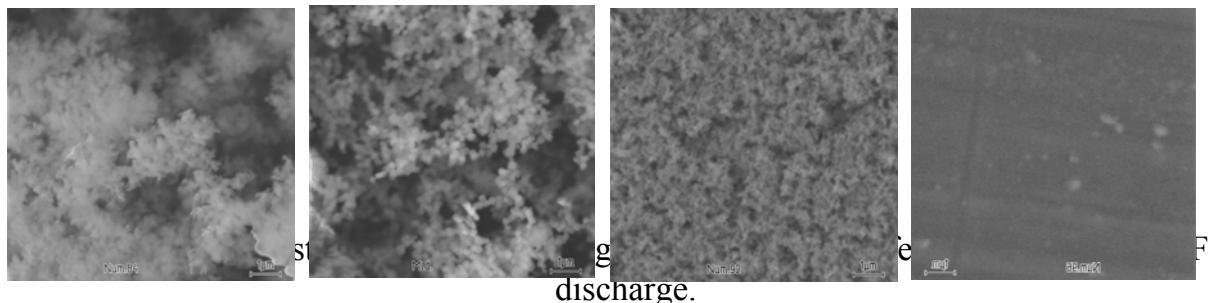


Рис.1. The diagram of the fluoroplastic increase of adhesion after treatment in ion beam, low and atmospheric pressure technologies.

Fig.2 represents the structure of the coating deposited at the different conditions of operation of the original plasma reactor filled by acetylene-nitrogen mixture.



The technical documentation for vacuum facilities necessary for industrial utilization of technologies is developed at the chair of physical electronics as well.

New nanocomposite and nanofilm materials

Khomutov G.B.

Faculty of Physics, Moscow State University
gbk@phys.msu.ru

The project is directed to the development of scientific and methodical base of economically efficient and ecologically rational technologies for creation of new functional nanostructured materials with predetermined properties for use in modern high technologies. The project is based on the results of fundamental studies of interrelations between chemical composition, structural organization, the features of physical and chemical interactions at the nano-scale and physical-chemical properties of nanosystems and nanomaterials of various nature including biogenic, synthetic and hybrid nanosystems. In frames of the project we search for the possibilities for practical applications of the data obtained and for the creation of innovation products (intellectual property).

We develop the scientific and methodical base for united technological platform for production of new functional nanofilm materials and nanocomposites containing nanophase noble and transition metals, based on general principles of materials formation by combining and integration of a number of synthetic and physical-chemical methods and approaches (monolayer technique, physical and chemical adsorption, layer-by-layer formation of multilayer structures, polycomplex formation, chemical binding, competitive interactions, ligands exchange and substitution, self-assembly and self-organization) and nano-components of various nature. The important point of the work is the study of self-assembly and self-organization processes in those systems and elucidation of possibilities for control of these processes with the aim of their use for development of effective technological solutions resulting in the economically and ecologically rational fabrication of new nanofilm and nanocomposite materials, and nanosystems by relatively simple methods without the use of high or low temperatures, high vacuum, high pressures or high applied fields.

With the use of the developed methods we have prepared new ordered inorganic, organic, hybrid organic-inorganic, bio-inorganic, bio-polymer, composite nanobiomaterials and nanosystems of various dimensions including nanofilm composite materials with unique structural and functional characteristics.

The developed materials and methods can be used for fabrication of metal-containing nanocomposite nanostructured materials, metallopolymers, for development of functional elements in electronics (in particular, in technologies of creation of novel elements of nanoelectronic systems in information storage and processing devices based on the floating gate transistors, in “plastic” electronics systems as a metallic “ink” for preparation of metallic conductors and connectors on various flexible surfaces, in photoelectric elements and collectors, solar batteries, accumulators and current sources, in technologies for fabrication of materials and coatings with specific properties (optical, mechanical, chemical, thermal, electrical, absorbance of radiation, bioactivity etc.), for development of novel nanostructured

catalytic systems (in particular, in technologies for production of bio-fuel by catalytic processing of waste of woodworking industry and renewable sources of organic and biogenic materials, and also in technologies of oil and oil products processing via liquid-phase low temperature oxidative catalytic cracking), and functional nanocomposites. The approaches to creation of new magnetic absorbents and systems for directed transport of micron, submicron and molecular objects in a liquid phase have been developed. Those approaches are useful for new magnetic separation technologies, for catalytic technologies, for formation of coatings and modifiers of various surfaces including colloid particles surfaces (in particular, bacteria), threads and fibers (creation of textiles and materials with special properties. The developed methods can be also used for preparation of new biocatalytic systems, biosensors, ultrafine functional, modifying and protective films and coatings on various surfaces including bio-active (bactericidal and sterilize) and biocompatible nanofilm materials and coatings, in bio-medical and other industrial applications.

Intellectual property:

1. Khomutov G.B., Gubin S.P., The method for preparation of nanoparticles and materials containing nanoparticles, Patent RU 2233791, publication date 20.01.2004.
2. Gubin S.P., Kislov V.V., Rakhnyanskaya A.A., Sergeev-Cherenkov A.N., Soldatov E.S., Trifonov A.S., Chernicko D.I., Khomutov G.B., The method for preparation of thin-film nanocomposite coating on solid substrate, Patent RU 2324643, publication date 20.05.2008.
3. Dementiev A.A., Semenov A.Yu., Tikhonov A.N., Khomutov G.B., Thin-film materials containing functional components, and method for their preparation, Patent RU 2326898, publication date 20.06.2008.
4. Khomutov G.B., Koksharov Yu.A., Kislov V.V., Taranov I.V., Thin-film material and the method for preparation of thin-film material, Patent RU 2336941, publication date 27.10.2008.
5. Khomutov G.B., Koksharov Yu.A., Kislov V.V., Taranov I.V., Thin-film material and a method for the production, Patent PCT WO/2008/105681, Publication date 04.09.2008.
6. Khomutov G.B., Organic-inorganic nanostructures and materials containing noble metal nanoparticles, and methods for their production, Patent RU 2364472, publication date 20.08.2009.

Diagnostics of InGaN/GaN/AlGaN heterostructures by electroreflectance and electroluminescence

¹Avakyants L.P., ¹Bokov P.Yu., ¹Chervyakov A.V., ¹Chuyas A.V., ¹Yunovich A.E., ²Bauman D.A., ²Vasileva E.D., ²Yavich B.S.

¹Physics department, Lomonosov Moscow State University

²JSC «Svetlana-Optoelectronica», Saint-Petersburg
pavel_bokov@rambler.ru

The results of electroreflectance and electroluminescence studying of light-emitting diodes based on AlGaN/GaN/InGaN heterostructures have been presented.

Crystals of light-emitting diodes with InGaN/AlGaN/GaN p-n- heterostructures were grown by metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) on a sapphire substrate (Al_2O_3) and «flip-chip» mounted in the heat-think. On a substrate were consistently grown a buffer layer i-GaN (a thickness < 500 nm); buffer superlattice InGaN/GaN and a layer n-GaN (a thickness 3.5 mkm); 5 quantum wells $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ (active region, $x = 0.13 - 0.15$, thickness of quantum wells of 3 nm, barriers of 12 nm); an electron blocking layer p-AlGaN (a thickness of 20 nm); and a layer p-GaN (a thickness of 110 nm). The reflecting mirror was done on the p-region.

In the case of electroreflectance spectroscopy the heterostructure was lighted through transparent in an optical range a sapphire substrate. The angle of incidence of probe radiation on a light-emitting diode crystal was 8° . The spectral resolution of is typically 1 meV. Modulation of reflection was carried out by the application to light-emitting diode contacts of periodic voltage in the form of rectangular pulses with filling factor of 2 and fixed bias at which p-n- junction remained closed (from -7 to +2 V). Modulation frequency was 370 Hz.

In electroreflectance spectra of investigated samples are shown interference fringes with different periods. As a result of spectra processing with regard to dispersivity in GaN characteristic layer thickness in which the interference is observed are estimated: 4.5 mkm, 500 nm, 200 nm. To the first value it correspond thickness of all heterostructure without substrate, to the second value – thickness of buffer layer i-GaN, to the third –region including multiple quantum wells and p-AlGaN, p-GaN layers. Occurrence in electroreflectance spectra interference fringes from i-GaN layer and from quantum wells region with p-AlGaN, p-GaN layers is apparently connected with relatively large reflection factor from active region of heterostructure. Periodic shielding of piezoelectric fields in this region with modulation leads to occurrence of interference signal in electroreflectance spectra.

We investigated influence of doping of InGaN buffer superlattice in InGaN/AlGaN/GaN heterostructures on voltage-current characteristic, efficiency and electroluminescence spectra of light-emitting diodes. It is revealed that the increasing

the number of periods and concentration reduction of dopant in the buffer superlattice leads to shift of a spectra maximum to long-wave region (440 \div 460 nm), to more appreciable position of maximum dependence on current and to occurrence in spectra low-intensity short-wave band with a maximum at 3.03 eV. Probably it is observed greater quasi-Fermi level shift and a part of nonequilibrium carriers recombine on acceptor Mg in p-region.

The influence of dopant concentration and thickness of p-AlGaN barrier and p-GaN contact layer on voltage-current characteristic, efficiency and electroluminescence spectra of light-emitting diodes have been studied. It is revealed that position of maxima in electroluminescence spectra of light-emitting diodes changes with concentration of acceptors Mg nonmonotonically. Efficiency of light-emitting diodes grows with the increasing the acceptors concentration.

The influence of distance variation from buffer superlattice to active region and number of quantum wells (1 or 2) in active region on voltage-current characteristic, efficiency and electroluminescence spectra of light-emitting diodes have been studied. Position of main spectral maximum was changed within 2,719 – 2,707 eV (458 – 455 nm) and for average distance from buffer superlattice has minimal energy. It is shown that in spectra of samples with one quantum well with increasing the current up to 100 mA band in high-energy region is occurred, $\lambda_{max2} = 3.099 – 3.01$ eV. In these limits λ_{max2} position was shifted to short-wave region with the increasing the distance to buffer superlattice. In samples with two quantum wells band intensity was less. It is possible to explain it if to consider that high-energy band corresponds to recombination in p-GaN arrier where electron overflow at high current density after filling of quantum wells. Through two quantum wells this leakage at given current density is less.

In all samples interference modulation in electroluminescence spectra has relative amplitude less than 0.023. This is due to the technology of structures creation the rough surface at the border GaN with sapphire substrate has been made.

The information about position of multiple quantum wells region in relation to cavity mirror of heterostructure is virtually important and allows to control quality of made cavity have been obtained. Maximum radiation efficiency of light-emitting diodes with the increasing the current up to 100 mA is reached at short distance from buffer superlattice to the active region.

This work is performed with assistance of grant of the President of the Russian Federation №612.2008.2.

The method of diagnosis, accompanying the modification of the surface of piezoelectric quartz sensor

¹Aljoshin J.K, ²Choba M.A.

¹ Physics department, Lomonosov Moscow State University

² Chemical department, Lomonosov Moscow State University

Quartz microscales – the measuring autogenerating devices intended for transformation of changes of mass, attached to a surface of quartz piezoelectric resonators, to increments of the output frequency of the oscillator. Main advantages of quartz microscales are the following: a/ resolution of mass sensitive sensors reaches 10^{-11} g, b/ universality; the microweighting method allows to measure a whole number of parameters: thickness of films, structure of gas mixes, concentration of microimpurity, oxidising stability, etc., c/ working capacity in a wide range, d/ small dimensions, high shock, vibration, chemicals and radiation resistance, e/ homeostasis conditions are not violated (highly important in chemical substances concentration measurement), f/ low cost and availability.

The horizon of this sensor usage tightens while increasing the number of layers. For example, for a sensor with base frequency 10 MHz the maximum deviation of frequency amounts 180 kHz what limits a range of measurement of the attached mass. The creation of ovalbumin sensitive sensor is described in the following example. The original technique of coverings, which have got active chemical centers reacting with strictly specified individual molecules on them, was used. Layers in such sensors are connected with strong chemical bonds. In the following research the task to widen the sensor working diapason by optimization of multilayer covering drawing process was set. The continuous control over this process was implemented by measurement of frequency deviations during the chemical reaction of serial layers drawing on surface of piezosensor electrode.

The sensitivity of the given sensor (taking into account the surface area of quartz piezoelectric resonators) amounted 0.78ng/Hz.

Using this technique, the following result was reached: the maximum mass which can be measured in the given conditions amounts 25 mkg for this sensor.

Polymeric Nanocomposite Solar Cells

Gromchenko A.A.

International Laser Center of Moscow State University

Until recently, the development of solar energetics has been essentially related to inorganic semiconductors, in particular silicon. Nevertheless, the large production costs leaving silicon solar cells as poor competitors against traditional energy sources. To extend the solar cells area new photovoltaic (PV) materials and technology for generation competitive devices are required.

Organic semiconductors, such as conjugated polymers, are considered as a source of these new PV materials. They combine controllable semiconductor properties (band gap, high optical absorption coefficient etc.) with attractive polymeric properties (ease of fabrication and manipulation, flexibility and low cost). Recently it was shown that organic structures based on nanocomposite of a conjugated polymer with a fullerene could be perspective materials for solar cells.

For polymer/fullerene solar cells with the active layer thickness less than 200 nm, power conversion efficiencies of 4-6% have been reported. It is believed that the efficiency of 5% is enough to start the scale commercialization, because polymers endow solar cells with new properties – flexibility, low weight, translucency and low cost.

The main problem in the organic solar cells area is the creation an active layer that could provide a maximum possible efficiency. One of the most successful and well investigated active layer with the efficiency of more than 4% consists of a composite of a poly(3-hexylthiophene) (P3HT) with a soluble methanofullerene C₆₀ (PCBM). On the other hand, the theoretical limit for this active layer doesn't exceed 5%, so for effective solar cells one needs new PV materials, particularly new fullerene derivatives.

Exohedral complexes or fullerenes with metals (CFM) could serve as perspective fullerene derivatives. First of all, a metal ion addition to the fullerene skeleton leads to the electron affinity reduction as compared with initial fullerene. Secondly, CFM could have considerably high absorption in visible spectral region in comparison with initial fullerenes. This can provide higher values of an open circuit voltage and a short-circuit current and, therefore, increase the efficiency of solar cells.

This work is devoted to the investigation of photoelectric characteristics of solar cells based on nanocomposites of conjugated polymers with CFM and also to measuring a drift charge carrier mobility in CFM films.

During the work a fabrication technique of polymeric nanocomposite solar cells prototypes was developed. To develop the fabrication technique solar cells based on well investigated nanocomposite of a conjugated polymer P3HT with a fullerene derivative [6,6]-phenyl-C₆₁-butyric acid methyl ester (PCBM) were made. Samples had a multilayer structure. An intermediate layer of polymer poly(3,4-ethylenedioxy thiophene)/poly(styrene sulfonate) PEDOT:PSS with thickness about 30 nm was coated onto the transparent substrate covered with a conductive layer of indium tin oxide (ITO); next an active layer of investigated substance was coated and then a CaAl top contact was evaporated. The sample fabrication technique requires the careful

preparation of substrate's surface for coating of the nanocomposite layer and also requires the optimization of top and bottom electrodes coating conditions. Using this technique solar cells samples with the efficiency of 4% were made, which is comparable value with the best P3HT/PCBM cells.

The drift electron mobility in films of CFM (η^2 -C₆₀)IrH(CO)(DIOP) (IrC₆₀), (η^2 -C₆₀)Os(CO)(tBuNC)(PPh₃)₂ (OsC₆₀), (η^2 -C₇₀)Os(CO)(tBuNC)(PPh₃)₂ (OsC₇₀), (η^2 -C₇₀)[Os(CO)(tBuNC)(PPh₃)₂]₂ (diOsC₇₀) and C₆₀[IrH(CO)(PPh₃)₂]₂ (diIrC₆₀), synthesized in Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds Russian Academy of Sciences by Yu.N. Novikov's group was measured. Also photoelectric properties of nanocomposite solar cells of conjugated polymer P3HT with CFM were investigated.

The best electron mobility among studied CFM (5×10^{-4} cm/V·s) was observed in films of the CFM IrC₆₀. This value allows one to use IrC₆₀ in polymer/fullerene PV cells. Next solar cells based on CFM were made and their current-voltage characteristics and photocurrent spectra were investigated. The open circuit voltage for P3HT/IrC₆₀ solar cell was 0.15 V higher than one of the reference cell P3HT/PCBM. But efficiency of P3HT/IrC₆₀ cell was considerably low (0.86%) because of low values of the short-circuit current and the fill factor. Probably photocurrents in P3HT/IrC₆₀ cells could be lower than in reference samples because of nonoptimal morphology of an active layer. For CFM-based cells the well-tested preparation technique for P3HT/PCBM was used. But it is known that the solubility and the mobility in CFM are lower than in PCBM, so probably the optimal preparation technique should be different.

Thus, a technique of polymeric solar cells fabrication was developed for glass and flexible substrates which permit one to get P3HT/PCBM nanocomposite solar cells with characteristics equal to the world's best samples. The possibility of use CFM in polymeric solar cells was considered. The high values of the electron mobility in films of CFM and of the open circuit voltage in CFM-based solar cells shows the availability of CFM for further study to increase the polymer/fullerene solar cells efficiency.

Nonlinear optical spectroscopic diagnostics of molecular media phase transitions in nanopores and determination of parameters of nanoporous material

Arakcheev V.G., Valeev A.A.

International Laser Center of Lomonosov Moscow State University

The range of nanoporous materials applications in chemical industry and medicine permanently grows due to their unique properties. Nowadays, solid nanoporous materials are used in great number of technological and scientific applications connected with catalysis, extraction, ion-exchange, creation of bio-sensors and some other. There is a number of modern promising applications of nanoporous materials, among which there is an idea of creating of drugs with prolonged action. The usage of solid nanoporous materials is often connected with filling pores with some molecular media that can be an agent of chemical reaction or have transport function on delivering of some dissolved components inside nanopores. Physico-chemical properties of molecular media, such as dissolving power, viscosity, compressibility play an essential role in such processes and significantly depend on phase state of media. Conditions of nano-confinement and effective interaction with pores walls appreciably affect molecular media phase behavior in nanopores. Therefore, the description of molecular media phase behavior under nanoporous confinement is an important problem from both fundamental and practical point of view.

Traditionally, statistic methods are used for diagnostics of molecular media phase behavior in nanopores. These methods are based on measurements of total mass in pores volume and adsorbed mass, and also external pressure. Statistic methods allow to fulfill only mediate diagnostics, they are effective if time of phase equilibrium achieving is quite short. However, in accordance with recent works this time can be extremely large that makes measurements impossible. Development of experimental methods of direct diagnostics of molecular media phase behavior under nanoporous confinement is nowadays an important and principled problem.

In present work coherent anti-Stokes Raman spectroscopy (CARS) was used for diagnostics of molecular media phase behavior in nanopores. Diagnostics was based on behavior of molecular spectra that significantly differ for different phase states. In present approach source of signal is exactly media in nanopores that allows to fulfill direct diagnostics. High spectral resolution of CARS allows to identify each phase in case of simultaneous presence of different phases. High spacial resolution allows to fulfill diagnostics in local volumes inside three-dimensional nanoporous samples. High temporal resolution allows to define slow dynamics of phase equilibrium achieving in the volume of three-dimensional nanoporous sample.

Molecular media phase behavior in nanopores is defined by parameters of nanoporous structure. Pressure value at which molecular media turns into condensed state is mainly defined by shape and diameter of pores. Time of phase equilibrium achieving in the volume of three-dimensional nanoporous sample essentially depends on degree of pores interconnection. Internal surface area defines quantity of adsorbate. Presented approach based on CARS-spectroscopy allows to define conditions of transitions and so can be used for determination of parameters of nanoporous structures.

Development of an Atomic-Force Microscope with the Novel Accuracy Improved by Using Onboard Block for Molecular Level Computer Simulations of the Experimental Samples

Godsie M.G.

Maxim G Godsie Registered Sole Trader

Atomic-force microscopy (AFM) is one of the most popular high-resolution techniques which allow nanoscale visualization of adsorbed objects. Information, which can be obtained by this method, is not only an artwork, but it also can be used to analyze some physical properties of adsorbed biopolymer surface, to determine adsorption parameters, to observe the interaction processes of biopolymers.

Though AFM technique is very sensitive, accessible and flexible, it fails in detailed visualization of biological objects which is so wanted for bionanotechnology and medicine purposes. Here we list several technical issues, which are producing experimental errors, reducing the AFM resolution to dozens of nanometers:

- Investigated biological nanoobjects often are single biopolymer molecules with average size less than or equal to tip edge size.
- Interactions between tip and sample parts can lead to sticking the sample and tip edge molecules together, affecting the data distortion.
- Impossibility of obtaining pure sample of biological nanoobjects requires the filtration of AFM-images to prevent the interpretation of visualized foreign objects.
- Even dry biological samples could be deformed during the scan routine that's why the visualized object size could differ from the original.

During the last few years there were made some attempts to overcome these issues by either additional processing of the tip position and force signals or extra procedures of tip cleaning. As a result an experimental technique and the whole device became more complicated. That provides abilities to discover certainly doubtful areas of scanning, but no significant improvements in object's detailed elaboration were obtained.

Our research group suggested novel approach which allows applying the latest achievements of computer simulation methods in molecular modeling to raise the AFM to fundamentally new level making it possible to explore some biological objects with the nanometer resolution.

By building the world's first computer simulation of tip scanning which represents tip atoms movements corresponding to different scanning modes and considers all the atomic interactions between the tip and the wafer or sample surface, we achieved an ability to filter, justify and purify the experimental data. The filtration algorithm is based on the comparison of experimental scanning raw data and the data obtained by computer modeled scanning of molecular complexes under consideration them adsorbed to the atomic wafer model during preliminary processed molecular-dynamical computer simulation.

Computer simulation of tips and environment in atomic scale approach is also assumed to be used for construction and calibration of biosensors.

Based on the achieved results Maxim G. Godsie Sole Trader researching group is developing the world's first model of atomic-force microscope with the built in hardware supercomputer block for modeling experimental sample, tip and solvent environment. This innovation will provide industrial and research laboratories with a chip and accessible tool for advanced analysis of adsorbed biological objects with the tens of angstroms resolution.

NOVEL MATERIAL - SINGLE WALLED GETEROPHASE CARBON BORON NITRIDE NANOTUBES SYNTHESIZED BY CHEMICAL VAPOR DEPOSITION

^{1,2}Grebnyukov V.V., ²Arutyunyan N.R., ^{1,2}Obraztsova E.D., ²Tonkikh A.A.

¹Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

²Prokhorov General Physics Institute

Nanostructure based composites are currently of a great interest for diverse practical applications. Single walled carbon nanotubes (carbon SWNTs) are one of the most promising nanostructures for use in such composites. Their popularity is based on their ability to have different band gap depending on the geometric parameters – namely diameter and chirality. The band gap can vary from 0 to 1,4 eV thus allowing carbon SWNTs to exhibit either metallic or semiconducting electronic properties.

The main problem one experiences when working with carbon SWNT is the stochastic behavior of their diameter, chirality and consequently electronic properties distribution in any as-synthesized sample. This problem is currently solved by either separating carbon SWNTs by their diameter utilizing density gradient ultracentrifugation technique[1], or by doping them with various atoms. Doping also allows extension of the band gap beyond 1,4 eV, which cannot be achieved by using pristine carbon SWNTs.

Regardless of the carbon SWNT preparation technique the yield of usable carbon nanotube material is reduced, the complexity of such treatment and hence the cost of the end product is increased.

Synthesis of single walled heterophase carbon boron nitride nanotubes (BNC-nanotubes) can be an alternative to the complicated treatment of carbon SWNTs. Boron nitride in hexagonal form has similar to graphite crystalline stricture with close geometric parameters. It can also form nanotubes, which are semiconductors with the band gap of 5,5 eV regardless of diameter or chirality. Due to similarity of crystalline structures it is predicted that the formation of hybrid nanotubes formed from “patches” of carbon (C) and boron nitride (BN) lattices is possible. It is expected [2] that electronic properties of such hybrid nanostructures will only depend on their C:BN ratio and not on their geometric parameters. This will allow the control of nanotubes properties on the stage of synthesis.

Such nanostructures were already synthesized in small quantities by laser ablation [3] and arc discharge [4] techniques. In this project the chemical vapor deposition (CVD) technique will be used. This technique is successfully used for carbon SWNT synthesis [5]. Compared to other techniques it offers better scalability, high purity of the synthesized material (up to 99% and possibly higher), simplicity of realization and the ability to grow nanotubes on required surfaces by pattern. Therefore this technique is the most suited for mass production.

- [1] A. I. Chernov and E. D. Obraztsova. "Density Gradient Ultracentrifugation of Arc Produced Single-Wall Carbon Nanotubes" // J. Nanoelectron. Optoelectron. 4, 224-226 (2009)
- [2] Tomoaki Yoshioka, Hidekatsu Suzuura, and Tsuneya Ando. "Electronic States of BCN Alloy Nanotubes in a Simple Tight-Binding Model" // J. Phys. Soc. Jpn. 72, 2003, pp. 2656-2664.
- [3] A. Loiseau, S. Enouz, et al. // Proceeding of XXth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Kirchberg (Austria), 2006, p. 110.
- [4] N.R. Arutyunyan, V.V. Grebenyukov, E.D. Obraztsova, A.S. Pozharov, E.P. Kharitonova, P. Jaffrenou, B. Attal-Tretou, A. Loiseau. "Complex study of single-wall nanotubes synthesized from C:BN mixtures" // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures 2008, pp. 368-373.
- [5] F.V. Golikov, A.S. Pozharov, E.D. Obraztsova, N.R. Arutyunyan, S.V. Terekhov, A.I. Chernov, V.I. Konov, L.D. Iskhakova, A.S. Lobach. "Synthesis and Characterization of Single-Wall Carbon Nanotubes Grown by Chemical Deposition of Ethanol Vapor" // Advances in Science and Technology Vol. 48 (2006) pp. 31-36

Research and development of a new type high-speed acousto-optic modulator for fiber-optic communication lines

Balakshy V.I.¹, Voloshinov V.B.¹, Solodovnikov V.V.²

¹ Physics department, Lomonosov Moscow State University

² IPG Group GmbH, Germany

Light diffraction by ultrasound (acousto-optic interaction) is nowadays one of basic effects that are applied for optical radiation controlling. Such instruments of acousto-optics as modulators, deflectors and filters are produced by many world-wide firms and used broadly not only in laser physics and optoelectronics, but also in ecology, medicine, and military science. This fact is determined by their wide functional potentialities, high speed operation, small driving voltage, high reliability and simple design [1-3].

Unfortunately, all these instruments function normally only when the incident optical radiation is polarized as one of eigenmodes of a crystal used in the device (i.e. linear or elliptical one). The reason lies in acousto-optic anisotropy of the medium: the acousto-optic figure of merit M defining diffraction efficiency has different magnitudes for different optical eigenmodes. Thus, to provide normal operation of an acousto-optic device, it is necessary to place a polarizer at its input. However, this leads to half optical power loss in the case of unpolarized optical radiation. Every so often this situation is absolutely inadmissible.

The problem of nonpolarized light controlling is currently very urgent; it faces in acousto-optics from the sixties of the last century. The simplest solution assumes the usage of lead molybdate ($PbMoO_4$) crystal. This crystal has a unique cut which demonstrates equal values of figure of merit M for both optical eigenmodes. However, this cut is characterized by a relatively small magnitude M . Besides, the effect is achieved at so called isotropic diffraction which does not allow creating devices with good parameters. Another solution consists in the application of two crossed acousto-optic cells disposed in series or in splitting the incident optical beam into two beams with orthogonal polarizations and then their bringing together at the output cell. These methods have a number of disadvantages, such as complicated construction, hard adjustment of the system, low reliability, increase of driving power, etc.

A serious problem more, typical for all acousto-optic devices, is their high cost – several thousands per one modulating cell. The high value is caused by a complicated technological process and by the necessity of hand work of high-skilled opticians at acousto-optic cells fabrication. The high cost of acousto-optical instruments is a serious obstacle for their wider use in industry, medicine, consumer equipment, etc.

The present project has a main goal in researching and developing acousto-optic devices with a new technology of volume acoustic wave excitation on the basis of the proper piezoelectric effect of the acousto-optic crystal. This will allow managing without a plate transducer presently employed, whose making determines in the first place the high cost of acousto-optic cells. At the present time, the most suitable for this purpose crystal is lithium niobate ($LiNbO_3$) which has good acousto-optic properties and distinguishes itself with extremely strong piezoelectric effect [4].

A concrete problem solved in the frames of the project consists in development and experimental realization of an acousto-optic modulator for $1.06 \mu\text{m}$ ytterbium

fiber laser intended for operation in fiber-optic communication lines. Since such a laser generates nonpolarized radiation, main efforts at the first stage of the work were directed to searching such a crystal lithium niobate cut that has first near magnitudes of the figure of merit M for both optical eigenmode polarization and second provides high diffraction efficiency (no less than 90%) at moderate level of consumed power. A detailed calculation of acoustic and acousto-optic characteristics of lithium niobate crystal has made it possible to find crystal cuts prospective for fabricating the modulator with specified characteristics: modulator rise time – 0.1 μ s, consumed power – less than 2 W, frequency range – 200-250 MHz. It should be noticed that these characteristics are not limiting. Lithium niobate is remarkable for uniquely low ultrasound absorption. This feature permits its application at frequencies up to several gigaherzs. The calculation of an ultrasound excitation system has given rather optimistic results as well: an optimal construction of the exciting electrodes allows reaching the conversion efficiency of the input electrical power into the acoustic one as great as 50%.

The work is being fulfilled with joint efforts of two scientific groups from the Acousto-Optics Laboratory at Physics Department of M.V.Lomonosov Moscow State University (Division of Oscillations Physics) and Russian Branch of the corporation IPG Group GmbH (Germany). At present, the research is on the stage of prototyping the light modulator designed on the basis of the fulfilled calculations.

1. Balakshy V.I., Parygin V.N., Chirkov L.E. *Physical principles of acousto-optics*. – M.: Radio i Svyaz, 1985.
2. Xu J., Stroud R. *Acousto-optic devices*. – N.Y.: Wiley, 1992.
3. *Design and fabrication of acousto-optic devices*. / Ed. A.P. Goutzoulis and D.R. Pape. – N.Y.: Marcel Dekker, 1994.
4. *Acoustic crystals*. Hand-book. / Ed. M.P.Shaskolskaya. – M.: Nauka, 1982.

Hi-Speed measurements of the wavefront

Iroshnikov N.G.

Physcis faculty, Lomonosov Moscow State University

Brief description

Performance of the Shack-Hartmann wavefront sensors is greatly affected by the quality of the lenslet array. We have developed and patented a new manufacturing technology, which guarantees perfect quality of the lenslet matrix. The matrix is both- side coated to prevent glare.

Another advantage of the wavefront sensors Shah is an optimized processing algorithm, which permits achieving more than 1000 Hz real-time processing rate with the use of standard PC.

Due to assembler-level coding and GPU intensive use, wavefront data are calculated and displayed on the grid of 512x512 points with 500 Hz frequency rate. This regime is suitable for controlling of modern LCOS wavefront correctors. Series of Shah wavefront sensors consists of several models, from relatively cheap ShaH 0620, which can be used for training or evaluating purposes, and to topmost hi-speed ShaH-03500. The latter uses a backilluminated CCD sensor with electronic gain and cooling system down to -100°C.

Application in : astronomy, telemetry, adaptive optics.



Fig. 1: Hi-speed wavefront sensor ShaH-03500.

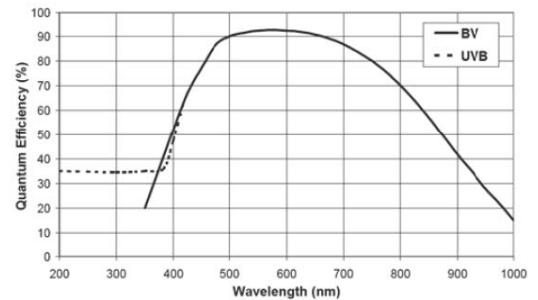


Fig. 2: Spectral curve of ShaH-03500.

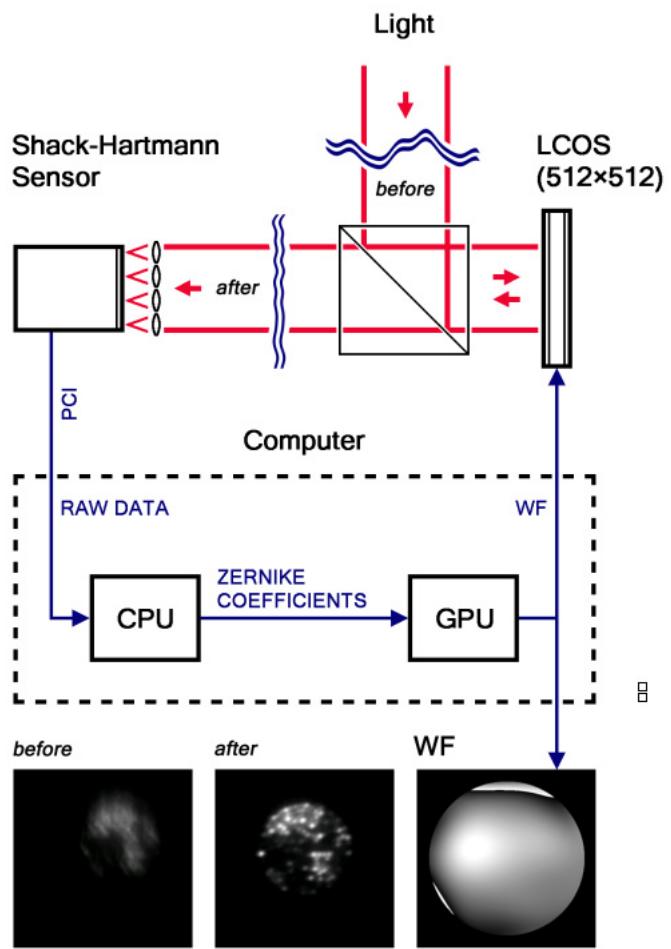


Fig 3: A schematic of an adaptive optical system, based on the hi-speed wavefront sensor ShaH-03500.

Contacts:

Iroshnikov Nikita, +7 495 939-48-37, nikita@optics.ru.

Electric field control of micromagnetic structure as a principle of energy-conscious memory

Pyatakov A.P., Meshkov G.A.; Sechin D.A.; Sergeev A.S.;
Nikolaeva E.P.; Nikolaev A.V.; Logginov A.S.

Physics department, Lomonosov Moscow State University

Magnetic random access memory (MRAM) is considered now as a new generation of universal storage devices that combine the advantages of semiconductor random access memory (high performance) and permanent magnetic one (nonvolatility). However the problem of energy saving in such devices is not completely solved. In MRAM prototypes the writing of information implies usage of electric currents of high density $10^6\text{-}10^7\text{A/cm}^2$ that leads to considerable energy losses and device degradation due to overheating and electromigration.

We propose another solution for the magnetic recording based on the effect of electric field induced micromagnetic structure transformation that was discovered in our group [2] which does not imply large current density.

Schematic illustration of the experimental setup is shown in figure 1 a). Electric field is generated in the magnetic film by applying voltage between the tip electrode 1 and ground contact 2. The micromagnetic configuration in the iron-garnet film is shown (two domains divided by domain wall). The electric field driven domain wall motion in the vicinity of the tip electrode was observed (fig. 1 b). Applying positive potential to the tip results in attraction of the domain wall to the tip 1 (left position marked in red), with the negative potential the domain wall repel from the tip (right position marked in blue). When the voltage is switched off the domain wall comes back to the initial position (dashed line). First experiments with strip-line conductors (fig 1 c) deposited on the film confirm the existence of the effect.

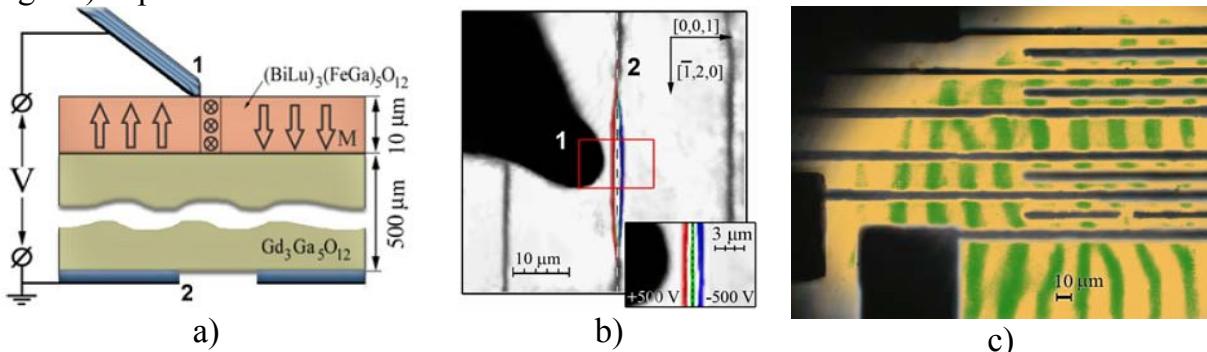


Fig. 1 a) Schematic representation of the experiment: 1 is tip electrode, 2 is the ground electrode b) the displacement of the domain wall under the influence of the electric field: 1 is the image of the tip, 2 is magnetooptical image of the domain wall in iron garnet film c) is optical photomicrograph of the electrodes deposited on the magnetic film, the background is the domain structure.

Comparison of the results of measurements in pulse electric field with their analogues in pulse magnetic field gives us the quantitative measure of the effect: the voltage 500 V (i.e. the electric field 1 MV/cm) creates the effect similar to the one of 50 Oe magnetic field [2]. Not always the transformation of micromagnetic structure

had a reversible character: if the modified state was more stable than the initial one the domain walls would remain in the new position [3]. The irreversible effect serves as a prototypical example of the electric writing/magnetic reading memory.

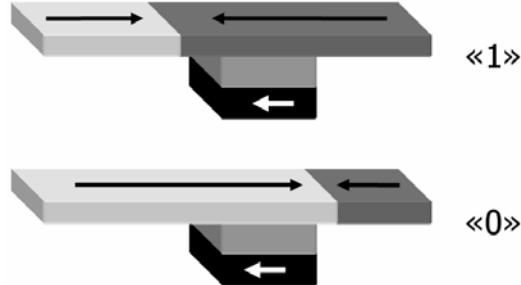


Fig.2. The conceptual design of memory cell with moving domain wall. The position of the domain wall in the top layer determines «0» and «1» states [4].

This idea of the domain wall motion lies in the design of new magnetic storage, e.g. Stuart Parkin concept of the race track memory [4], in which the domain wall motion is proposed as alternative solution to the magnetization reversal (fig.2). The storage device is a sandwich with two magnetic layers and nonmagnetic spacer. The magnetization of the bottom layer is fixed, while the state of the top layer depends on the domain wall position. The reading process is based on the conventional giant magnetic resistance (GMR) principle: the mutual orientation of the magnetization of the top and bottom layers determines the electric resistance of the sandwich structure.

The concept of race track memory [4] implies spin current pulses of high density (10^6 A/cm^2) that leads to energy losses. We propose the usage of the aforementioned electric field effect in iron garnet films to control the domain wall position. Dielectric layer of iron garnet serves as a gate that controls the micromagnetic structure of conducting layer by exchange coupling. The possibility of such exchange-coupled structures is demonstrated in [5]. At the size of technological junction $\sim 100 \text{ nm}$ and typical domain wall velocity 100 m/s the switching time of the element might be $\sim 1 \text{ ns}$.

1. Claude Chappert et al, Nature Materials, 6, 813 (2007)
2. A.S. Logginov et al, APL 93, 182510 (2008)
3. A.S. Logginov et al, Solid State Phenomena, 152, 143 (2009)
4. S.S.S. Parkin et al, Science, 320, 190 (2008)
5. Ying-Hao Chu et al, Nature Materials, 7, 478 (2008)

Optical Non-Reciprocal Device

Based on Collinear Acousto-Optical Filter

Djakonov E.A., Nikitin P.A.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Recently acousto-optic instruments have found wide applications in science and technology. Intensive development of acousto-optics provided design and fabrication of devices based on principally new effects so far considered as negligible or unwelcome. One of these effects is the "non-reciprocal" effect consisting in the following. Frequency of light incident on an acousto-optic cell differs from the corresponding frequency of the diffracted light by the magnitude equal to the frequency of ultrasound. This difference is caused by Doppler effect. Therefore, it is possible to obtain an increase or decrease in the frequency of the diffracted light depending on the mutual, i.e. coinciding or opposite directions of the optic and acoustic beams propagation. Since the condition of Bragg matching strictly couples wavelength of light and optimal frequency of ultrasound at which the efficiency of diffraction is maximum, change in the mutual direction of light and sound propagation is inevitably accompanied by variation of Bragg matching frequency. Therefore, diffraction patterns observed in these two cases are different from each other. This is just the physical meaning of the acousto-optic non-reciprocal effect [1].

Non-reciprocal effects in optics were well-known previously, particularly the effect of rotation of polarization plane in a magnetic field (Faraday effect). However, only acousto-optic devices allow combining optical non-reciprocity with high spectral selectivity. This opens new possibilities for practical applications of these devices. In particular, a non-reciprocal acousto-optic cell can be installed in an optical cavity of a ring laser. Some other range of applications of the mentioned effect may be related to development of unidirectional decoupling devices for systems of optical signals transmission similar to the well-known microwave technology devices. Therefore, it is obvious that a theoretical and experimental research of the non-reciprocal effect in acousto-optics is of reasonable importance [1-3].

Some results of a theoretical research of the non-reciprocal effect in the crystals of sapphire and lithium niobate in the mode of the collinear acousto-optical interaction are presented in the report. Both low-frequency and high-frequency modes of the acousto-optic interaction have been considered in the investigation. It was found that the non-reciprocal effect is most pronounced in the high-frequency regime of the collinear acousto-optic interaction. However, for a practical realization of the interaction of light and ultrasound, it is necessary to use acoustic waves with the frequencies about 10^9 Hz. It is obvious that application of these frequencies is inconvenient because of strong acoustic attenuation in the crystals.

Theoretical investigation showed that the non-reciprocal effect may be registered both in the crystals of lithium niobate and also in sapphire. However, the effect in sapphire is a few times lower than in lithium niobate. The reason is that the ratio of the passband shift, provided by the non-reciprocal effect, and the value of the bandwidth, determined by selective properties of the collinear interaction, is proportional to

birefringence and squared acoustic velocity in the used crystal. Velocity of acoustic waves in sapphire along the crystallographic axis X is 1.5 times higher than that in lithium niobate. On the other hand, birefringence in sapphire is about ten times lower than in lithium niobate. As a result, the non-reciprocal effect in lithium niobate is four times stronger than in sapphire.

The lithium niobate single crystal was chosen for the experimental research of the non-reciprocal acousto-optical effect. In this crystal, the low-frequency collinear acousto-optical interaction has been realized. It made it possible to decrease the driving acoustic frequency to a few hundred megahertz, while the driving power was limited to 1 W. The prototype of the non-reciprocal acousto-optical device has been designed and fabricated. Experiments with the optical radiation at the wavelengths equal to 0,6328 microns and also to 0,532 microns proved operation capability of non-reciprocal devices similar to that used in the experiments. Results of the experiment corresponded to the theoretical conclusions with good accuracy. It makes it possible to conclude that the proposed theoretical approach to describe the non-reciprocal effect may be applied for design of new and promising acousto-optical devices [2-3].

As a result of the carried out research, it is also reasonable to conclude that the crystals of lithium niobate are more suitable for the development of new devices based on the non-reciprocal effect than the crystals of sapphire.

References

1. V.I.Balakshiy, V.N.Parygin, L.I.Chirkov, Physical Foundations of Acousto-Optics, Moscow, *Radio i Svyaz*, 1985 (in Russian).
2. Yu.S.Dobrolenskiy, V.B.Voloshinov, Yu.A.Zyuryukin and E.A.Djakonov, Non-Reciprocity of Acousto-Optic Interaction in Collinear Tunable Acousto-Optic Filters, *Applied Optics*, 2009, v.48, N 7, pp. C67-C73.
3. Yu.S.Dobrolenskiy, V.B.Voloshinov and Yu.A.Zyuryukin, Influence of Non-Reciprocal Effect on the Operation of a Collinear Acousto-Optic Filter, *Quantum Electronics*, 2008, v.38, N 1, pp. 46-50.

Information-analytical complex for transport companies

Vadim D.Yu.

Physics department, Lomonosov Moscow State University

Increasing the level of road traffic safety of company vehicles on the one part and the necessity to improve car park management on the other served the main requisites for creating the information-analytical complex. Practically, according to statistics almost 85% of road traffic accidents happen due to human agencies. And it doesn't concern a driver's professional competence, since every driver goes through the qualification selection before being engaged. More importantly it concerns a driver's abidance by traffic rules and labor routine regulations, which include obligatory breaks, designated for a driver's rest. Along with providing road traffic safety a company needs to take care of the quality of the offered services and to organize an economically profitable functioning of its car park as well. The information-analytical complex is intended to solve the above mentioned problems.

The complex's facilities include the ability to transmit positional coordinates of vehicles, vehicles' speed information, vehicles' ignition system condition; to broadcast audio and video signals taken from digital video cameras, installed on each vehicle; to distantly operate the characteristics of devices' performance.

The developing complex's software will enable online tracing of moving carriers' on the map, getting the information from observation cameras and monitors, which will be installed on carriers.

The software will permit to automatically inform the control center about speed limit violation, the vehicle's route; about work regulations failure (work regulations compliance includes total work time, lunch time, and obligatory drivers' breaks record); it will also make it possible to establish the possibility of video communication with drivers. The main requirement that the software needs to meet is easy launching from the Internet without preliminary installation of additional applications on the user's PC.

After being received from moving vehicles, the information is recorded, analyzed, and statistically processed, which enables control of motor fleet, adjustment of their routes and traffic intervals depending on the density of passenger flow.

At creation of the complex a WiMax technology is used. This technology provides wireless broadband access to the Internet, GPS, computer modeling, GPS receiver defines vehicles' location coordinates, and then send received coordinates, data from the controllers and equipment, installed on the vehicles to the server via wireless high-speed Internet connection. On the server with the help of the developed software the received information is processed and systemized, and is later represented in the web-interface at the dispatching center or the manager's personal computer.

The novelty of the system consists that the given complex combines the latest technologies, adjusted specially for the transport companies.

Acousto-Optical Devices Intended to Control Parameters of Long Infrared Radiation

G.A. Knyazev and V.B. Voloshinov

M.V. Lomonosov Moscow State University, Physical Department
119992 Moscow, Russia

Acousto-optic effect or light diffraction on acoustic waves is widely used to control parameters of optical radiation. Acousto-optical devices are capable of reliable operation in the visible light, ultraviolet, near and middle infrared regions of spectrum. However the problem of design of the long infrared acousto-optical devices intended to operate at the wavelengths of light $\lambda > 5 \mu\text{m}$ is remaining unsolved. The problem originates from the fact that the values of the acousto-optic figure of merit of all known acousto-optical materials are too small to provide applications in the long infrared. Nevertheless it was found that the most suitable media for the long infrared applications is the crystalline tellurium. The sounding advantage of this material consists in extremely high value of the acousto-optical figure of merit $M_2 > 100 \cdot 10^{-15} \text{ s}^3/\text{g}$. This value exceeds, to about two orders of magnitude, the figures of merit of all known in acousto-optic materials. It indicates that the material is extremely promising for the applications in acousto-optics and laser technology.

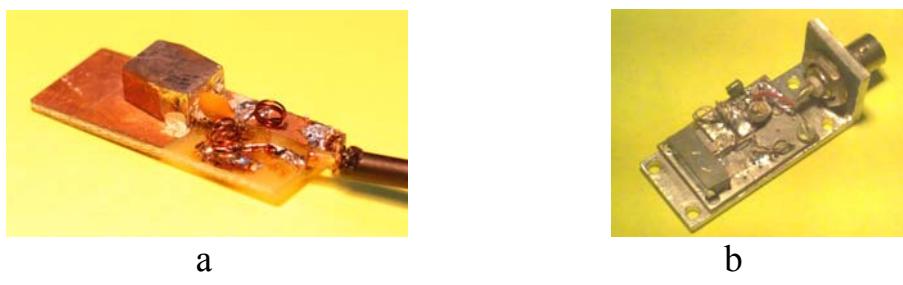


Fig.1 Photos of tellurium based acousto-optical cells (a – ultrasound propagates in the cell to the axis Y at the angle $\theta_a = 80^\circ$, b – ultrasound propagates in the cell at the angle $\theta_a = 95^\circ$).

In our experiments, a few configurations of acousto-optical tellurium based devices were investigated. In the figure 1, the photos of the examined cells are presented. The dependences of the Bragg light incident angle on the ultrasound frequency are presented in the figures 2a and 2b for the cells with the ultrasound propagation angles correspondingly equal to $\theta_a = 80^\circ$ and $\theta_a = 95^\circ$ with respect to the axis Y. As seen in the figure 2, in both cells the wide aperture regime of acousto-optical interaction is realized. This regime corresponds to the condition

$d\theta_B/df \rightarrow \infty$. As follows from our experiments, the range of the optic incident angles providing the efficient acousto-optical interaction is higher in the cell which is shown in the figure 1a. In this cell, the angle was equal to the value $\Delta\theta_B = 26^\circ$. For the cell in the figure 1b, the angular range of interaction was equal to $\Delta\theta_B = 15^\circ$. However, the acousto-optical filter with the ultrasound propagation angle $\theta_a = 80^\circ$ may operate only in the notch regime because of the high absorption of optical energy of the extraordinary polarized wave: the cell transmitted only ordinary polarized light. Therefore this filter may not be used for imaging applications.

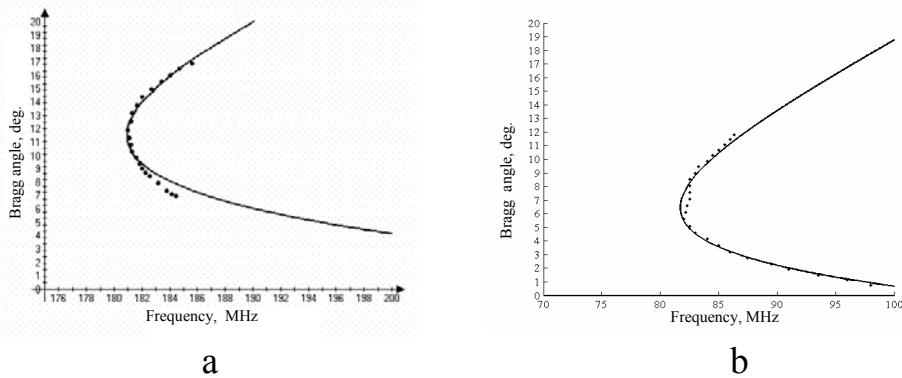


Fig. 2 The dependence of Bragg angle on the ultrasound frequency
(a – ultrasound in the cell propagates at the angle $\theta_a = 80^\circ$, b – ultrasound propagates at the angle $\theta_a = 95^\circ$ with respect to the axis Y).

As follows from our investigations, the wide-aperture filter on base of the cell, which is shown in the figure 1b, possesses the following characteristics: the frequency of ultrasound at the wavelength of light $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ is equal to $f = 80 \text{ MHz}$, the spatial resolution in the cell achieves the value $N = 120$, the spectral resolution is equal to $\lambda/\Delta\lambda = 140$, the ultrasound frequency providing efficient interaction is located in the range $\Delta f = 500 \text{ kHz}$. It should be noted that the values of the spatial and spectral resolution of the designed acousto-optical filter on base of tellurium are approximately equal to the characteristics of similar devices operating in the visible light.

Oscillating solutions of the Navier-Stokes equations

Petrova T. A., Shugaev F. V.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

The Navier-Stokes equations are the main tool in theoretic analysis of turbulence. The important role in modeling turbulence belongs to direct numerical simulation (DNS).

Unfortunately, modern computers allow to solve only some of technical problems. It is worth noting large eddy simulation of turbulence (LES). This method simulates only the largest scales. The motivation is that the large scales of turbulence often dominate physical processes in engineering problems. A new method of solving the Navier-Stokes equations is proposed recently. It is based on the fundamental solution of linear parabolic systems. The distinctive feature of the method is that no finite-difference schemes are used. As we deal with nonlinear equations there are no limitations on the amplitude of turbulent fluctuations. Thus we can analyze strong turbulence as well as weak one.

In this work the procedure of solving the system of the Navier-Stokes equations was proposed. The full system of the unsteady Navier-Stokes equations can be written in the form (using the Lagrangian variables)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Omega_i}{\partial t} &= \nu \Delta \Omega_i + f_{1i}; \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= s; \\ \frac{\partial s}{\partial t} &= \frac{1+h}{\gamma} \Delta w + \frac{4}{3} \nu \Delta s - \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{s}{2\rho} (1+h)^{-\frac{1}{4}} \right) \Delta h + f_2; \\ \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\gamma}{Pr} \nu \Delta h - (\gamma-1)s + f_3; \end{aligned} \quad (1)$$

$$w = -\ln \rho; \Omega^r = \text{rot } v^r; s = \text{div } v^r; h = T - 1; \nu = \frac{\mu}{\rho}; \eta = \frac{\lambda}{\rho}.$$

Here ρ , T , v , λ are density, temperature, viscosity, thermal conductivity, respectively; Δ is the Laplace operator, Pr is the Prandtl number, γ is the adiabatic exponent. The symbols f_{1i} , f_2 , f_3 denote nonlinear members (with regards to the first derivatives). Appropriate expressions have been given earlier [1]. The system (1) is written in a dimensionless form, the characteristic length being $l_0 = v_0/c_0$, the characteristic time being $t_0 = v_0/c_0^2$, where c_0 is the sound velocity, the subscript "0" refers to the initial state.

This system is a parabolic one. The proposed method of solution consists in reducing it into the system of integral equations and in subsequent use of iterative procedure. The procedure can be divided into two parts. First of all we find an approximate solution (parametrix). Then we reduce the system to integral equations of Volterra type. The iterative procedure is used [2,3]. The solution to the linearized system is taken as the first iteration. Suppose that the $(n-1)$ th iteration is known. Then the coefficients referring to the Laplace operators are known. Thus we have linear

equations with variable coefficients. Furthermore, we suppose that the coefficients depend on t solely, the coordinates being considered as parameters. The initial conditions: the velocity divergence (dilatation) being zero and the temperature being the known function, the initial density being constant. The problem is set in the infinite space.

We fulfilled calculations using the first and the second iterations. The comparison of the subsequent iterations allows to conclude that the convergence takes place. But further investigations about convergence of the proposed iterative procedure are necessary.

References

- [1] Shugaev, F. V., Terentiev, E. N., Shtemenko, L. S., Nikolaeva, O. A., Pavlova, T. A., Dokukina, O. I., On the problem of beam focusing in the turbulent atmosphere, Proc. SPIE 6747, 67470K (2007).
- [2] Friedman, A., Partial Differential Equations of Parabolic Type, Prentice Hall, New York, (1964).
- [3] Eidelman, S. D., Parabolic Systems, Nauka, Moscow, (1964) (in Russian).

Influence of temperature and impurity on hydrogen bonds grids structures of water clusters

Khakhlin V. Andrey

Faculty of Physics M.V.Lomonosov Moscow State University

Theoretically established (theories of structural defects of Samoilov, Bernard-Faluera flickering clusters of Franc and Vienna, etc.) and experimentally confirmed [1] fact of heterogeneity of water the structures the question on the nature of its heterogeneity staticizes. One of leading roles in it is played ice-water, defining the centres of crystal structure formation at its freezing.

It is considered that water crystallisation begins from places of a concentration impurity particles. Centers of crystallization of absolutely pure laboratory water much less, than in natural reservoirs. Therefore it can overcool, remaining in liquid a condition even at negative temperatures (at normal atmospheric pressure).

Impurity in water lead to occurrence of defects in its structure of a grid from hydrogen bonds. Now, there are no experimental techniques of definition of hydrogen bond and its characteristics of dynamics in water mediums. Similar researches can be spent only methods of computational modeling.

In the present work, for studying of hydrogen bonds grid structure between molecules of water under the influence of temperature (1 or 300 K) and impurity (cations Na^+ or K^+) have been chosen following 3 water clusters: $(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{Na}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ and $\text{K}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, where $2 \leq n \leq 8$. Molecules H_2O were described of the rigid model of water [2]. For calculations of intermolecular interactions of molecules of water with each other and with cation Na^+ or K^+ potential functions of Polteva-Malenkova [3, 4]. In calculations generator of random numbers of double accuracy rigidly determined by entry conditions [5] was used. Modelling of hydration process was carried out by means of generating equilibrium at temperatures 1 and 300 K configurations from the molecules of water co-operating with each other and with cation Na^+ or K^+ . Their reception was made by a method of Monte-Carlo with procedure of the Metropolis [6] under periodic boundary conditions (the settlement cell represented a cube with length of the party 40 Å). From consistently received equilibrium at temperature 1 or 300 K configurations of everyone cluster with step 1000 10000 sample was formed. 20 such selection formed a set. On the basis of the analysis in this set of values of quantities of the equilibrium configurations corresponding to original types of hydrogen bonds grid structures, their average weight factors and errors of their definition with a confidential interval 0,95 were defined. The type of structure with the greatest weight factor meeting in all 20 samples in a set was called as the most probable type.

The structural characteristic of a grid from hydrogen bonds – a set of the h-bonds-connected geometrical figures, each of which is connected focused (the edge is directed from the oxygen which is the donor of a proton to oxygen – to an acceptor) the count which tops are atoms of oxygen, and edges – hydrogen bonds between water molecules. The analysis of hydrogen bonds grid structure of water cluster with cation Na^+ or K^+ was carried out to the formalized signs, based on the theory of counts [7]. Signs on which comparison of grids of hydrogen bonds was made:

1) quantity of molecules of the water entering into the first coordination sphere of an ion; 2) quantity of the hydrogen bonds-connected figures from water molecules ("the single" molecules of water not connected by hydrogen communications here enter); 3) a set of quantities of molecules of water in each h-bonds-connected figure (a set of quantities of tops of counts); 4) a set of quantities of hydrogen bonds in each h-bonds-connected figure (a set of quantities of edges of counts); 5) sets of quantities formed by each molecule of water in the hydrogen bonds-connected figure of hydrogen communications (sets of degrees of tops of counts). The given technique does not allow to consider only chirality the hydrogen bonds-connected figures from water molecules.

As a result of computational modeling in each of 3 investigation clusters for each value $2 \leq n \leq 8$ and temperature 1 or 300 K, all versions and most probable hydrogen bonds grids types of structures are revealed. It is established, that at temperature 1 K the most probable type of hydrogen bonds grid structure between n molecules of water in each of 3 clusters it is formed on the basis of the most probable type at $n-1$ (to within one hydrogen bond). At temperature 300 K such dependence for each of 3 clusters remains. However only equilibrium configurations with the most probable types of structures cluster $(H_2O)_n$, at temperature 300 K consisted from scattered on all volume of a settlement cell of single molecules and groups of them (consisting no more 3 molecules H_2O). In equilibrium configurations of water clusters with cation Na^+ or K^+ structures of grids corresponding to the most probable types from hydrogen bonds, water molecules are concentrated close the cation (in sphere with radius no more than 3 FCS).

On the basis of the received results, it is possible to assert that among all variety equilibrium at temperatures 1 or 300 K configurations there are configurations with the most probable types of hydrogen bonds grids structures. These types of structures depend on following factors: 1) quantity of molecules of their water forming (the most probable type of hydrogen bonds grid structure for cluster with n water molecules is development of the most probable type of the structure, generated by means cluster with $n-1$ molecules of water); 2) temperature (quantity of the most probable types of hydrogen bonds structures decreases when temperature increase at the expense of effect of H_2O evaporation); 3) presence of impurity and their version (presence of impurity particles allows to reduce effect of water molecules evaporation in equilibrium configurations with the most probable types of hydrogen bonds grids structures and the version of impurity particles influences on a variety of the most probable types of hydrogen bonds grids structures in water clusters).

Presumably, the first and third factors can define heterogeneity of water, which have a clusters form with considerable quantity of H_2O molecules (~ 100 [1]).

Method of noninvasive ultrasound surgery for liver tumors by irradiation through the rib cage using phased arrays

¹ S.M. Bobkova, ¹ V.A. Khokhlova, ² L.R. Gavrilov

¹ Physics Department, Lomonosov Moscow State University, Russia
² N.N. Andreev Acoustic Institute, Russia

Recent increase in cancer rates requires development of new effective methods of treatment. One of them is the method of noninvasive (i.e. without surgical operation) ultrasonic surgery when high intensity focused ultrasound (HIFU) locally heats a tissue to the temperature of necrosis. However this method is not always applicable because of the presence of strongly reflecting and strongly absorbing acoustic obstacles, which are, for example, the bones of a rib cage complicating the carrying out noninvasive operations on liver or heart. As the bone tissue has the high absorption coefficient it is usually overheated during the operation that causes its burns and also the burns of overlying tissues, including a skin. To overcome the problem of damaging ribs, in China, for example, HIFU treatment involved a cutting out of a section of the ribs located above the liver to provide an acoustic window during the surgical procedure. This approach limits the advantages of HIFU surgery, it cannot be named noninvasive.

Possibility to carry out HIFU operations in required volume of tissue with safe temperature levels on acoustic obstacles became real with the appearance of multielement phased arrays which allow creating almost any configuration of an acoustic field in the given volume of a tissue. The goal of the work included the development of new methods of dynamic focusing of high intensity ultrasound in the presence of acoustic obstacles that essentially expands the possibilities of application of HIFU in medicine. The idea of the proposed method combines the use of multielement random phased array, the method of the reversal wave front and the methods of optimization of amplitude-phase distributions on the array elements [1, 2].

Numerical simulations and measurements were performed for the phased array which consisted of 254 piezoelements 7 mm in diameter (1MHz operational frequency), randomly distributed on a spherical surface with radius of curvature 130 mm and diameter 170 mm [1, 2]. The goal of the experiment included HIFU tissue ablation through the phantom of ribs and porcine ribs *in vitro*. Acoustic field measurements were carried out with the use of infra-red camera in a plane of ribs and in a focal plane of the phased array. Temperature rises in tissues near the bones and in the intercostal spaces were measured using thermocouples.

The following results have been obtained. The acoustic field created by the array had a striped structure in a plane of ribs, thus, the energy of the beam was mainly concentrated in the intercostal spaces. Temperature rise measurements on a rib surface confirmed the absence of dangerous overheating of the tissues. Theoretical and experimental investigations demonstrate the feasibility of the proposed approach to produce tissue ablations that proved the possibility of application of the method for the

tumorous tissue destruction. To increase the volume of irradiation, the possibility of electronic steering of focus and creation of multiple foci configurations were suggested. It has been obtained that ribs do not influence the ranges of focus steering which are 10-15 mm perpendicularly to the array axis and 20 mm along the axis. Configurations of 3-4 simultaneous foci also have been created.

The ability to ablate tissues through the phantom and maintain an appropriate quality of the field distribution beyond the ribs *in vitro* provides strong evidence that the technique has the potential for addressing a major problem in clinical HIFU, i.e. the ablation of tissues beyond the ribs without overheating the ribs and overlying tissue. The recent discussion of a method on the International Symposium on Therapeutic Ultrasound [3] has shown that its efficiency exceeds the efficiency of technologies developed abroad. Researches executed in the USA, Great Britain and France are devoted either to theoretical aspects of the specified problem or to the first steps in the development of the ultrasonic technique necessary for the study of the problem. Any experimental evidence of the efficiency of the offered approaches, similar to the experiments described above, does not exist till now.

It is also necessary to note, that even so wide area of application as carrying out of noninvasive operations on liver without overheating ribs, is not the only area of possible practical use of the proposed method. Ability to ablate the tissues located behind acoustic obstacles can be useful for HIFU surgery of heart, in ultrasound irradiation of a fundus of the eye without crystalline lens damage, and also for HIFU surgery in the presence in a body of various congestions of air or rigid inclusions, in particular, metal artificial prosthesis, cardiotimulators, etc.

This work was supported in parts by NTSC and RFBR. Computer simulations were performed on computer complex “SkiF-MSU”.

References

1. Gavrilov L.R., Hand J.W. A theoretical assessment of the relative performance of spherical phased arrays for ultrasound surgery, IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Ctrl 47(1), 125-139 (2000).
2. Hand J. W., Shaw A, Sadhoo N, Rajagopal S, Dickinson R. J., Gavrilov L. R. A random phased array device for delivery of high intensity focused ultrasound. Phys. Med. Biol., 54, 5675-5693 (2009).
3. Bobkova S.M., Shaw A, Gavrilov L.R., Khokhlova V.A., Hand J.W. Feasibility of HIFU tissue ablation in the presence of ribs using a 2D random phased array Program of ISTU 2009, 23-26 Sept 2009, p. 47.

New mechanism of the soft biological tissue erosion caused by the pulsed-periodic effect of focused shock waves

Bessonova O.V., Khokhlova V.A.

Division of Acoustics, Physics Department, Lomonosov Moscow State University
Tel.: +7 495 939-2952; olga@acs366.phys.msu.ru

In modern medicine, a new trend, utilization of high intensity focused ultrasound for local destruction of tumorous tissue, is now being developed. The main mechanisms of ultrasound ablation are heating and cavitation [1]. Thermal effect results from absorption of ultrasound energy due to multi relaxation effect and viscosity that lead to heat deposition in biological tissue. Cavitation causes the mechanical damage of tissue as a result of medium rupture during the rarefaction phase in the propagating acoustic wave and corresponding mechanical emulsification of tissue [2]. However, the results of recent experiments showed that a new mechanism of the soft biological tissue emulsification is possible: mechanical destructions in tissue caused by explosive boiling occurred when tissue is treated by shock waves [3,4].

It is known that for high intensities in the focal zone (up to 25000 W/cm^2), nonlinear propagation effects lead to the shock formation in the focal waveform (Fig.1) and to significant increase in the heating efficacy. At the focal area of the beam, the localized rapid heating to the boiling temperature (in several milliseconds, the typical exposure time is seconds) is possible [4]. If the HIFU-on time only slightly

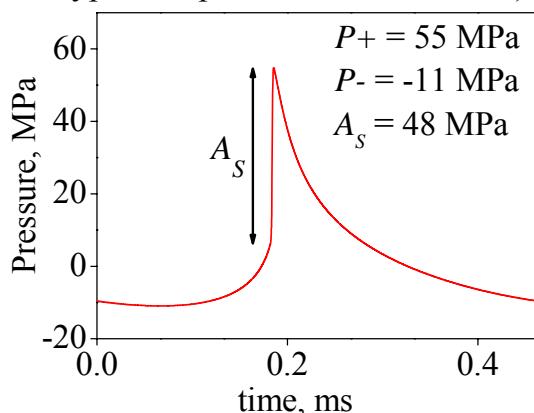


Fig.1. Waveform in biological tissue at the source focus; initial pressure $p_0 = 0.57 \text{ MPa}$ (result of numerical simulation).

transducer with frequency of 2 MHz, aperture and focal length of 45 mm, and operated in a pulse mode was used. The HIFU focus was placed at a depth of 13.5 mm in the liver sample. On the base of numerical solution of the KZK equation, shocked waveforms at the focus of the transducer and time to boiling in tissue were calculated for different initial pressure amplitudes [3,4]. The influence of heat diffusion was studied; it was shown for what intensities the diffusion begins to play an essential role for estimation of time-to-boil in tissue. The comparison of numerical and experimental

exceeds the time-to-boil in tissue, the mechanical erosion of biological tissue (emulsification) can occur by explosively growing boiling bubbles [2]. Though the initiator of erosion is boiling, the biological tissue is not heated to high temperatures because the growing bubbles get cold quickly when they go out the heated focal zone.

In this work, the possibility of millisecond tissue boiling and the mechanical erosion of tissue without thermal damage caused by the high amplitude focused shock pulses were investigated numerically and experimentally. The HIFU

results was performed. After exposures, the tissue samples were sectioned and photographed to observe the produced lesion morphology. All of the exposures used the same HIFU output level ($p_0 = 0.57$ MPa) and acoustic energy, but different duty cycles [5]. It was shown that for continuous wave exposure (100% duty cycle), thermal denaturation of tissue proteins is observed (Fig.2a). In the case when the pulses of 10 ms duration and 1% duty cycle were used, the lesion morphology began to change and the mechanical erosion occurs without any sign of thermal damage of the biological tissue (Fig.2b). Only three cycles are shown in the figure to illustrate pulsing regime, in reality, 10 ms bursts consisted of approximately 2000 cycles. Therefore, the effects of millisecond boiling in tissue caused by high intensity ultrasound and mechanical lesion of tissue under the action of growing boiling bubbles were theoretically predicted and numerically confirmed. These phenomena are fundamentally new and extremely interesting need additional investigations.

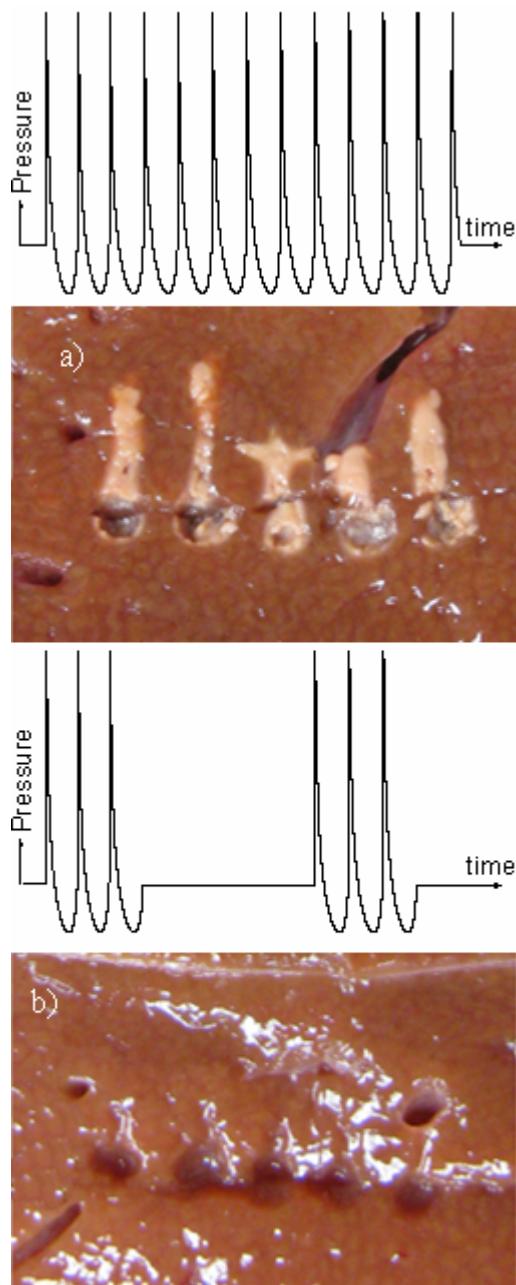


Fig.2. The profiles of US signals and characteristic lesion in liver

heating and millisecond boiling in high intensity focused ultrasound fields”, Proc. of ISTU, 23-26 Sept. 2009, p. 48.

REFERENCES

- [1] C.R. Hill, J.C. Bamber and G.R. ter Haar, Physical Principles of Medical Ultrasonics. Wiley, London, 2004.
- [2] J.E. Parsons, C.A. Cain, G.D. Abrams, and J.B. Fowlkes. Pulsed cavitational ultrasound therapy for controlled tissue homogenization. *Ultrasound Med. Biol.*, 32(1):115-29, 2006.
- [3] O.V. Bessonova, V.A. Khokhlova, M.R. Bailey, M.S. Canney, and L.A. Crum. Focusing of high power ultrasound beams and limiting values of shock wave parameters, *Acoust. Phys.*, vol. 55, No. 4–5, pp. 463–473, 2009.
- [4] M.S. Canney, V.A. Khokhlova, O.V. Bessonova, M.R. Bailey, and L.A. Crum, “Shock-induced heating and millisecond boiling in gels and tissue due to high intensity focused ultrasound,” *Ultrasound in Medicine and Biology*, 2009, submitted.
- [5] M.S. Canney, V.A. Khokhlova, J.H. Hwang, T.D. Khokhlova, M.R. Bailey, and L.A. Crum, “Tissue erosion using shock wave

Drug delivery by modified cyanoacrylate nanoparticles to the nervous system

Gusev A.V.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Background of the invention

The treatment of nervous system disorders can be achieved by taking drugs which affect the patient's nervous system function or dysfunction. Typically, such drugs are taken by peripheral application, either via the oral or the systemic route. Despite many drugs are able to cross the blood-brain barrier (BBB) there are many others which hardly pass BBB or do not pass it at all and are only effective when injected directly into the brain. The blood-brain barrier (BBB) is an obstruction of circulating blood and cerebrospinal fluid (CSF) maintained by the choroid plexus in the central nervous system (CNS). BBB consists of capillary endothelium, basement membrane and plexus of astrocytes. Thus, a huge amount of effective drugs is not used widely in clinical practice. This problem can be solved in two ways: increasing the penetrability of BBB, implanting polymeric tissue with controlled release medicine or using drug carriers which can pass BBB. Increasing of membranes' penetrability affects their structures and often destroys it which badly influences further brain functioning. Implanting is a complex and dangerous surgical operation.

The third variant seems to be the most effective. Various particles, capsules, liposomes and modified drug molecules are used as drug carriers able to pass blood-brain barrier. The most promising method is based on liposomes but there are some serious problems with their stability.

It is necessary to pay attention to the fact that usually the medicine injected into the blood or taken orally is perceived by the human's immune system as an alien body, and is immediately attacked by phagocytes. Also the medicine dose taken by the patient affects his internals. The large amount of active molecules attacks human internals damaging their structure and function. It's crucial to decrease the medicine amount absorbed on human internals.

And the last point: it's possible to use magnetic particles and magnetic field to control drug delivery. Using magnetism it's possible to increase and locate the drug on the necessary spot. In this way we can decrease the drug dose and the drug's negative influence.

Basic Idea:

To use polymeric cyanoacrylate nanoparticles (100-200 nm) with magnetite nanoparticles (5-10 nm) for drug delivery to nervous system and controlled contents release to make the necessary drug concentration.

The advantages of the method:

- Simple production of the particles;
- Simple modification technology;
- Low cost of the materials (cyanoacrylates – super glue base);

- An opportunity to deliver any active medicine to the brain without complex synthetic materials;
- Cyanoacrylate particles pass BBB without making any damage;
- Stable particles, could be kept for a long time (in contrast to liposomes); etc.

Novelty

Using nanocareers for drug delivery is a progressive method in modern pharmacology. Similar methods just start to be used in clinical practice.

Commercial scale

There are a lot of obstinate brain diseases: meningitis, epilepsy, multiple sclerosis, encephalitis, tetanus, Parkinson's disease, etc. This method increases the effectiveness of treatment of obstinate diseases.

Application term

The application in clinic practice can be delayed for several years. The application process consists of several stages:

- Research and development: 1 year;
- Prototyping: 2 years;
- Mass production including equipment adjustment and staff training: 1 year.
- Clinic practice application: 2 years.

Total: 6 years.

Measurements of shear elasticity of soft tissues applying interferential method

Krit T.B., Kostikov V.V., Andreev V.G.

Acoustics department, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Different methods such as sonoelastography [1], shear imaging [2] and other were developed for a measurement of viscoelastic properties of tissues. The proposed method of shear modulus measurement of soft tissues is based on analyses of standing waves in the 1D resonator filled with tissue sample. The similar method works successfully for megahertz waves where ultrasound resonators are used for velocity and attenuation measurements in liquids [3]. Resonant curve width provides one with value of attenuation coefficient and resonant frequency – with sound velocity.

The sample that consists of N parallel layers is mounted on the plate, which oscillates horizontally. A rigid plate of finite mass M is fixed on the top of the sample. The particles inside each layer of the sample move according to the equation of motion and material equation:

$$\rho_n \frac{\partial^2 u_x^{(n)}}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xy}^{(n)}}{\partial y},$$

$$\sigma_{xy}^{(n)} = \mu_n \frac{\partial u_x^{(n)}}{\partial y} + \eta_n \frac{\partial^2 u_x^{(n)}}{\partial y \partial t}.$$

Here ρ_n – density of the n -th layer, $u_x^{(n)}$ – particle displacement in the direction of x axis, μ_n – shear modulus, η_n – shear viscosity coefficient, $\sigma_{xy}^{(n)} = \frac{F_x}{S}$ – corresponding component of the stress tensor, F_x – force component that acts in the direction of x axis, S – square of the surface that is perpendicular to y axis.

Solution of the system of these equations should correspond two matching conditions:

$$u_x^{(n)}\left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t\right) = u_x^{(n+1)}\left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t\right), \quad n = 1, 2, \dots, N-1,$$

$$\mu_n \frac{\partial u_x^{(n)}}{\partial y}\left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t\right) + \eta_n \frac{\partial^2 u_x^{(n)}}{\partial y \partial t}\left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t\right) =$$

$$= \mu_{n+1} \frac{\partial u_x^{(n+1)}}{\partial y}\left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t\right) + \eta_{n+1} \frac{\partial^2 u_x^{(n+1)}}{\partial y \partial t}\left(y = \sum_{r=1}^n L_r, t\right), \quad n = 1, 2, \dots, N-1,$$

where L_r is thickness of r -th layer, and two boundary conditions:

$$\left. \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} \right|_{y=0} = w_x|_{y=0}, \quad M \left. \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} \right|_{y=\sum_{r=1}^N L_r} = -\sigma_{xy}|_{y=\sum_{r=1}^N L_r} \cdot S.$$

Thus, for the whole sample we have a system of $2N$ equations with matching and boundary conditions. This system could be resolved. Hence, model fitting method for experimental data evaluation is the most appropriate.

An experimental setup was constructed to carry out the experiments with double layered sample as a simple example of inhomogeneous medium. In double layered sample known share modulus of one layer could provide one with value of shear modulus of the other layer. Properties of the investigated sample were the following: $L_0+L_x = 2.6$ cm, $\mu_0 = 6$ kPa, $\eta_0 = \eta_x = 3.5$ Pa·s, $\rho_0 = 1$ g/cm³, $\rho_x = 0.9$ g/cm³. Index 0 corresponds to known layer, index x – to layer with unknown shear modulus. The rigid plate of mass $M = 3$ g and square $S = 28$ cm² was fixed on the top of the sample.

Numeric simulations of resonant frequency as a function of unknown shear modulus are shown at the figure. They were simulated for case when unknown layer was bottom. Upper curve was simulated for thickness of known layer $L_0 = 1.365$ cm and $L_x = 1.235$ cm. Lower curve was simulated for $L_0 = 1.235$ cm and $L_x = 1.365$ cm. Results of simulations for $L_0=L_x = 1.3$ cm are shown between these curves. The point marks measured resonance frequency. Value of unknown shear modulus $\mu_x = 3.50 \pm 0.10$ kPa was found by means of comparison between measured frequency and simulated curves.

In a two-layered sample shear modulus of one layer can be found if other is known. The accuracy of the method is better if unknown layer is softer and this layer is located under the rigid layer. Accuracy of frequency measurements is about 0.5%. When layer thickness is measured with accuracy of 5%, accuracy of shear modulus estimation becomes 3%.

1. Hoyt K., Castaneda B., Parker K.J. Muscle Tissue Characterization Using Quantitative Sonoelastography: Preliminary Results. IEEE Ultrasonics Symposium. 2007. P. 365-368.
2. Bercoff J., Tanter M., Fink M. Supersonic Shear Imaging: A New Technique for Soft Tissue Elasticity Mapping. IEEE Trans Ultrason. Ferroelect Freq Control. 2004. V. 51. No. 4. P. 396-409.
3. Eggers F., Funck T. Ultrasonic measurements with millimeter liquid samples in the 0.5 – 100 MHz range. Rev. Sci. Instrum. 1973. Vol. 44. P. 969.

Computer simulation of the oncological patients proton irradiation complex development for the first clinical proton therapy center in Russia

¹Khoroshkov V.S., ²Chernjaev A.P., ¹Rjazantsev O.B., ²Varzar S.M.,
²Belousov A.V., ¹Karpunin V.O., ²Matusova T.V., ¹Khaibullin V.G.

¹A.I. Alikhanov Institute of Theoretical and Experimental Physics
² Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Proton beam radiation therapy (PT) for the cancer tumors is the method of radiation oncology answering to modern inquiries of public health service effective and actively introduced in medical practice. Approximately 50 thousand patients per year in Russia need PT. Therefore the minimum necessary number of proton therapeutic complexes for our country is about 5-7 the clinical centers.

The Institute of Theoretical and Experimental Physics (ITEP) in which PT treatment has been provided for more than 4000 patients since 1969 jointly with other Russian scientific and industrial organizations projects a construction of the first Clinical PT Center at Botkin Hospital. One of the project tasks is anatomy-based 3D treatment planning (computer simulation) system ProCom# which bases on the existing software package ProCom developed by ITEP scientists.

Structure ProCom# will consist of a great number of the functional software packages corresponding to independently started operations. Such isolation of the functional operation will allow to solve some problems arising both at a stage of working out of a program complex, and at a stage of its application. The main from them: independent work of developers, testing simplification, a simplicity of the local user interface, quasiparallel processing of several operations with different loading of computing resources on one or several computers, possibility of adjustment for individual requirements of the user.

At present the basic part of the software packages-prototypes for computer tomography (CT) image processing, calculation of numbers and directions of proton beams, 3D dose distributions and visualization of results is already realized. Planning of an irradiation of real patients by medical proton beams of ITEP synchrotron is provided. ProCom is supposed to use for PT planning in INR Russian Academy of Science. Program for combine the CT and magnetic resonance tomography (MRT) data is developed by scientists from M.V. Lomonosov Nuclear Physics SRI and ITEP.

There will be principal other beam techniques from ITEP and INR in the Clinical Center so the urgency of ProCom# developing consists in absence of corresponding Russian software for the new techniques. Foreign software packages for proton treatment planning as a rule are delivered together with beam techniques. Thus verification and adaptation of programs, additional options and service is carried out also by foreign experts that puts Russian users in a state of dependence and leads to essential additional expenses. Therefore it is supposed to use in the Clinical Center whenever possible technical and program equipment from the Russian developers.

Practical value of working out of proton treatment planning system ProCom# consists, first, in lower cost in comparison with world analogues, and secondly, in experience acquisition on develop of a similar product and finding of independence of the foreign developers.

Linear chain carbon as a prospective material for medicine

Alexandrov A.F., Guseva M.B., Novikov N.D.,
Savchenko N.F., Khvostov V.V., Fioshkin A.G.

Physics Faculty, Lomonosov Moscow State University

Carbon is a material basis of organic life. The main feature of carbon atom is an ability to form chemical compounds with double or triple bonds. It provides variety of organic compounds and supports stability of them. Double or triple bonds in organic compounds are able to move and transform that provides flexibility and sensitivity of organic and biomolecules towards external conditions and effects impaction.

Linear chain carbon innately is similar to organic tissue both for its primary structure (chain carbon) and for its secondary one (ability to form structure similar to cell envelopes and membranes structure).

Densely packed structure of sp₁-carbon chains consists of parallel chains with distance between them equal to distance between molecules in organic tissues (about 5Å). Therefore, LCC represents a good surface for lipid and protein oriented deposition. Other words, it specifies initial orientation of biological molecules in organism that is very important to provide biocompatibility of the material. Furthermore, oriented layers of sp₁-carbon are able to change lattice parameter and let pass liquid ions and molecules operating as a molecular filter. This feature is explained with the weak Van der Waals interaction among chains that makes them capable to move apart during interactions with molecules and ions. It provides LCC affinity to the organism where Van der Waals interaction and hydrogen bonds are the basis of construction.

Carbon chains affinity to tip protein and hydrocarbon groups and comparative friability of LCC structure provides high biocompatibility of LCC films. Biopolymer tip groups can enter chain space keeping safe both film and biomolecular structure.

Important attribute of LCC is an absence of carcinogenic features. Biomedical experiments with LCC showed the absence of denatured proteins on its surface and exceptionally low blood coagulation potential. Covering surface with LCC increases its extraordinary resistance to thrombus formation and permits to improve biocompatible features of medical implants and equipments. It decreases risks of implant rejection and inflammation development.

Cardiovascular system devices, orthopedic and tooth implants, soft tissue implants, surgical needles and sutures are among assumed applications of LCC.

Surgical needles covered with LCC film decrease traumatism in organism tissue due to friction factor reduction. At the same time, durability and expiration period of needles increases due to insoluble features infusion. LCC deposition technique allows alloying carbon structure with silver or nitrogen, for instance. It provides bactericidal property for the surface.

LCC covering was used in maxillofacial surgery and stomatology. Experiments showed that all implants covered with biocarbon surface correspond to biomedical demands:

1. All implants are biocompatible;
2. Biocarbon surface is durable to sterilization techniques and doesn't change its features;

3. Biocarbon surface and its deposition technique doesn't impact on physical features of implants: elasticity of butyl acrylic implants and metal constructions durability remains the same;
4. LCC covering allows to decrease inflammatory complications probability and rejection of implants fixed closely to permanently infected cavities (such as maxillary sinus cavity and oral cavity) or in immediate contact with them;
5. LCC covering allows combining different kinds of metal implants, particularly alloy of chrome and cobalt used in temporal joint prosthetic device production with titan clamps for facial bones. There are no any signs of galvanism that used to happen in that case and lead to implant rejection.

Carried out investigations let us to assume that LCC contact with organic tissue initiates directional regeneration of oral cavity mucilaginous membrane. In its turn, confirmation of sp1-carbon ability to stimulate directed regeneration of human organism tissues reveals new opportunities in restorative surgery area.

A development of intermetallic rare earth and 3d-transition materials promising for magnetostrictive devices

¹Pankratov N.Yu., ¹Nikitin S.A., ²Tereshina I.S., ²Politova G.A.

¹Physics faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Baikov institute of metallurgy and materials science, RAS, Moscow, Russia

The materials with high magnetostriction effect intensively develops in the main industrial countries (like U.S., UK, Germany, China and others) with aim to produce a magnetostrictive material capable to use for generating of sonic and ultrasonic vibration for hydroacoustics; controlling a laser beam in optoelectronic; creating managed structures in hydraulics.

The phenomenon of giant magnetostriction (GMS), which was discovered by Russian scientists [1-2] in rare-earth and uranium compounds, provides a potential to develop a material with high values of magnetostriction constants. It has been shown [2], that there are few condition to obtain GMS in rare-earth compounds:

- 1) high concentration of rare-earth ions;
- 2) high value of the effective exchange fields H_{ef} acting on the rare-earth ions;
- 3) an existence of three or more easy magnetization axes (which possible to be in a cubic crystal lattice, or in the basal plane of hexagonal crystal lattice).

In the list of well-known compounds the intermetallic RFe_2 compounds with cubic crystal lattice of the Laves phases is mostly suitable to meet these conditions. The RFe_2 demonstrates GMS at room temperature [3]. It was found that in $TbFe_2$ magnetostriction $\lambda \sim 1500 \cdot 10^{-6}$ in magnetic field $H = 15$ kOe. However, these materials have tremendous magnetic anisotropy which necessitates a rather strong magnetic field ($H > 5$ kOe) to drive the saturated magnetostriction, thus a materials based on this alloys is not full measure effective for magnetostrictive devices. Therefore it is important to study the materials with $RR'(Fe,Co)_2$ compositions [4-6], in which a few rare-earth ions with opposite signs of the magnetic anisotropy compensate a significant part of the magnetic anisotropy. It is useful to obtain a composition with three different rare-earth ions, here the magnetic anisotropy constants are minimized. A series of polycrystalline rare-earth alloy with stoichiometry $RR'R''(Fe, Co)_2$ was synthesized. The Dy and Ho, which have a negative anisotropy, replaces Tb ion with positive single-ion magnetocrystalline anisotropy.

The investigated alloys were melted in the electric arc furnace with non-consumable tungsten electrode on a copper water-cooled tray in an argon atmosphere. The uniformity of the compositions provides by triple melting and subsequent annealing in evacuated quartz tube at the temperature of 900 °C for 100 h. Phase composition was controlled by X-ray diffraction and metallography test. The field dependence of the longitudinal and across magnetostriction in the static magnetic field was measured for all compositions.

An investigation of compounds with high positive magnetostrictive susceptibility in the longitudinal magnetic field was performed. It was found that, the magnetostriction sensitivity $\partial\lambda/\partial H$ of $RR'R''(Fe,Co)_2$ compounds has the value in the range from $20 \cdot 10^{-8}$ Oe⁻¹ to $45 \cdot 10^{-8}$ Oe⁻¹. The $\partial\lambda/\partial H$ characterizes the rate of

magnetostriction with magnetic field increasing. It was shown that some of the Co-containing compounds have higher values of magnetostrictive susceptibility in comparison with Fe-containing alloys. The $Tb_{0.23}Dy_{0.27}Ho_{0.5}Fe_{2-y}Co_y$ system has a maximum of magnetostrictive susceptibility $\partial\lambda_{||}/\partial H = 42 \cdot 10^{-8}$ Oe⁻¹, which observes at low Co concentrations ($y = 0.2$), whereas the $Tb_{0.37}Dy_{0.5}Ho_{0.13}Fe_{2-y}Co_y$ system demonstrates a maximum of $\partial\lambda_{||}/\partial H = 32 \cdot 10^{-8}$ Oe⁻¹ at $y = 1.3$. So, the (Tb-Dy-Ho)(Fe,Co)₂ systems are more promised for application in comparison with Fe-based compounds which are studied recently [7].

It was also found that there is a giant volume magnetostriction $\omega \sim (200-400) \cdot 10^{-6}$ near room temperature for the Y_2Fe_{17} and Lu_2Fe_{17} compounds. The temperature and field dependencies of longitudinal and transverse magnetostriction of single crystals of Y_2Fe_{17} and Lu_2Fe_{17} was studied in details in the temperature range 78-300 K in magnetic fields up to 12 kOe. It was found that the highest value of magnetostriction along the c direction is observed in field $H \perp c$, while magnetostriction in the basal plane is much smaller. It is noteworthy that linear and volume magnetostriction greatly increases with temperature increasing and shows a maximal value near Curie temperature. It was demonstrated that materials with a giant volume magnetostriction promises to develop some devices for hydraulic equipment.

The work was supported by Federal Program on Support of young scientists MK-5467.2008.2.

Reference

1. Belov K.P., Levitin R.Z., Nikitin S.A., Sokolov V.I. The phenomenon of abnormally high magnetostriction in rare earth and uranium compounds. Opening number 225 on the state register (in Russian).
2. Belov K.P., Kataev G.I., Nikitin S.A., et. al. UFN v.140(2) (1983) p.271-313.
3. A. E. Clark, Magnetostrictive RFe₂ intermetallic compounds, in Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Ed. by K. A. Gschneidner, Jr. and L. Eyring (North-Holland, Amsterdam, 1979), Vol. 2, Chap. 15, p. 231-257.
4. Wu G., Wany J., Li J., at. al. Appl.Phys.Lett. v.67(14) (1995) p.2005-2007.
5. Tereshina. I.S., Nikitin S.A., Politova G.A., Opalenko A.A., Tereshina E.A., Telegina I.V. Fiz.of.Solid State v.51(1) (2009) p. 85-90.
6. Tereshina I.S., Nikitin S.A., Politova G.A., et al. Solid State Phenomena, v.152–153 (2009), p.7-10.
7. Tereshina I., Nikitin S., Tulyakov A., et.al. J.Alloys Comp. v.451 (2008) p.481-483.

Tunable microwave composites filled by ferromagnetic microwires

^{1,4}Pankratov N.Yu., ²Panina L.V., ³Zhukov A.P., ⁴Peng H.X.

¹Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

²School of computing, Communication and Electronics, University of Plymouth, UK

³Departamento de Física de Materiales, Facultad de Química, UPV/EHU, San Sebastian, Spain

⁽⁴⁾ ACCIS, Aerospace Engineering, University of Bristol, Bristol, UK

Composite media with periodic arrays of scattering elements have received much attention recently because they allow a selective spectral response for electromagnetic radiation. It has been shown that wire-containing composites demonstrate such unique behaviour in the microwave frequency range. The aim of this paper is to present recent results concerning field tunable scattering spectra at microwave frequencies in glass-fibre reinforced composite media containing CoFeNiSiBMo continuous amorphous microwires.

A single layer of periodic array of continuous soft magnetic glass-coated microwires has been embedded into E-glass fibre/Epoxy planar composites. The field tunable microwave response of the composite with a size of 50 cm x50 cm (thickness 640 μ m) has been investigated by using free-space measurement techniques. The frequency dispersion of real and imaginary part of the effective permittivity ϵ_{eff} with applied magnetic field was obtained. The composites were characterized by the resonance type of the reflection spectra with a strong dependence on the external field up to 6 Oe near the resonance frequency.

The field-tunable phenomena of the planar composites containing long Co-based glass-coated microwires were demonstrated by direct experimental measurement and theoretical analysis. The spectra transmission of the media containing wires fairly changes under the field at narrow range related plasma frequency. A distinctive feature of this behaviour is that changes in the structure of magnetic wires with weak magnetic field opens up bandwidth. It was found that there was a consistent correlation between magnetic properties of composite and the geometry of the wire. The work indicated that (Co,Fe,Ni)(B,Si,Mo) microwires are suitable for the manufacture of composite media for sensing local field. The strong field dependence of reflection/transmission parameters and effective permittivity of composites containing microwires indicates that these composites are very attractive candidate materials for a wide range of self-sensing applications.

The work is supported by the EPSRC UK under the Grant No.EP/FO3850X.

Computer simulation in development of new materials for organic light emitting diodes

Malafeev A.S. (1), Ivanov V.A. (1), Lukyanov A.E. (2)

(1) Faculty of Physics, Moscow State University, 119991 Moscow, Russia

(2) Max-Planck Institute for Polymer Research, 55128 Mainz, Germany

Atomistic force-field for Poly(2,3-diphenyl phenylene vinylene) (DP-PPV) is refined using first principles calculations and then validated against various experimental data. Molecular dynamics simulations of dilute solutions of DP6-PPV and DP10-PPV in chloroform and toluene confirm experimental observations that chloroform is a better solvent for DP-PPV than toluene. At the same time the persistence length of DP-PPVs in chloroform is significantly larger than the experimentally observed one, hinting at the presence of chemical defects in chain backbones. Coarse-grained model is devised, and force-field is derived from atomistic simulations using Inverse Boltzmann algorithm and pull-code. Coarse-grained simulations confirm that DP10-PPV does not aggregate, but at the same time there is no significant difference between DP6-PPV and DP10-PPV, as opposite to experimental findings. Probably the aggregation of DP6-PPV is an effect of aggregation in solid, i.e. crystalline, phase.

Conjugated polymers have gained much interest due to their unique optical and semiconducting properties making them attractive materials for opto-electronic applications, e.g. polymer light emitting diodes and plastic conductive layers [1-3]. Already at the early stages of the design of polymeric optoelectronic devices it became clear that electronic properties of thin films of conjugated polymers are extremely sensitive to the global as well as local arrangement of the chains. By choosing different processing conditions, such as solvent, temperature, spin-coating or drop-casting technique, it became possible to obtain different film morphologies and hence to control electronic properties of the film.

Atomistic model is very demanding for computational resources, this problem can be solved by developing coarse-grained model. In a coarse-grained model we unite groups of atoms in coarse-grained bead and calculate potentials for interactions of these beads. Bonded potential is calculated using the Boltzmann inversion procedure, non-bonded potential is calculated using the pull-code algorithm.

The generic molecular architecture of solvable conjugated polymers comprises of a semi-rigid conjugated backbone responsible for charge conductance and flexible side chains which insure solubility and facilitate processing. When drop-casted or spin-coated from a solution, the resulting film morphology depends on the chain conformation in a dilute solution. This conformation results from the interplay between strongly interacting at short distances backbones (due to π - π interactions) and steric and entropic repulsion of the side chains.

To elucidate chain conformations and quality of a solvent prior to the synthesis of the compound, one can use computer simulations. The role of simulations here can be two-fold: apart from getting an insight on the structure one can compare the simulated

structure to the experimental data and judge about the presence of chemical defects, which affect conjugation along the chain and affect the transport properties.

To develop atomistic model OPLS [4] force-field was used and missing potentials for dehidrals was obtained from first principles using GAUSSIAN package. CHELPG procedure was used to calculate the partial charges [5]. To refine the force-field parameters for dihedral angles we first considered only the bare backbone, without the side chains. To validate the force-field the dimensions of the simulated and experimentally measured unit cell of trans-stilbene crystal was compared as well as melting temperature and diffusion coefficient. The parameters of the monoclinic unit cell of trans-stilbene were taken from Ref.[6]. The measured density of trans-stilbene was in a good agreement with the experimental value.

To derive the force field for the PPV derivatives we would like to study (DP6-PPV and DP10-PPV) we followed the same strategy: we first calculated the partial charges on the DP-PPV monomer unit and then parameterized two additional dihedral potentials: the one linking phenyl rings to the backbone and one linking the phenyl ring and the alkyl side chain. For parameterization we used Ryckaert-Bellemans function [7]: where $\varphi=0$ corresponds to the trans-conformation. Note that for the alkyl side chains we used the OPLS united atoms force field. To test the solvents force-field we performed MD simulation of 125 chloroform molecules equilibrated for 2 ns in the NPT ensemble at 300 K, 1 bar. The calculated equilibrium density and diffusion coefficient were in a good agreement with the experimental values. Then, a single chain of 10 or 20 repeat units was solvated in molecules of solvent and equilibrated for 10 ns. After equilibration, a production run of 40 ns was performed. During the production run, we calculated the correlation of the orientations of repeat units in a polymer chain.

To create coarse-grained model it is necessary to substitute groups of atoms by some big superatoms (beads). In case of DP6-PPV we have used two atomistic monomers for such a singe coarse-grained bead. Thus atomistic n-mer became coarse-grained n/2-mer.

The second stage of making coarse-grained model is the bonded force-field calculation. On this stage simulations of only one chain enough. It is necessary to exclude non-bonded interactions between beads that are not connected with bonded interactions i.e. 1-5 1-6 etc. Lets take a look mapping with only one type of beads for simplicity. Simulation performed in NPT ensemble in the box with sizes 15*8*8nm for 10mer, T=300K, P=1bar.

Simulation was performed in GROMACS simulation package, therein bonded force field can be specified using tables for high flexibility, it is very convenient in our case. After Boltzmann inversion procedure we have obtained functions which we have smoothed using LOESS algorithm.

To obtain the non bonded potential we have used the pull-code algorithm. Two atomistic dimers were placed in a box with solvent and pulled with force to a minimal possible distance between their centers of masses. Subsequently, they were pulled away from each other with constant force. Snapshots at many several distances between centers of masses were obtained with step 0.02 nm, 100 systems with constrained

distance between centers of masses of dimers were simulated and the mean force between dimers was measured. After integration the potential was obtained.

Static light scattering experiments provided the information about the Kuhn segment length and the persistence length of DP10-PPV in a dilute solution of chloroform and toluene. Persistence length for DP10-PPV in chloroform was found to be 5.6 nm (about 10 monomer units). For DP10-PPV in toluene it was about 3.5 nm (about 6 monomer units). The length of a repeat unit of DP10-PPV is about 0.57 nm. We found that the orientational correlations are weaker in toluene than in chloroform, which confirms the fact that toluene is a poorer solvent for DP-PPV than chloroform [8]. Our simulations give the persistence length of about 17 monomer units (or 9.8 nm) for DP10-PPV in chloroform. The overestimation of the persistence length is probably due to the presence of chemical defects in the polymer chain backbones. These defects can break the conjugation, decrease the orientational correlations and significantly influence the chain conformations and charge transport in the film [9]. The coarse-grained potential for DP10-PPV has no significant minimum, and this is in agreement with experimental results. However, the potential for DP6-PPV has no significant minimum too, and this does not agree with experimental results. We guess that the aggregation observed in experiment is actually an effect of incomplete dissolution of powder.

References

- [1] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, *Nature* **347**, 539 (1990).
- [2] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. dos Santos, J. L. Bredas, M. Lögland, et al., *Nature* **397**, 121 (1999).
- [3] H. Spreitzer, H. Becker, E. Kluge, W. Kreuder, H. Schenk, R. Demandt, and H. Schoo, *Adv. Matter.* **10**, 1340 (1998).
- [4] W. L. Jorgensen and J. Tirado-Rives, *J. Am. Chem. Soc.* **110**, 1657 (1988).
- [5] C. Breneman and K. Wiberg, *J. Comp. Chem.* **11**, 361 (1990).
- [6] A. Hoekstra, P. Meertens, and A. Vos, *Acta Cryst. B* **31**, 2813 (1975).
- [7] J. P. Ryckaert and A. Bellemans, *Far. Disc. Chem. Soc.* **66**, 95 (1978).
- [8] Y. C. Li, K. B. Chen, H. L. Chen, C. S. Hsu, C. S. Tsao, J. H. Chen, and S. A. Chen, *Langmuir* **22**, 11009 (2006).
- [9] D. Hu, J. Yu, K. Wong, B. Bagchi, P. Rossky, and P. Barbara, *Nature* **405**, 1030 (2000).

RF DISCHARGE AT ATMOSPHERIC PRESSURE & ITS POSSIBILITIES FOR MATERIAL SURFACE MODIFICATION

Vavilin K.V., Gomorev M.A., Kralkina E.A., Pavlov V.B., Savinov V.P.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

1. Introduction

One of the most prospective modern ion beam and plasma technologies is surface modification of materials. Surface modification gives the possibility to enhance hydrophylic or hydrophobic properties of materials surface, i.e. improve printability, paintability, adhesion to metal coatings and deposited polymer films under conditions that basic volumetric properties of materials remain unchanged. One of the most prospective surface modification technologies is materials treatment in the gas discharge at atmospheric pressure. The paper represents the study of the physical properties of pin-plane and prolonged RF discharge in air as well as its influence on the materials surface adhesion and hydrophilicity.

2. Discharge configuration and experimental procedure

Two types of discharge configuration were used in the experiments. The first one corresponds to pin-plane geometry. The discharge was igni between pin 1 and grounded metal plate that were separated by the air gap with the length varied within the range 4-15mm. In some experiments the metal plate was covered by the dielectric layer. The additional gas flow was organized with the help of gas distributor. The discharge supported by the generator working on frequency 13.6MHz.

The second type discharge being the prolonged one was generated with the help of the device schematically shown on Fig.1. The ignition electrode 1 helped to initiate discharge between metal string 1 and metal plate. The air flow having longitudinal and transversal components of velocity (in respect to the primary discharge) provided necessary homogeneity of the discharge.

In order to study discharge properties time dependencies of applied voltage and discharge current, volt-ampere characteristics and time averaged potential difference between plasma and electrodes.

In order to study the mechanism of the prolonged discharge formation video filming of discharge was carried out. As well the time correlation of 4 photodiodes signals assembled at different distances from the ignition electrode was studied.

In order to study the possibility of RF atmospheric discharge utilization for materials surface modification the samples of different materials preliminary cleaned by ethyl alcohol were mounted on the plastic layer positioned on the grounded plate, then after ignition of the discharge samples were treated by plasma during their multiple scanning in respect to the string. After treatment the wettability of the samples was tested on the basis of contact angle measurements.

3. Experimental Results

The volt-ampere characteristic of 13.6MHz pin-plate discharge is shown on Fig.2a. It is worth to note that in order to measure the VA curve the power of RF generator was increased step by step and corresponding values of RF voltage and current registered. The sections of VA characteristic corresponding to higher values of RF power are pointed by letters in ascending order starting from A.

The section AB of VA curve corresponds to the case when discharge is absent. After ignition of the discharge at the point B the discharge voltage reduces. The section CD corresponds to the conditions when the glowing part of the discharge originating near the pin does not touch the plate. In this case the discharge current is closed by the current of negative ions and displacement current. At the point D discharge touches the plate and the sheath between plasma and electrode is created. The decrease of discharge RF voltage takes place in this point. The point F corresponds to the transition of discharge to arc. The RF current represented on Fig.2a is the total discharge current. Fig.2b illustrates the dependence of active part of discharge current on discharge voltage. One can see that after filling the space between pin and plate by plasma at the point D the increase of RF power results in the active current increase and discharge RF voltage decrease. Thus stable discharge mode with negative differential resistance was observed. Most probably the heating of the gas, contraction of the discharge channel and thermal electron emission of the pin contribute to the appearance of the said mode.

We can see the results of video filming of 13.6MHz prolonged discharge. The first ignition of the flame in the vicinity of the ignition electrode takes place. Then due to the air flow the flame moves along the wire. After reaching the end of the wire the discharge turns off and the new one is ignited with the help of ignition electrode. The increase of transversal gas velocity leads to the increase of the discharge repetition frequency.

13.6MHz prolonged discharge were used for materials surface modification the samples of different materials such as polymers and metals.

Experiments showed that as a result of samples processing in the discharge the wetting angle of the PTFE, PE, PI and vinyl chloride decreased until 40° , 20° , 25° correspondingly, adhesion of PTFE being 4 times improved, the wetting angle of Al, SUS and carbon steel decreased until 10-20°.

4. References

- [1]. Proceedings of HAKONE YII Conference.
Greifswald, 2000.

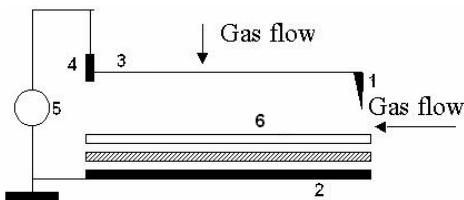
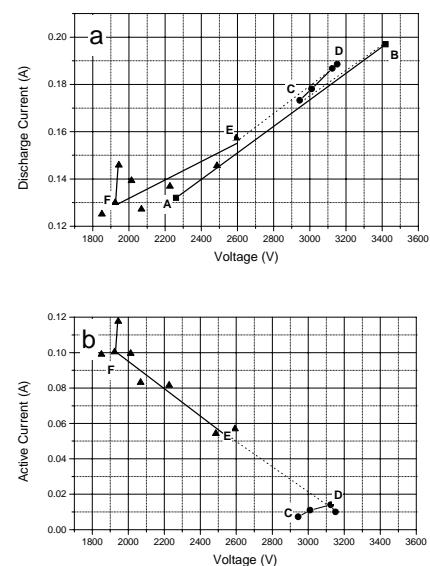


Fig1. The sceme of pin-plate experiment 1-pin, 2-plate, 3-sample, 4-gas distributor, 5 -RF generator. 6- matching box.

Fig2. VA characteristics of 13.6MHz pin-plate discharge. a) total discharge current, b) active current



New nanocarbon for the future of microelectronics

Korobova J. G., Aleksandrov A. F., Guseva M. B., Novikov N. D., Savchenko N.F., Khvostov V. V.

Physical electronics department, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

This paper describes a unique new material based on carbon. As all the elements of group IV of the periodic table of Mendeleev, carbon forms bonds between atoms is not due to overlap of major orbitals, but creating new, hybridized, orbitals. But unlike the other elements of group IV it is capable of forming different types of hybridization. Its two phases, corresponding to sp^3 (diamond) and the sp^2 -hybridization (graphite) have been well studied, are found in nature and artificially synthesized. sp^1 -carbon for a long time one could not detect. First new sp^1 -carbon (carbyne) was synthesized in INEOS by Sladkov A. M. in 1959 in an amorphous form [1]. There were obtained only amorphous or poorly ordered films and powders with crystallite size less than 100 nm. So linear chain-like carbon is stable only in nanofaze.

Present paper describes the first film material based on linear chain-like sp^1 -carbon - an ordered two-dimensional linear chain-like carbon (TDLCC) obtained at the Physics Department of Moscow State University [2].

The model of the atomic structure of the film was constructed. It is multilayer structure and each layer consists of sp^1 -hybridized carbon atom chains. These chains are densely packed in a hexagonal lattice. According to the pattern of the electron diffraction and atomic force microscopy the distance between the chains is in the range from 0.490 to 0.503 nm. In other words, the film structure consists of identical curved chains, which bends oriented randomly in relation to the axes of the chains. Curves of neighboring chains are correlated, it means they located in the same plane and equally directed. Chains straight only inside the layer and layers are connected by zigzags. The rotation of zigzags is correlated from layer to layer for all chains.

In forming of the structure of the TDLCC film and its stability the substrate plays important role [2]. It defines an "order parameter" - the maximum thickness of the TDLCC film, about 100 nm. TDLCC films structure becomes disordered at the greater thicknesses due to the cross-linking of the chains.

The STM study revealed that the TDLCC films have tunneling transparency. This effect has the same nature as the tunneling conductance of long hydrocarbon molecules deposited on a conducting substrate.

Experimental study of the vertical and horizontal resistance showed that the TDLCC films are excellent anisotropic conductors. The ratio of vertical to horizontal resistance is $\geq 2 \times 10^5$.

The conductivity along the chains is not dependent on temperature and the length of the chain, i. e. is not dependent on the thickness of the film. Along the chains there is a quantum conductance mechanism (tunneling), so electrons move along the chain without energy loss - the ballistic mode. There is a hopping conductivity across the chain; so films behave like dielectrics.

Thus, the electrons are moving like in a high vacuum along the chains, therefore, there is the perspective of a solid-state electronics, operating on the principles of vacuum ballistic electronics, and because of the distance between the chains of about 5 Å and the fact that the interaction between the chains is weak, then one can assume that there is an ensemble of the quantum filaments. Such electronics will retain the advantages of vacuum electronics - the speed and the absence of noise - and increase valuable qualities of solid state electronics - the possibility of miniaturization (almost boundless - to the atomic level) and integration. It is shown that TDLCC films can be doped and intercalated and receive one-dimensional semiconductors of n-and p-type based on such films. Donors can be the groups of N, NH₂, OH, CH₃, metals. Acceptors can be the groups NO₂, CH, S. Methods EELS and TEM showed that the doping atoms of H and N are embedded in the chain, creating strong chemical bonds with carbon atoms. At the same time, S atoms are placed between the chains and do not form chemical bonds. Thus, one-dimensional carbon electronics can be built on the principles of modern semiconductor electronics, where active and passive components are based on pn-transitions. The mobility of electrons in such systems is more than two orders of magnitude, than the best semiconductor samples at present. Switching speed, respectively, increases of 100 times. Thermal scattering is practically absent. Also there is no limit to miniaturization, which allows one to create an unlimited degree of integration. Systems engineering of such electronics will be a simple continuation of the modern achievements of microengineering on silicon. Only there will not be the physical limit of the minimization of integrated circuits here. The basic element of such electronics can be a carbon quantum filament.

There were suggested various options for devices based on TDLCC: converter e/m radiation (for example, UV, visible or infrared spectrum), the bipolar transistor-based film TDLCC, field-effect transistor on ballistic electrons, field-effect transistor and the method of recording information in a dense matrix [3].

Also, there were found some other interesting applications of TDLCC. In medicine, it can be used as a biocompatible thrombus-resistant coating, as a protective coating, as a sublayer for cold welding, etc in the industry.

References

1. Kydryavtsev Yu. , Evsyukov, S., Guseva M., Babaev V., Khvostov V. Carbon, 1992,30,213-221.
2. Shibaev P., Guseva M., J. Crystal Growth, 1992,119,399-402.
3. Novikov, ND, Koçak VD, Telegin GG, Novikov DN, MB Guseva, 2006, 2, 3-8.

Sensors of magnetic field based on high-frequency properties of nanocomposite materials

Melnikov V.A., Shalyguina E.E., Shalygin A.N.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Nanocomposite wires consisting of a highly conductive inner core and an outer soft magnetic shell have been studied intensively for the last few years [1–5]. Micron dimensions of these materials make them perspective for applications in miniaturised devices of modern microelectronics. In particular, they are used as micro sensing elements of high sensitivity sensors for detecting weak magnetic field [1]. The above sensors are based on using the magneto-field dependences of giant magneto-impedance (GMI). The presence of the highly conductive inner core in the composite wires intensifies significantly the amplitude of GMI (see, for example, [4 and 5]). At the same time, it is known also that the amplitude of GMI depends strongly on the near-surface micromagnetic structure (equilibrium magnetization distributions) of materials [6], which for the composite wires is practically unexplored. The aim of the present work is the complex study of micromagnetic structure and magneto-field dependences of the magneto-impedance of the nanocomposite NiFe/Cu microwires.

Nanocomposite NiFe/Cu wire samples were prepared by using electroplating process. The microwires of 20 μm diameter copper core were coated a NiFe layer of the 5-microns thickness by means of direct current electrodeposition using a typical Watts-type bath. The series of the wires with the content of Fe in the NiFe layer, C_{Fe} , varying from 19.3 to 26.8 %, were prepared. The microstructure of the samples was examined by X-ray diffraction analysis (XRD) and transmission electron microscope (TEM). The study of the micromagnetic structure of the nanocomposite NiFe/Cu wire samples was carried out employing magneto-optical micro-magnetometer having a surface sensitivity of about 15 nm of thickness depth and a spatial resolution up to 0.3 μm (described in [7]). By scanning the light spot of 1 μm diameter along the wire length L , the distributions of magnetization components (both parallel and perpendicular to the applied magnetic field) were measured by the means of the transverse Kerr effect. The alternating magnetic field of the frequency $f = 80 \text{ Hz}$ was applied parallel to the wire length L . The magneto-field dependences of GMI were measured by means of the four-contact HP4192A analyser. The relative change of impedance ratio $\Delta Z/Z(\%) = \{Z(H) - Z_{\text{sat}}\}/Z_{\text{sat}} \times 100\%$ were measured at different frequency f of the measuring current ($f = 0.1\text{--}50 \text{ MHz}$) and the cyclic variation of the magnetic field (from $+H$ to $-H$ and back), applied parallel to the current. Here Z_{sat} is the magneto impedance value Z at $H = 40 \text{ Oe}$.

According to XRD data, the NiFe layers have nanocrystalline structure, and the grain size was found to be 12 - 18 nm. It was found that the grain size D of the NiFe layer increases with enlarging the value of C_{Fe} . The data of the magneto-optical investigations indicated that there are the near-surface circular domains in the studied microwires, and the magnetization in the adjacent domains points in opposite ($\pm\theta_i$ with respect to L) directions, and the value of θ is about 90° . The main mechanism of remagnetization process is the rotation of local vectors in the circular domains. It was

found also that the size of the circular domains d decreases and the saturation field H_S increases with increasing the content of Fe (correspondingly, with increasing grain sizes) in the NiFe layers. The revealed dependence of $H_S(C_{Fe})$ and $d(C_{Fe})$ were explained by the structural changes of the wires with the variation of C_{Fe} .

The study of the magneto-field dependences of the impedance ratio $\Delta Z/Z(\%)$ showed that the observed maximum values of $\Delta Z/Z(\%)$ depend on the grain sizes also. In particular, the $\Delta Z/Z(\%)^{MAX}$ magnitudes increase with decreasing D , and the frequency diapason, in which the $\Delta Z/Z(\%)^{MAX}$ values are found, decreases. Moreover, the $\Delta Z/Z(\%)^{MAX}$ values in the nanocomposite microwires increases significantly (up to 10 times) as compared with amorphous microwires.

In conclusion, the obtained data allowed to give scientifically grounded recommendations as to increase the sensitivity of sensors on the basis of GMI.

References

- [1] R.S. Beach, N. Smith, C.L. Platt, F. Jeffers, A.E. Berkowitz, *Appl. Phys. Lett.* 68 (1996) 2753.
- [2] G.V. Kurlandskaya, J.M. Barandiaran, J. Gutierrez, D. Garcia, M. Vazquez, V.O. Vas'kovskiy, *J. Appl. Phys.* 85 (1999) 5438.
- [3] D. Garcia, G.V. Kurlandskaya, M. Vazquez, F.I. Toth, L.G. Varga, *J. Magn. Magn. Mater.* 203 (1999) 208.
- [4] A.S. Antonov, N.A. Buznikov, A.B. Granovsky, I.T. Iakubov, A.F. Prokoshin, A.L. Rakhmanov, A.M. Yakunin, *J. Magn. Magn. Mater.* 249 (2002) 315.
- [5] X.P. Li, H.L. Seet, Z.J. Zhao, Y.K. Kong, H. Gong, *Trans. Mater. Research Society of Japan*, 29, No 4 (2004) 1695.
- [6] L.V. Panina, K. Mohri, *J. Magn. Magn. Mater.* 157/158 (1996) 37.
- [7] E.E. Shalyguina, M.A. Komarova, V.V. Molokanov, *JETP*, .122, N 3 (2002) 593.

High-efficient adsorbents on the base of sp¹-carbon

Alexandrov A.F., Guseva M.B., Nischak O.Yu., Novikov N.D.,
Savchenko N.F., Khvostov V.V.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Need of high effective adsorbents especially became especially the light of actual in the light of environmental pollution problem, technical gas scrubbing problems in contemporary high-productive processes and necessity of universal cleaning material creation.

One of the most attractive materials from this point of view is the activated carbon, i.e. carbon having increased adsorption capacity. Fields of application of activated carbon are steadily extending now. It is because of very large specific surface of the activated carbon and a huge variety of atomic structures, which can be constructed on its basis.

The main obstacle in using such a material in large scales is its relatively higher cost which is determined by traditional technology used for its formation. This technology includes two main stages. The first one is a carbonization of carbon containing fibered precursors (PAN, cellulose etc.) and the second is an activation of carbonized material in the water vapor or in C0₂ gas. Both processes require long term high temperature treatment (above 900°C). As a result, 60-70% of the adsorbent produced final cost is due to energy consumption during the heating. Moreover, a large amount of volatile components arising during the process results in the high weight loss.

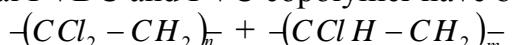
In this paper we propose the technology of the manufacturing of adsorbents on the basis of linear chain carbon (LCC). Its specific features are extremely low production cost as a result of low-temperature production technology (low-energy expenditure) and high output factor of initial material (yield 25% against 10%).

LCC is obtained by low-temperature carbonization (at room temperature) of polyvinilidenehalogenides (PVC, PVDC, PVDF).

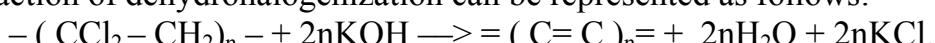
The feature of this manufacturing technology is also short time low temperature treatment (T=400°C, t=10 min). As a result, high-porous carbon material with high adsorption capacity is obtained.

The adsorbents have linear-chain structure (sp¹-type of hybridization). This kind of structure formed in source material remains after treatment in final product.

As a precursor material PVDC and PVC copolymer have been used:



The reaction of dehydrohalogenization can be represented as follows:



In the course of dehydrohalogenization Cl and H atoms split from the polymer molecule, forming chain carbon structure. Thus, the material containing 98% of sp¹-bonded carbon is obtained.

In all stages of the adsorbent formation, we have studied the composition and the structure of the obtained material. Morphology and atomic structure were explored by TEM (JEM-100C), electronic structure by electron spectroscopy (RIBER), chemical

composition by X-ray and Auger spectroscopy, bond type was determined using IR and Raman-spectra.

It was found that on all stages of the process the linear chain structure of carbon with sp^1 -type of hybridization was remaining.

The formation of porous structure was revealed in the carbon material being observed in TEM. The pore average size varied in the range 10-100 Å. Presence of the great amount of nanopores in the material contributes to production of carbon material with extended surface.

Mass loss of the precursor was investigated in preparation process. Dramatic mass loss of vacuum heated dehydrohalogenized PVDC samples takes place at temperatures below 300°C.

According to our measurements, the total mass loss of temperature treated dehydrohalogenated samples exactly corresponds to the theoretically calculated value of 35%, which indicates the absence of uncontrollable loss.

We choose standard procedure of benzene adsorption test to analyze the adsorption capacity. Benzene adsorption by LCC fibers has Langmuir character (monolayer adsorption), i.e. the amount of adsorbed substance exponentially approaches maximum adsorption capacity. The adsorption capacity strongly depends on the annealing temperature. Low adsorption capacity changes insignificantly at annealing temperatures below 360°C. While above 360°C the adsorption capacity increases dramatically and reaches its maximum value at T=400°C. Investigation of chemical composition showed that increasing of the adsorption capacity is related to removal of strongly bonded oxygen out of the carbon fiber (C=O bond) at temperatures above 350°C.

Commercial samples of activated carbon are made of cellulose and has benzene adsorption capacity 150-200 mg/g. The same adsorption capacity of our material is reached at temperature 250°C. At annealing temperature 350°C maximum adsorption capacity reaches value of 450-600 mg/g.

The benzene adsorption capacity of fibred LCC adsorbents twice exceeds the value of adsorption capacity of industrially used carbon fibered adsorbents.

New organic complexes of iron (spin crossovers) for creation of optical sensors and memory devices.

¹Khenkin L.V., ¹Novakova A.A., ¹Kiseleva T.Yu., ²Sotsky T.Yu., ²Usol'tseva N.V.

¹Department of solid state physics, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

²Ivanovo State University

In some metallo-organic complexes of transition metals, called spin-crossover materials (SCO), can occur change of a central cation metal state – transition from High Spin (HS) to Low Spin (LS) state. The SCO centres display labile electronic configurations switchable between the high- and low-spin states leading to distinctive changes in magnetism, colour and structure, which may be driven by a variation of temperature and/or pressure and by light irradiation. Spin transitions are connected with change of physical properties of all compound as a whole that gives possibilities of practical application of spin crossovers as optical elements of displays, sensor controls of pressure and temperatures, cells for devices of storage of the information, contrast agents for magneto-resonant images [1,2].

For SCO with different structure and a chemical composition of compound a curve of spin transition – dependence of HS state quantity on temperature – has a different form. In particular, frameworks of a transition temperature interval move, the curve inclination changes, and there can be a hysteresis at receiving data upwards and downwards on temperature. For today the primary goal is a creation of spin-crossovers materials with spin transition area close to room temperature.

In our work a series of samples – complexes of bivalent iron with ligands of vary chemical composition on the benzylmedasol basis has been synthesised and investigated. The received compounds differed from each other by colour which, as it is known, depends on a spin state. These samples ligands differed in the length of alkyl radical, and also in the nature of anion (Cl^- or ClO_4^-). The investigations were performed by methods of Mossbauer spectroscopy and measurements of a magnetic susceptibility which allowed to receive the information about a spin transition curve form and the changes of iron valent and spin states.

As a result of investigations the features of spin transition temperature frameworks have been revealed. It was shown that the increase in length of alkyl radical leads to displacement of spin transition temperature intervals up to higher temperatures area. For group of the samples containing anion Cl^- it has been established that the most part of ions Fe(II) converted into ions Fe(III) which also have influence on properties of spin transition. The quantity of ions Fe (III) in investigated complexes increased at increase of alkyl radical length.

[1] O. Kahn and C. Jay Martinez, Science, 279, 44-48, (1998)

[2] V. Stavila, M. Allali, et. al., New J. Chem., 32, 428–435 (2008)

Distant Olimpiad Competition for School Students “Step to Physics”

Prudnikov V.N., Yanyshhev D.N., Skvortsova N.I.

Center for Distant Education of Physics Faculty in Lomonosov Moscow State University.

During the last years the IT influence on education is connected with the growth of educational internet resources. An application of IT and internet technologies is assigned as one of the major ways to reform and improve school educational system. The Distant Internet Olimpiad can be treated as the very important example of such application.

Physical faculty of the Lomonosov Moscow State University is well known for performing high level and large scale Physics Olimpiad competitions. Physical faculty performs the regional Physics Olymпиad annually under conditions of national importance supported by The Ministry of Education and Science of the Russian Federation. It is the open competition for middle school students and professional education students. Olimpiad competition is organized in Moscow and the attendance of participants is essential. To provide the opportunity of participation to the students of remote regions of Russian Federation the decision to perform distant internet Physics Olimpiad equal to the first round with essential attendance was accepted.

According to this decision Center for Distant Education of Physics faculty organized the Distant Olimpiad Competition called “Step to Physics” in December 2008.

It was targeted to provide the participation opportunity to every student of every Russian region.

The school students of 9th, 10th and 11th grades were invited to take part in the competition under the control of local coordinator (usually teacher, school staff or parent). The participants could be either organized into the groups of school students who used the computer classroom at school or connected from their home computers.

As the main informational portal the <http://olympiada.msu.ru/> was created. The official partner in Olimpiad organization was Google Company, which provided informational and technical support.

The registration by fulfilling the registration form was necessary for participation in “Step to Physics” Physics Olimpiad. The registration leaded the participants to creation of individual and constant email address with the opportunity to receive the Olimpiad information letters.

According to the geographic arrangement of Russian Federation whole the territory was divided into two time zones to perform the Olimpiad in suitable local time. The first time zone for participants of regions to the west from Krasnoyarsk (local time from GMT+2 to GMT +7). The second time zone for regions to the east of Irkutsk (local time from GMT+8 to GMT+12).

Each participant was given 5 tasks to solve and sent during the 6 hours of competition time. The tasks were presented on the Olimpiad website. The answers could be sent in the form of text file, MS Word document as well as scanned high resolution pictures.

Internet mailer to large recipients list was used to communicate organizers and participants in a very effective way. In the same time internet mail server keeps all the correspondence so the messages can be treated to judge any of the moot points. To solve any of technical problems and questions rapidly the special support and monitoring team organized.

It is also very remarkable that Distant Olimpiad attracted the great interest from Moscow students as well as from regional students. About one thousand and a half participants from all country regions

were registered by the time of Olimpiad started. There were also some foreign participants from close located countries.

As a result of Distant Internet Olimpiad the 70 winners were chosen. The scores gathered by the participant of the last school grade were accounted in the second round with essential attendance so that the winners were invited to Moscow for the second round of Moscow Physics Olimpiad. 46 of 70 Distant Olimpiad winners won the final round of Moscow Physics Olympiad. School students of the last grade who got the diploma of first and second degree were given the special privileges to enter the Physics faculty of Moscow State University equal to the highest Common Government Physics Exam score by the decision of Central Entrance Committee.

Winners who are the students of 9th and 10th school grades were given the special chance of free education on the preparation distant courses of Physics faculty.

The participation in distant round and the round with an essential attendance allowed many school students to become the students of MSU Physics faculty in 2009. Our future targets concern performing Distant Internet Physics Olimpiads annually.

It is decided to perform the Second National Distant Internet Physics Olympiad on December the 13 year 2009.

Set of practical works on metamaterials
„Waves in metamaterials with strong coupling between
elements. Superlens”

¹Radkovskaya A.A., ¹Prudnikov V.N., ²Zakharov P.N.,
²Babushkin A.K., ²Korolev A.F., ²Sukhorukov A.P.

¹Magnetism department, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University
²Photonics and Microwave Physics department, Physics faculty, Lomonosov
Moscow State University

Development and implementation of innovative educational programs which ensure rapid inclusion of new knowledge into educational theoretical and practical courses are necessary prerequisites in preparation of specialists in burgeoning fields of modern science. Metamaterials are systems of microresonators exhibiting unique electromagnetic properties, which can be controlled by varying parameters of the systems. Metamaterials research represents fundamental interests and opens new possibilities in applications such as near field manipulating devices such as novel type of electromagnetic sensors, lenses with subwavelength resolution, miniaturized antennas, cloaking devices etc.

The broad interest to metamaterials was triggered by the first practical demonstration of the negative refractive index in 2001; the first theoretical work however dates back to 1960.

For investigations of magnetic metamaterials, within the Faculty of Physics we developed and installed a modern measuring setup on the basis of the vector network analyser Rohde&Schwarz ZFB20, enabling automatic scanning of magnetic fields along one spatial dimension with micron resolution. A manuscript “Description for Practical Work” has been prepared, including necessary theoretical and practical parts.

Main aim of the practical work is to study microscopic properties of metamaterial taking into account interactions between the unit cells, “artificial atoms” comprising the structure and to investigate properties of slow magnetoinductive waves which affect the electromagnetic response in magnetic metamaterials. The investigations should cover a wide frequency range from 20 MHz to 3 GHz.

For the first set of practical tasks in the MHz range, we constructed, following our original technology, metamaterial structures comprising periodic arrays of copper rings with inserted capacitors (ring diameter 23 mm, external capacitance 330 pF) of resonant frequency 51.7 MHz. Using additional tunable condensator accuracy in resonant frequency of 0.02% was established.

During the practical work undergraduate and graduate students are offered a series of investigations representing a complex study of metamaterials, from analysis of properties of individual resonators comprising the metamaterial to study of the magnetoinductive superlens providing near field imaging with subwavelength resolution. In particular, a detailed study of coupling mechanisms between the elements should be carried out, including anisotropic properties of the coupling coefficient.

Coupling between elements leads to propagation of magnetoinductive waves with specific dispersion characteristics. Propagation of both forward and backward magnetoinductive waves in the planar and axial arrays is demonstrated.

An experimental study of a biatomic metamaterial structure confirms existence of an acoustic and an optical branches in the dispersion of magnetoinductive waves, analogous to phonon dispersions in a biatomic solid.

Investigation of coupled metamaterial waveguides is carried out. Possibility of tailoring dispersion characteristics, controlling the width of the pass band and the split into two pass bands, are demonstrated.

The theoretical analysis of the near field lens with subwavelength resolution is provided; experimental verification is provided on a bi-layer magnetoinductive structure. Magnetoinductive superlens enables translation of radiosignals with subwavelength resolution. Potential applications include magnetic resonance imaging and spectroscopy (see Fig.1). A study of transmission properties of coupled magnetoinductive waveguides with tunable coupling is performed demonstrating the possibility of variable transmission by 60 dB making the effect potentially useful in devices.

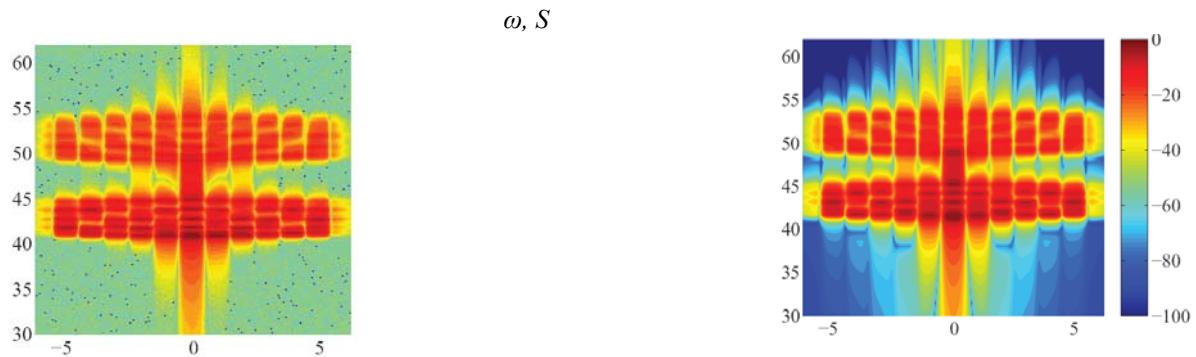


Fig.1. Magnetic field distribution in the image plane versus frequency: experiment and simulation. (from left to right).

The presented complex of practical tasks is based on recent developments within the field of metamaterials; it represents a self-contained set of investigations. In our view, it will be useful for undergraduate and graduate students of various specialisations.

Network student testing system

¹Belyshev S. S., ¹Ishkhanov B. S., ²Kuznetsov A. A., ¹Kurilik A. S.,
²Stopani K.A.

¹Chair of general nuclear physics. Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

²Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University.

Remote communications between teachers and students and various remote learning systems have become available recently due to the development of the internet. Students' knowledge check with the help of computer tests is becoming more popular. Usually in such a test just one answer is to be selected from several options. There are both qualitative questions and computational problems as test questions and several answer options in a typical test. A test is suitable for checking knowledge and learning a limited number of definitions and common problems, so testing is an essential additional tool for tracking progress in studies.

The present report is devoted to a remote testing system, developed on the chair of General nuclear physics at MSU. The object of the system is remote check of chair's students' studies progress. The students' knowledge of particular course material and ability to solve typical problems are examined. The second task of the system is automatic preparation of status reports. Technically this system is a web-site, developed in PHP language, using MySQL database to store test information. Program modules of the system provide a big number of problems with automatic generation of conditions, means of authentication and a results viewing interface.

All problems on the site are grouped by topics and courses. To log into the system a user must enter his name, group number and select a course which he is going to solve problems from. Every problem in a test has several parameters which can vary in a continuous or discrete way, so that for each student a problem will have unique conditions. Another important difference from commonly used testing systems is that the answer must be entered by a student numerically in proposed units and not selected from a list of choices. Answer is considered to be correct if it satisfies a certain accuracy which can also be adjusted. Default accuracy for all problems is 10%. A student sees his results immediately after submitting each problem.

In addition to these types of problems a new one is being developed now which will allow symbolic input and answers entered as symbolic expressions and formulas. This will help to further broaden range of available problems.

The main object of the system is routine checking of progress in studies. A teacher can at any moment add new problems from the set or give some already given problems again and watch the progress of test in real time. The system provides an interface for viewing test results. All results are stored in a database so there are plenty of ways to analyze them. For example a teacher can see what problems present the most difficulty (by time taken for solution or by a percent of successful solutions).

Use of automatic testing system have a positive effect on the educational process as the main aspect of education is student's personal activities. A student can try the same problem many times until he gets a correct answer. In this way he studies and checks

himself, and each time he gets a slightly changed problem.

The system can also be used to conduct classic testing in a computer class. In this way a testing can also be remote. A teacher can pose limits on maximum time and number of tries for each problem. A student then can pass the test at any convenient time. So this system gives broad opportunities for remote education. This poster report demonstrates a described above mode of classical testing. There are 40 questions randomly selected from total of 200 problems. The test is limited by maximum time. Results can be viewed immediately after passing the test.

Let us sum on the merits of the remote automatic testing system. Firstly it is accessible—only internet access is needed to use it. All problems of the same kind have different conditions in each testing session. At the same time a student has to solve each problem from the very beginning so he can't guess the answer simply by repeating his attempts and can't get correct solution from anybody because no one have got this very problem before him. The results can be seen immediately after submitting the answer.

A great number of topics and problems and an ability to solve them from any place, where internet is available, allows to achieve continuity of education process. Variety of results statistics report types gives a teacher a lot of data on each student. An ability to view solving process in real time helps to decide on how well was each topic understood and to make quick changes to learning plans.

The system of automatic student testing is in successful use on the chair of general nuclear physics of physical department at Moscow state university.

Natural fluorescence indicators of water ecosystem state

Fadeev V.V., Volkov P.A., Sysoev N.N., Fadeeva I.V.

Physics department, Lomonosov Moscow State University

The scientific base for using humic substances (HS) and phytoplankton as the natural fluorescence integral indicators of water state were developed. Both objects are always present in the coastal marine waters and in the inner water reservoirs and their concentration is sufficient for the specified function. The anthropogenic pollutions of these waters is the most intensive. Thus the using of methods and techniques that gain real time information is relevant. Specified indicators are suitable for that problem solving.

HS fluorescence band is wide and has its maximum approximately near 440 nm while excited with UV. This natural indicator can be used for the hydrological structure investigation and for the toxicant detection. Different water masses changes the intensity and the shape of the HS fluorescence band. The differences are at times minor but can be detected with the artificial neural networks algorithms.

HS have complicated structure and can interact with the different chemical solutions. In particular HS contains reactionary centers that can combine with the different metals and organic solutions, for example with aromatic hydrocarbons. These substances are investigated the most careful because represent a danger for living creatures when uncombined. The maximum permissible concentration for some polycyclic aromatic hydrocarbons is tens of micrograms per liter. Our investigations show that the specified type of combining of HS with pyrene and uranyl reveals with the fluorescence characteristics and the means of the photophysical parameters changes. Thus HS can be used not only as a fluorescence indicator of hydrological structures but also as an ecotoxicant presence indicator.

The phytoplankton presence in a natural water can be revealed for all algae groups with the echo-signal in the fluorescence band with maximum at 685 nm. The shape and the position of that band is independent from the algae condition. But it turned out, that the photophysical parameters of chlorophyll *a* are dependent on that condition and can be measured with the non-linear laser fluorimetry.

Our field investigations show that for the basic elements of the measuring system for the ecological monitoring of the coastal and the inner waters with using of phytoplankton and the humic substances as a natural fluoro-sensors the mostly perspective are a stationary coastal lidar and a laser spectrometer with the receiving-transmitting optical fiber probe. Possibly in the future a on-board mini lidar with a small pilotless aircrafts can be used.

Cleaning soils and parent rocks under existing infrastructure*

¹Koptsik S.V., ²Hänel M.

¹Physics faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Environmental Institute, Technology Transfer Centre, Bremerhaven, Germany

Today, the method generally used to address land pollutants is to excavate and remove the polluted land, which is then treated or transported to a landfill at another location. As a rule, these are costly methods that result in a heavy environmental load, due to long transport distances, among other factors. Furthermore, in many cases the excavation is not an option due to financial reasons. The development of new technologies for the in situ removal of pollutants from soil that do not result in heavy disturbance of soil cover has thus become a priority. The most perspective and cost effective method is in situ stabilization of heavy metals. The aim of stabilization is metals immobilization or transformation of their species to less toxic and less bioavailable forms.

The project aimed to develop and promote the use of a very simple and economically sound alternative to enable the on-site treatment of hazardous substances, especially targeted for large areas of polluted land, without any handling of the soil being necessary. The CLEANSOIL method consists on the insertion of several chords connecting a multitude of sockets inside the same number of parallel horizontal holes drilled in the ground (patent No. WO 98/51421, 1998). The sockets serve as holders for appropriate biosorbents that absorb the contaminant material. After a period of time sufficient to attain the desired decontamination effect, the system is removed and the sorbent is regenerated for further application.

Performance of remediation of heavy metal polluted soils was assessed in the field-scale experiments in surroundings of a large copper-nickel smelter in the Kola Peninsula, Russia. A series of materials (activated carbon, zeolite, bentonite, microspheres of fly ash, swollen perlite, swollen vermiculite) were tested in batch adsorption experiments to choose the most effective sorbent for nickel and copper immobilization; a swollen vermiculite was chosen. Under the field conditions the swollen vermiculite was located in a perforated horizontal pipes and as an entire layer at 0.5 m depth. Water, 0.01 M hydrochloric and 0.01 M citric acid additions were applied to increase heavy metals flow towards vermiculite. 3 years norm of precipitation was used, duration of experiment was 2 months.

The significant differences between different types of treatment and metal behavior in upper and lower horizons could be detected. Without addition of HCl or citric acid, metal removal was minor. Addition of diluted acids resulted in marked increase of metal concentrations in solution – up to an order of magnitude in comparison both with control and pure water flushing. Concentrations of both Ni and

* Authors are grateful to our colleagues and students from Soil Science Faculty, MSU and INEP RAN participating in field experiment and analytical work. Investigation was supported by FP6 EC (INCO-CT-2005-013420) and RFBR (08-04-01745).

Cu in soil solutions increased in all layers of acid-treated soils, and stayed practically the same in non-treated and watered soils. Metal concentrations increased with time, increasing their migration to lower horizons. However, the enhancement treatment was accompanied also by increase of Al and Fe concentrations in soil solutions and by pronounced soil acidification when hydrochloric acid was used.

The treatment with diluted acids led to redistribution of metals between different by binding strength soil components and with depth, especially for their mobile forms. Concentrations of mobile metals decreased in the upper soil in the end of experiment. However the fraction of total metals released from topsoil was not high. Though hydrochloric acid was more effective in metal mobilization and redistribution, probability of soil acidification and nutrient depletion is rather high. Citric acid can be recommended as a more appropriate and environmental friendly metal extractant as duration of its influence is confined by its rapid microbial decomposition.

The addition of citric acid has a strong effect on the solubility of Cu, moderate effect on the solubility of Ni and a slight effect on the mobilization of nutrients. In contrast to citric acid, effects of HCl addition for Ni were more pronounced and became higher with growth of amount of acid added. Addition of HCl had a significant and lasting impact on nutrients solubility. These data indicate that HCl was highly effective in mobilizing the heavy metals studied, but they also suggest that the potential of soil acidification and nutrients leaching is extremely high as well. Furthermore, results on metals concentrations in soil solutions under pipes location layer indicate that a considerable part of them remained in solution and was not adsorbed to vermiculite. This increases the risk of metal leaching to the ground waters. Therefore, careful management of remediation process and exact evaluation of soil and sorbent parameters seems highly desirable to determine whether chelate- or acid-enhanced remediation can be used safely without creating new problems related to ground water pollution and ecosystem disturbance.

Vermiculite was able to effectively bind heavy metals and can be used in combination with other enhancement treatments in relatively cheap technologies of soil remediation. However, considerable part of released metals was not captured by the system of perforated horizontal pipes filled with sorbent. The Cleansoil system should work more effectively at high metal concentrations and at low rates of water migration, when diffusion mechanism of metal migration will prevail. More frequent change of sorbent is also desirable.

So, the approbated method can be used for metal removal from contaminated soils under existing infrastructure and practically has no alternative when soil contaminated with wide spectrum of pollutants. Careful management of remediation process is needed due to the toxic effects of mobilized pollutants and likelihood of their penetration to ground waters.

Development of technology for complex monitoring the state of the lithosphere in seismoactive and volcano dangerous regions of Northern Caucasus on the base of precision deformographic, gravimetric and GPS/GLONASS observations

Milyukov V. K., Zharov V. E., Kopaev A.V., Mironov A.P., Myasnikov A.V.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Short description of technology

Technology for complex monitoring the state of the lithosphere in seismoactive and volcano dangerous regions of Northern Caucasus is developed for estimation of change in the state of lithosphere, the forecast of the catastrophic natural and anthropogenous hazards, development of navigating systems.

The system is based on complex using the results of geophysical, geological, gravimetric, geodetic (including satellite GPS/GLONASS) measurements. The technical instruments, which will be used for project realization, are or the best samples of the corresponding equipment, produced in the world (high-precision gravimeters ZLS Burris and Scintrex CG5, the absolute gravimeter FG-5, GPS/GLONASS receivers and antennas), or practically have no analogues (Baksan laser interferometer-deformograph). Creation of new tools, observation stations, and networks for gravimetric and GPS/GLONASS observation is planned during realization of this project. We are planned that the regional network of the GPS/GLONASS stations will be included in the Russian State Survey of time, frequency and the Earth rotation parameters determination and also will be integrated in the European system EPN (EUREF Permanent Network). The regional network of the pints of absolute gravimetry will be also created.

As a result of realization of the present work new knowledge of the state and characteristics of the lithosphere and its dynamics will be obtained, the regional zones of concentration of stress and strains will be revealed and estimated, the shallow magmatic chambers and the deep sources, feeding them, under "sleeping" volcanoes within the Elbrus volcanic center are revealed, mechanisms of modern movement of the North Caucasus will be studied. On the basis of the obtained knowledge geodynamic models of the studied regions and forecasting models for development of natural catastrophic processes and the phenomena will be constructed. The results of scientific research also will be used for perfection of methods of measurements and development of optimum methods of their mathematical processing.

The main results of the of applied character, which are given out during functioning of developed regional system of monitoring, are development of the methods for control of building and operation of complicated technical constructions in region, including hydraulic engineering knots, large industrial enterprises, tourist objects. The results of this study will be used for the forecast of changes of an environment and a climate.

Degree of readiness of the project.

It was created the base for complex monitoring of geophysical media in the region of the Elbrus volcano and geodynamics of the Northern Caucasus on the basis of GPS/GLONASS technology. The system assumes the further development based on the new equipment and new observation stations.

Developers

The laboratory of the laser interferometry of SAI MSU and the chair of celestial mechanics, astrometry and gravimetry of the Physical Department of Moscow University

Milyukov V.K., Laboratory Head, Doctor of Physical and Mathematical Sciences;

Mironov A.P., Junior Researcher;

Myasnikov A.V., Researcher;

Zharov V.E., Head Department, Doctor of Physical and Mathematical Sciences;

Kopaev A.V., Ph.D. in Physics and Mathematics;

Yushkin V.D., Researcher.

The senior students of the Physical Department of Moscow University.

There are more than 25 publications on the project subject in the main Russian and international journals.

Coolants and problem of ecological safety of environment

¹Pokazeev K.V., ²Babakin B.S., ²Voronin M.I., ¹Chaplina T.O.

¹Physics of the sea and waters of a land department, Physics faculty, Lomonosov
Moscow State University

²Faculty of refrigerating techniques and technology, Moscow State University of
Applied Biotechnology,

The environmental problems, which have risen before mankind in second half of 20 centuries, are a subject of concern of all world community. Necessity of their decision assumes association of efforts of the international community, development of the international cooperation with a view of protection of a surrounding environment. Presently special danger get: destruction of natural ecosystems, emission of hotbed gases, a lack and fresh water pollution, disappearance of woods and desertification, population growth, air pollution, degradation of soils and ecosystems, chemical pollution, an ozone layer exhaustion, an exhaustion of natural resources and infringement of global biogeochemical cycles.

The circle of the questions shined in given work, covers studying of models of global ecological crisis, mechanisms of climate changes, ozone layer problems, a hotbed effect, influence on environment of refrigerating techniques and technologies, working out of samples of the power saving up refrigerating techniques working on alternative ozon-safe substances, and means of service of refrigerating systems.

The analysis of history of ozone crisis, numerous experimental and theoretical researches has shown that along with the anthropogenous influence connected with industrial production ozon-destroying of substances, defining contribution to variability of an ozone layer is brought by natural geophysical processes. Proofs of a great influence of natural climate changes on a stratosphere and an ozone layer are furnished. The analysis of various variants of prevention of global climate change is made.

We had been carried out the analysis of influence of coolants and design features of refrigerating systems on environment. Among the substances influencing ozone, a special role play Chlorineftorcarbons (ChFC) and HydroChlorineftorcarbons (GChFC). The substances widely used in quality пенообразующих of materials, coolants, aerosols, solvents. Alternative replaced of chladons are natural working substances: ammonia, hydrocarbons, Oxide carbon, water, air used already in the refrigerating techniques.

In work the analysis of modern workings out on creation alternative of the ozon-safe substances meeting requirements of the international agreements is carried out, and the expediency of their application is proved. However it is necessary to consider that chaotic transition to natural coolants in exchange of the chladons will lead to the big economic losses. This process should be subordinated the certain strategy developed by leading experts in the field of refrigerating techniques.

Modern manufacture of an artificial cold is one of the basic consumers highpotential energy. On a share of the refrigerating industry 15 % of a world current consumption are necessary. Therefore among the major tendencies of the further progress of modern refrigerating techniques and technology the considerable role

belongs to reduction of power inputs by reception of an artificial cold and decrease in losses at its consumption.

For the refrigerating techniques and technology rather slow course of processes warmly - and mass-changing in refrigerating systems is characteristic and at conservation of foodstuff. The basic directions of the decision of this problem - working out of methods and the means intensifying heat - and mass-changing processes both at a stage of manufacture of an artificial cold, and for stages of its consumption.

One of the most effective and possible decisions by working out of power saving up refrigerating techniques and technology is joint application of traditional and electrophysical methods in the refrigerating industry. The technologies based on electrophysical methods, have a number of advantages in comparison with existing technologies among which it is necessary to note small power consumption, ecological safety and high efficiency.

Use of the electrokonvection allows to intensify heat exchange of devices and to lower their power consumption. Use in central airs of electrophysical methods allows to carry out effectively clearing of air of mechanical suspensions and microorganisms. Use of the electrokonvection in freezing devices has allowed to intensify processes of refrigerating processing of foodstuff. The samples of refrigerating techniques meeting these requirements have been developed.

Electrotechnology application in auxiliary devices of refrigerating systems (oil separators, separators of a liquid, etc.) is perspective. A new stage of development of electrotechnology is working out of EGD-SYSTEMS and on their basis of new types of compressors, pumps, fans, devices for the refrigerating industry.

On materials of this work the manual "Ecology and the refrigerating technics" has been published. The grant is recommended of the Ministry of Education Russian Federation in the field of transport cars and transportno-technological complexes as the manual for students of the high schools trained on a specialty 190603 – "Service of transport and technological cars and the equipment (a refrigerating machinery, the equipment and central airs)", directions of preparation 190600 – "Operation of ground transport and the transport equipment", in the field of power and electrical engineers as the manual for students of the high schools trained on a specialty 140504 – "The refrigerating, cryogenic technics and air-conditioning", in the field of technology of raw materials and products of an animal origin as the manual for students of the high schools trained on specialties 240902 – "Food biotechnology", 260301 – "Technology of meat and meat products", 260303 – "Technology of milk and dairy products"

It is received 200 copyright certificates and patents of the Russian Federation, for example, the patent of the Russian Federation № 2145407, № 2295393 etc.

Anomalies of gravity field: measurements and interpretation

Jarkov M. V., Kopaev A.V., Zharov V.E., Kurilovich B.M.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Gravitational gravity surveying (or gravimetric) is one of the methods of studying of the geological structure of the upper layers of the Earth and exploration of minerals. It is based on studying the properties of gravity field. The source of the field is the mass of rocks. The difference in their density is the basic prerequisite for the successful application of the gravitational method.

The force of gravity at the Earth's surface varies from 9.78 m/s² at the equator to 9.83 m/s² at the poles. Gravimetry use other units of measurement - 1 Gal (10-2 m/s²), named in honor of Galileo Galilei and 1 {muGal} (10-5 m/s²). In microgravimetry traditionally used unit is 1 {mc Gal} (10-6 Gal or 10.8 m/s², 10-9g).

Gravitational measurements is actively used for exploration of small anticlinal structures, which are promising for oil and gas search, zones of untightening deconsolidation of limestone or other rocks, in search of ore and non-metallic deposits. This method gives reliable predictions of oil and gas areas using quantitative and qualitative characteristics of the microstructure of the gravitational field. The significant amplitude anomalies, confidently allocated to the background of geological and measurement noise, the presence of subvertical interfacial density and the possibility of approximation of geological objects with simple geometric bodies contribute to the successful solution of regional problems.

Microgravimetry, is a promising method of engineering geophysics, very effective to search for near-surface untightening (cavity, karst, microfaults). Thus, a cavity filled with water and sand (typical karst formation), creates a smaller gravitational effect than the air cavity (an abandoned underground tunnel or basement). The method of microgravimetry is to measure very small variations in Earth's gravitational field and interpret them as manifestations of small underground untightening. Gravitational anomalies caused by such objects is not detectable by conventional gravity measurements, as they are being shadowed by much larger anomalies caused by a change in elevation, plane coordinates the attraction of different geological objects and terrain. Microgravimetry can be used in combination with traditional methods of engineering geophysics such as seismic measurements, electrical exploration and georadar, having a number of advantages in comparison with them. This includes a relatively low cost, lack of active intervention on the ground and insensitivity to electromagnetic interference and MS. A common practice in the identification of hazardous near-surface deconsolidations is a series of drilling wells in the area available for construction. The use of indirect and non-destructive geophysical methods, such as microgravimetry and georadar and much cheaper, drilling is only used to confirm the detection of potentially hazardous objects.

SAI MSU has two a high-precision automatic microprocessor gravimeters Scintrex CG-5 with a resolution of 1 mcGal. Accuracy of devices according to the measurements during 2005-2009 (Moscow and Moscow region, Tver region, Elbrus, Kamchatka), is 2-5 mcGal. Coordinate basis of precision gravity observations is provided by a set of stationary and mobile GPS / GLONASS receivers Topcon and Javad, also available in the SAI MSU. Processing of observations performed with the

help of licensed software packages Pinnacle and Bernese, that allow to determine the coordinates of the points with millimetr accuracy. Geological interpretation of results is carried out using licensed software package Oasis Montaj.

On-line laser sensor for natural waters contamination based on the photosynthetic organisms as fluorescent bioindicators

Gostev T. S. (1), Kouzminov F. I. (1), Moiseev S. A. (1)

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Using natural components of ecosystem as indicators of its functional state has become the most advanced ecological monitoring strategy. Due to high sensitivity to the environmental changes — such as environmental contamination, climatic and illumination regime variations — photosynthetic organisms provide ample opportunities for bioindication. Unfortunately, determining parameters of photosynthetic apparatus, which are the most sensitive to the changes of the environment, and obtaining them in the real time mode is still a difficult task.

The fundamental possibility of using phytoplankton as on-line sensor of natural waters contamination is reported in the paper. It is based on the newest approach of evaluation of the photophysical parameters of chlorophyll *a* molecules using the method of nonlinear laser fluorimetry. One of the main differences from the existing classical (not laser) optical methods of investigation and monitoring of photosynthetic organisms is that nonlinear fluorimetry allows to obtain parameters at the molecular level. Another significant feature of the method is the parallel determination of up to four photophysical parameters for one measurement.

The method is based on the use of pulsed laser radiation of high power spectral density to excite the fluorescence of chlorophyll *a* molecules. This evokes various photophysical effects in the photosynthetic apparatus that are not observed in other optical methods due to low flux density of exciting radiation, such as singlet-singlet annihilation of the excited states of chlorophyll *a* molecules, as well as the dynamic depletion of the ground state. These effects lead to the fact that the dependence of the fluorescence intensity on the exciting radiation is nonlinear — there is saturation of the fluorescence. Experimental curve showing this relationship is called the fluorescence saturation curve.

The model of fluorescent response of the photosynthetic apparatus to high-power pulsed laser radiation is described. The saturation curve is determined by the values of four generalized (each characterizes several different processes) molecular photophysical parameters: σ — excitation cross section of chlorophyll *a* molecules, τ — lifetime of the excited states, m_0 — maximum rate of singlet-singlet annihilation of the excited states of chlorophyll *a* molecules, Φ_0 — normalized fluorescence intensity in the absence of saturation. High sensitivity of these parameters to the state of the photosynthetic apparatus was shown in previous studies.

To demonstrate the fundamental possibility of the use of phytoplankton as a bioindicator of natural waters contamination, laboratory experiments for evaluation of the molecular photophysical parameters of algae *Chlorella pyrenoidosa* in the presence of the herbicide DCMU and copper ions Cu^{2+} in different concentrations were conducted. The chlorophyll *a* fluorescence was excited with solid-state pulsed

laser with the following parameters: pulse duration — 20 ns, wavelength — 532 nm, pulse energy — up to 10 mJ. Photons flux density in the exciting radiation was varied from 10^{21} to $10^{25} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Below are the experimentally determined photophysical parameters of cells phytoplankton.

Sample	$\tau, \times 10^{-10} \text{ s}$	$\sigma, \times 10^{-16} \text{ cm}^2$	$\gamma n_0, \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$
Control	180	2,2	2,6
$\text{Cu}^{2+} 10^{-9} \text{ M}$	210	2,1	1,6
$\text{DCMU } 10^{-7} \text{ M}$	460	1,8	0,8

The values of photophysical parameters of Chlorella pyrenoidosa in the presence of CU^{2+} ions, DCMU and for the control sample.

The above results show that the photophysical parameters of phytoplankton determined by the method of nonlinear fluorimetry reveal the presence of pollutants in minimal concentrations, and the variation of parameters depends on the type of pollutant. The technical implementation of the method enables remote monitoring of these parameters on-line.

Laser Raman analyzer of liquids with complex software

S.A.Burikov, T.A.Dolenko, S.V.Patsaeva, V.I.Yuzhakov

Physics Department, Lomonosov Moscow State University

In the number of practical problems of diagnostics of liquid media non-contact methods with their real-time realization are needed. Such are the optical methods, in particular, Raman and fluorescence spectroscopy.

Suggested laser Raman analyzer is intended for non-contact real-time diagnostics of liquids for determination of injurious and dangerous admixtures and qualitative and quantitative analysis of liquid multi-component mixtures.

Principle of functioning of device is based on excitation of spectral response of liquid media (Raman scattering or fluorescence) by laser radiation, registration of response by optical detector and analysis of spectra using novel mathematical methods. It is provided opportunity of excitation of media by radiation with number of wavelength (using of several lasers or several harmonics of one laser). It allows to appreciably increase the number of determined substances and to provide greater reliability of their quantitative analysis.

Registration of spectral response can be done in three variants:

- 1) registration of spectra of samples of liquids in cuvette;
- 2) non-contact sensing of liquids in transparent containers (in case of drinks – in closed bottles);
- 3) sensing of liquids using fiber – for diagnostics of liquids in cans, barrels etc.

System of registration consists of monochromator (focus 300 mm, grade 1200 strokes/mm) and cooling CCD detector. System provides resolution 4 cm^{-1} . It is provided work of device in 90° - and $\pm 180^\circ$ - scheme of sensing. Edge-filter allows to approach up to 100 cm^{-1} to excitation wavelength. It is suggested to measure spectra in region $100 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. It provides obtaining nearly exhaustive information about spectral bands of various molecular groups. It is suggested to measure polarized and depolarized spectra. Ratio of depolarization is additional identification parameter along with position, intensity and shape of spectral bands.

Device is equipped by complex software (programs for quantitative analysis of spectra and program software Neuroshell2 which provides using artificial neural networks for solution of problems of pattern recognition) and Genetic Algorithms.

Problems, which can be solved by using this Raman analyzer:

- 1) determination of combustible and toxic liquids, control of injurious admixtures in drinks (for example during inspection on transport);
- 2) determination of type and partial concentration of inorganic compounds in technological, manufacturing waters, seam waters (up to 5-6 components in solution);
- 3) determination of concentration of organic compounds in multi-component liquids (fuel, water-ethanol mixtures).

Field of application of device – safety, decreasing of risk, control of quality of foodstuffs, ecology.

Advantages of realized by Raman analyzer method are non-contact sensing, possibility of real-time analysis of liquids without preliminary preparation of sample and using expensive reagents. Suggested laser Raman analyzer differs from known commercial devices by its lower cost, compactness, using several excitation wavelengths, registration polarized and depolarized spectra, using complex software.

Authors of this project with using laboratory model of suggested device successfully solved problems of identification and determination of concentration of inorganic compounds in multi-component liquid media [1-3], diagnostics of water-ethanol solutions [4-7].

1. S.A. Burikov, T.A. Dolenko, V.V. Fadeev, and A.V. Sugonyaev. New opportunities in determination of inorganic compounds in water by method of laser Raman spectroscopy. *Laser Physics*, vol. 15, № 8, 2005, pp. 1-5.
2. S.A. Burikov, T.A. Dolenko, V.V. Fadeev. Identification of inorganic salts and determination of their concentrations in multi-component water solutions using water Raman valence band by means of artificial neural networks. *Neurocomputers: elaboration, application*, 2007, № 5, pp. 62-72 (in Russian)
3. S.A.Burikov, T.A.Dolenko, V.V.Fadeev. Identification of inorganic salts and determination of their concentrations in water solutions from the Raman valence band using artificial neural networks. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2007, v.17, N4, pp.554-559.
4. S. Burikov, T. Dolenko, S. Patsaeva, V. Yuzhakov. Diagnostics of water-ethanol solutions by method of Raman spectroscopy. *Optics of atmosphere and ocean*, 2009, v. 22, № 11, in press (in Russian).
5. S. Burikov, T. Dolenko, V. Yuzhakov, S. Patsaeva. Non-contact technique for alcohol quantification in aqueous ethanol solutions using Raman spectroscopy and data processing. 21-st Colloquium on high resolution molecular spectroscopy. August 31 – September 4, 2009, Castellammare di Stabia, Italy. Abstract book, p. 70.
6. S.A.Burikov, T.A.Dolenko, S.V.Patsaeva, and V.I.Yuzhakov. Raman spectroscopy of aqueous ethanol solutions. IX Int. Conf. "Atomic and molecular pulsed lasers". Sept. 14-18, 2009, Tomsk, Russia. Abstract book, p. 73.
7. S.A.Burikov, A.V. Grachev, T.A. Dolenko, Patsaeva S.V., V.I. Yuzhakov. Structural peculiarities of water-ethanol solutions according to data of association of molecules rhodamine 6G and Raman spectroscopy. Int. Conf. "Photonics of molecular nanostructures" Sept. 16-19, 2009, Orenburg, Russia, Proc., pp. 13-16.

Passive millimeter radio-wave imaging systems development, intended for detection hidden intrinsically dangerous items

Pirogov Y.A., Tischenko D.A., Gladun V.V., Kotov A.V., Pavlov R.A.,

Magnetic Tomography and Spectroscopy Center, Lomonosov Moscow State
University

Terrorism is the new world security threat for many countries. Struggle against terrorists become national problem. This is the reason to improve qualitative adjectives threat detection system which situated in public accommodations. But existing detection systems cannot provide effective visualization of dangerous items which are concealed under clothes. “Open” examination in many cases is not possible because of lack of time and complicated conditions of observation. In the case, it would be useful hidden passive system to scan subject of inquiry.

The development is directed on creation a passive millimeter radio-wave imaging system intended for remote detection of hidden intrinsically dangerous items (weapon, explosive materials, including made of plastic and ceramic). The device is based on capabilities to receive millimeter radio-wave by radiometer. The radiometer is highly sensitive receiver which enables to detect low-level radiation from items with various properties. Interaction of substances with microwave radiation are different. They have distinct factor of reflection and absorption. This principle underline the creation of the device for brightness temperature measuring of the microwaves irradiating materials.

Passive millimeter radio-wave imaging system can be used to detect concealed threat in public accommodations (airports, railway stations and stadiums). System possesses ability to control visitors of buildings and other indoors.



Fig 1. Model of new radio-wave imaging system.

Spectra and luminescence efficiency of semiconductor chips systems based on gallium nitride heterostructures and phosphor as a basis for effective white LEDs development

Lyapin I.D., Turkin A.N.

Lomonosov Moscow State University,
Faculty of Physics, Moscow, Russia

Semiconductor chips systems based on gallium nitride heterostructures and phosphor are successfully used for effective white LEDs development. Phosphors based on yttrium aluminum garnet activated by cerium are usually applied. Phosphor can be excited by blue emission band, which in addition to yellow-green phosphor band will give white color. White LEDs based on heterostructures with InGaN/AlGaN/GaN multiple quantum wells developed by Russian companies were studied. It is shown, that the “warm” white light LEDs had blue emission bands maximum on 457 nm and they varied on 3 nm with current change from 10 to 350 mA. Phosphor emission band maximum was situated on 550-552 nm. Intensity in the emission band maximum to intensity in the phosphor band maximum ratio was 0,62-0,73. Spectra had correlated color temperature of 4800-5100 K and light efficiency (lumen - equivalent) of 430-440 lm/W. The emission band maximum of “cold” white light LEDs was on 455-458 nm and they varied on 3 nm with current change from 10 to 350 mA. Phosphor emission band maximum was situated on 530-533 nm. Intensity in the emission band maximum to intensity in the phosphor band maximum ratio was 1,4-1,7. The specimens had correlated color temperature of 8500-8700 K and light efficiency of 350-370 lm/W. A noticeable peak of rare earth elements was found on wavelength of 694 nm on LEDs spectra. Problems of phosphor development for “warm” light LEDs with high color rendering index are being discussed.

There are different ways of developing visible range LEDs and one of them is phosphor exciting by ultraviolet radiation. The LEDs with green phosphor excited by ultraviolet emission band were studied. The ultraviolet band maximum intensity was 105 times lower than phosphor emission band maximum. For the first time it is shown that such green LEDs can have light efficiency (lumen - equivalent) of 500 lm/W and it is better than analogous LEDs based on InGaN/AlGaN/GaN heterostructures (about 400 lm/W). This could be significant for the practical applications.

Light modulation at collinear acousto-optic interaction

Mantsevich S.N., Balakshy V.I.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

In modern acousto-optics, solid materials such as crystals and glasses are mainly used. In these materials, the axes of anisotropy which define the polarization of optical eigenmodes either are predetermined by crystal symmetry or appear under the action of ultrasound excited in the medium. However, in any case the magnitude of the AO effect strongly depends on the incident light polarization. So the correct choice of the input light polarization is very important in any AO experiment.

If we deal with anisotropic medium the incident radiation should have the polarization of one of the medium eigenmodes. In any case the magnitude of AO effect depends strongly on the polarization of incident light. If the incident light is not primordially polarized, polarizer is mounted on the input of the system to polarize the light. In this process the half of the incident optical power is being lost. The problem of AO interaction for arbitrary and un - polarized light is undoubtedly interesting for practical and theoretical physics. The question about the influence of light polarization on collinear diffraction characteristics is open until now. This work presents results of such an investigation. The calculations have been made in the plane-wave approximation. Preliminary experiments are carried with an AO collinear cell made of a calcium molybdate.

If the incident optical radiation is not polarized entering the crystal, the optical wave is split into two waves with orthogonal polarization. It is clear that in the general case these two waves are not equal in amplitude. Since the phase matching condition is fulfilled for the both components equally, they diffract in the acoustic field independently from each other.

At the system output, these four waves interfere with each other. Beatings of shifted and unshifted components result in appearing intensity light modulation with the acoustic frequency Ω , while the beatings of differently shifted components and give intensity modulation with the frequency 2Ω .

We should point out that this is the only case of AO interaction when after the scattering on the monochromatic shear acoustic wave the diffracted light turns out to be modulated by intensity.

Light diffraction in acoustic field of a non-homogeneous piezoelectric transducer at high harmonics frequencies

Revenko A.V., Balakshy V.I.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

The research is devoted to theoretical investigation of wedge-shaped piezoelectric transducers excited at the frequency of the third harmonic. In acoustics, the wedge-shaped transducers have already been studied in the context of the problem of ultrasonic frequency band broadening or creating an acoustic beam with scanning directional diagram [1-4]. However, the application of similar transducers in acousto-optics has specific features. Here, the knowledge of integral transducer characteristics, such as frequency band and efficiency of electric-to-acoustic power conversion is not sufficient for evaluation of transducer quality and its appropriateness for solution of acousto-optic problems. The acoustic field structure and its changing with frequency are of great importance as well [5,6].

In our work, the problem of the wedge-shaped transducer excitation has been solved in the approximation of small variations of the piezoelectric plate thickness. Relationships for the electrical impedance and the electric-to-acoustic conversion coefficient have been obtained. Their frequency dependences for different parameters of the transducer and the acousto-optic cell have been calculated. Investigating electric characteristics of the wedge-shaped transducer at its third harmonic, we have revealed an essential extension of the frequency band without any noticeable decrease in the conversion coefficient. It has been shown, that for the wedge angle of only 0.25 degree it is possible to obtain 5 times wider frequency range in comparison with the homogeneous transducer.

It has been ascertained that a complicated amplitude and phase structure of the acoustic field excited by the wedge-shaped transducer influences essentially acousto-optic diffraction characteristics. The phase non-homogeneity gives a more noticeable effect, showing itself in changing the Bragg angle and the diffraction efficiency. The performed analysis opens up new facilities for improvement of acousto-optic devices.

1. Jayet Y., Perdrix M., Goutte R. // Ultrasonics, 1981, v. 19, p. 179.
3. Breazeale M.A., Du G., Joharapurkar D. // J. Acoust. Soc. Amer., 1990, v. 88, p. S167.
4. German L., Cheeke J.D.N. // IEEE Trans., 1993, v. UFFC-40, p. 140.
5. Balakshy V.I., Linde B.B., Vostrikova A.N. // Molec. & Quant. Acoustics, 2006, v. 27, p. 7.
6. Balakshy V.I., Linde B.B., Vostrikova A.N. // Ultrasonics, 2008, v. 48, № 5, p. 351.

Applied aspects of non-linear magnetic response in magnetostatically-coupled microwires

^{1,2}Samsonova V.V., ³Ipatov M.P., ³Ilyn M.I., ³Zhukova V.A., ¹Perov N.S.,
³Zhukov A.P.

¹Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

²Institute for Theoretical and Applied Electromagnetics of RAS

³Departamento Física de Materiales, Facultad de Químicas, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Universitatea, San Sebastián, Spain

Modern magnetic materials family of the thin glass-covered wires with reduced geometrical dimensions (of order of 1-30 μm in diameter) has gained large importance within last few years [1]. These thin wires possess excellent soft magnetic properties [2]. There are extremely low coercivity, H_c (in certain compositions of ferromagnetic nucleus with vanishing magnetostriction constant $H_c \approx 4 \text{ A/m}$ has been observed), attractive magneto-transport properties (Giant Magneto-impedance effect - GMI, Giant Magneto-resistance effect - GMR) and for certain compositions - magnetically bistable behaviour associated with large Barkhausen jump and fast domain wall propagation with the velocity $V \sim 1500 \text{ m/c}$ [3]. Enhanced magnetic properties and reduced dimensions make these wires suitable for substitution of the conventional magnetic materials in the different applications. For example tags currently used in the anti-theft systems usually contain soft magnetic materials. They provide the fast variation of the magnetization even in the relatively weak excitation field, giving rise to the generation of the complex signal in the pick-up coils. It has been shown that the harmonics with the multiple frequencies facilitate the tags detection and improve the reliability of the whole system [4, 5]. The modern tags have been developing on the basis of soft magnetic ribbons. But using of the microwires makes the technology easier and cheaper.

Present work is related with improvement of the magnetic response of microwire array suitable for magnetic tag applications. To increase the amplitudes of the higher harmonics we tried to improve the nonlinearity of hysteresis loops. We have measured spectra of the signals induced in the pick-up coils by arrays of magnetic glass-covered wires excited with the alternating magnetic field. It has been shown that combination of the wires and variation of magnetic field amplitude allowed tailoring of the amplitudes of the higher harmonics in the spectra of the induced signal.

Nowadays major activity is intended to the development of the materials suitable for the information encoding applications in order to replace modern optical bar-codes. Detailed information on the magnetization reversal in the system of coupled microwires would facilitate further progress in this field. Combining the Co- and Fe-based microwires it's possible to obtain the system inheriting best properties of both wires: to keep steps as Barkhausen jumps in the hysteresis loop (owing to existence of the Fe-based microwires) on the one hand; and to decrease the length (owing to the Co-based microwires). The investigation of magnetization of such combined systems becomes a new direction in research of magnetization reversal process the of amorphous microwires systems.

Usually magnetic properties of thin amorphous wires can be tailored through the selection of chemical composition of the alloy, thermal treatments (with or without

magnetic field and/or stress) [1-3, 6]. Properties of individual Fe- and Co based glass-coated amorphous microwires were studied elsewhere [1-3]. In our research we are trying to tailor magnetic properties of arrays containing Fe- and Co-rich microwires through the magnetostatic coupling among them. We investigated the magnetization process in the arrays containing different number (1-5) of the $\text{Co}_{67}\text{Fe}_{3.9}\text{Ni}_{1.5}\text{B}_{1.5}\text{Si}_{14.5}\text{M}_{0.6}$ and/or $\text{Fe}_{74}\text{B}_{13}\text{Si}_{11}\text{C}_2$ amorphous microwires. Fe and Co-rich microwires in each array were placed closely to each other. $\text{Fe}_{74}\text{B}_{13}\text{Si}_{11}\text{C}_2$ microwires have rectangular hysteresis loops, while $\text{Co}_{67}\text{Fe}_{3.9}\text{Ni}_{1.5}\text{B}_{1.5}\text{Si}_{14.5}\text{M}_{0.6}$ with vanishing magnetostriction constant posses inclined hysteresis loops with low coercivity. Hysteresis loops have been measured by the induction method [6]. The magnetic field amplitude was from 800 till 15 A/m.

- [1] A. Zhukov and J. Gonzalez, *Amorphous and Nanocrystalline Soft Magnetic Materials*, in Advanced Magnetic Materials, book 3 “Processing of advanced magnetic materials.” Edited by Liu, Y.; Sellmyer, D.J. and Shindo, D.; Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 2004; Vol. 3, Capítulo 5, pp 115-181
- [2] A. Zhukov, J. Gonzalez, M. Vázquez, V. Larin, and A. Torcunov. Nanocrystalline and amorphous magnetic microwires. In Nalwa HS, editor, Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology, vol. X, Chapter 62, page 23. American Scientific Publishers, 2004.
- [3] H. Chiriac, T.A. Ovari, Prog.Mat.Sci. 40 (1996), 333-407.
- [4] P. Ripka, Sensors and Actuators A: Physical 106, 1-3, (2003), 8-14.
- [5] C. Moron, C. Aroca, M.C. Sanchez, A. Garcia, E. Lopez, P. Sanchez, IEEE Trans. Magn. 31, 906 (1995).
- [6] A. Zhukov, Adv.Funct.Mater. 16 (2006), 675-680.

Ultrasonic holography reconstruction of 3D objects in optically non-transparent media

S.A. Tsysar, O.A. Sapozhnikov

Department of Acoustics, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Modern ultrasound imaging is usually performed using pulse-echo principle, i.e. it utilizes backscattering of short acoustic pulses. This allows to obtain 2D and even 3D images with fairly good resolution limited by the pulse duration and frequency in nondestructive testing and medical diagnostic ultrasound [1,2]. In contrary, conventional optical imaging is based on continuous light waves. Similar approach is possible in acoustics as well. Hologram recorded using continuous waves (c.w.) in some cases can be a useful alternative to the pulse-echo technique. For instance, near-field acoustical holography makes it possible to resolve details smaller than wavelength [3,4]. Holography is a method of recording wave scattering from an object such that the object's shape and position can be reconstructed later. An experimental realization of acoustic holography that uses scanned measurements in place of a transducer array has been reported for studying the vibrations of piezoelectric sources [5]. In addition to such measurements of surface vibration, it is of practical interest to record acoustic holograms of 3D objects. In this work we demonstrate a possibility of acoustical holography in 3D based on 2D hydrophone scans with a use of monochromatic c.w. ultrasound.

The holographic approach used here relies on the principle of a time-reversal mirror and the Rayleigh integral. An ultrasonic beam consisting of long tone bursts is directed at a target object and the resulting acoustic field is measured at a large number of points surrounding the object. A computer-controlled positioning system is used to scan a small broadband hydrophone across a grid of measurement points in a single surface near the target. Object reconstruction is then accomplished numerically by back-propagating the acoustic field from measurement locations to a 3D region representing the object.

Theoretically, the accuracy and the optimal parameters of the method were studied by modeling forward and backward propagation from a point scatterer. Experimentally set of 3-mm diameter plastic beads was investigated. Ultrasound frequencies from 1 to 1.5 MHz were considered, while hologram measurements were collected with grid spacings between 0.3 and 0.4 mm.

Both theory and measurements show that the spatial resolution of 3D ultrasonic holography is limited by diffraction effects. Discrete scatterers larger than a wavelength are well-resolved. Using this 3D ultrasonic holography method, it is possible to reconstruct the position and shape of objects or collections of objects that do not involve a significant amount of multiple scattering. Because the spatial resolution of the method has a typical diffraction limit on the order of a wavelength, improved spatial resolution can be achieved with higher frequencies and increased angular size of scanning region.

Results obtained in present work show principle possibility of reconstruction of 3D objects using ultrasonic holography method. Recent discussion of this method

during IEEE International Ultrasonic Symposium 2009 [6] shown that reconstruction quality of used objects in holography method is comparable with pulse-echo one. Note, that using ultrasonic holography method with its current advance level require more process time, than echo-pulse method (hours against minutes). Most advantage of holography method is using of only monochromatic waves instead broadband signals using in pulse-echo method. This allows avoiding use of expensive broadband transducer line.

Thus, acoustic holography development may lead to applying it in various tasks of acoustical imaging, such as medical diagnostics, defectoscopy, ocean acoustics etc. along with pulse-echo technique.

Work supported by RFBR 08-02-00368, ISTC 3691 and NIH R01EB007643.

References

- [1] G. S. Kino, *Acoustic Waves: Devices, Imaging, and Analog Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1987.
- [2] F. W. Kremkau. *Diagnostic Ultrasound: Principles and Instruments*, 7th ed. Philadelphia: Elsevier/Saunders, 2006.
- [3] E. G. Williams, *Fourier Acoustics: Sound Radiation and NAH*, London: Academic, 1999.
- [4] E. G. Williams and J. D. Maynard, "Holographic imaging without the wavelength resolution limit," *Phys.Rev.Lett.*, vol. 45, pp. 554–557 (1980).
- [5] O.A. Sapozhnikov, Yu.A. Pishchalnikov, and A.V. Morozov, "Reconstruction of the normal velocity distribution on the surface of an ultrasonic transducer from the acoustic pressure measured on a reference surface," *Acoustical Physics*, vol. 49, no. 3, pp. 354–360 (2003).
- [6] S.A. Tsysar and O. A. Sapozhnikov, "Ultrasonic holography of 3D objects," *Proceedings of 2009 IEEE International Ultrasonic Symposium* (Rome, Italy, September 19-23, 2009), in print.

Optical and acoustical methods for calibration of broadband microphones in nonlinear aeroacoustics

Yuldashev P.V., Averyanov M.V., Khokhlova V.A., Sapozhnikov O.A.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

Accurate measurement of broadband acoustical signals in experimental aeroacoustics with standard microphones remains a challenge. Specific problems are found in measurements of shock waves, and, in particular, of N -waves. Theoretical and experimental studies of shock wave propagation in the atmosphere are substantially

motivated by development of civil supersonic transport. High amplitude shock waves generated by supersonic aircraft propagate towards the ground. The signal on the ground is an impulsive noise of high pressure level or high noise loudness. It has been shown that subjective loudness also increases with decreasing of the rise time, which is typically defined as the time for the pressure to increase from $0.1P_{\max}$ to $0.9P_{\max}$, where P_{\max} - the peak pressure (amplitude) [1]. Experimental studies of real N -wave propagation in atmosphere are difficult due to the high costs. The

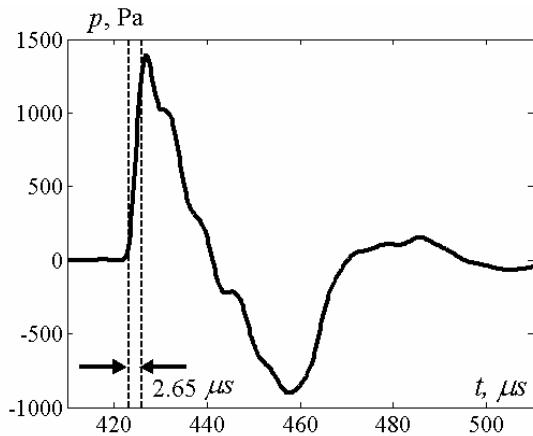


Figure 1. Pressure waveform of N -wave measured by 1/8" B&K microphone.

experimental efforts therefore have turned to the laboratory-scaled measurements that have been shown to be a good alternative to the field experiments [2, 3]. In a laboratory-scaled experiments electrical spark source are commonly used to generate spherical acoustic N -wave with the amplitude of 1000 Pa and duration of $30 \mu\text{s}$. For this amplitude theoretically estimated shock rise time can be as small as $0.1 \mu\text{s}$. An example of the N -wave waveform measured by the Brüel & Kjær microphone is presented in Fig.1. It is seen that the rise time is equal to $2.65 \mu\text{s}$. Significant overestimation of the rise time deduced from the microphone (1/8" diameter, Fig.2) signal is explained by its 140 kHz cut-off frequency. There exist another numerous



Figure 2. 1/8" B&K microphone in a baffle.

problems of using such microphones. For example, a microphone can be used in a special environment, like a baffle to reduce diffraction, so a frequency response of a whole system is different from the response of the microphone. Development of simple and fast calibration method of the measurement system is therefore necessary. In this work we have developed combined acoustical and optical calibration methods. The acoustical method is based on using nonlinear effects in the propagation of the spherical N -waves generated by the spark source [4]. A duration of N -wave increases with increasing of the propagation distance from the source due to

nonlinear effects. As soon as duration of the wave is properly measured, the amplitude

can be calculated using weak shock theory formulas [4]. Accurate estimation of duration is critical for retrieving of the wave amplitude. Since it is difficult to determine the pulse duration from the waveform due to the smoothed shock front, we have proposed another original method. The definition of pulse duration is based on analysis of the frequencies for which the amplitude of the spectrum is minimum or close to zero. The first minimum in the spectrum f_1 is related to the duration as $T = 1.436 / f_1$. As a result, the amplitude of the N -wave can be calculated with 10 % accuracy. To measure the rise time, we have implemented an optical method – a shadowgraphy [5]. Shadow images called shadowgrams are formed due to the light refraction on inhomogeneities of refraction index caused by variations of medium density in the acoustical wave. In the optical experiment shadowgrams are captured by

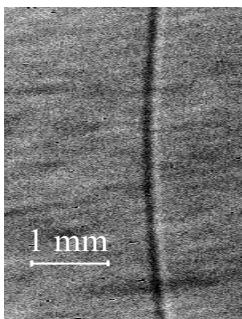


Figure 3. An example of the shock front shadowgram.

means of an objective and CCD camera. An example of the shadowgram is shown in Fig.3. To find the shock rise in space, shadowgrams are interpreted by comparison with simulation of light propagation through the refraction index variation induced by the front shock of the N -wave. In Fig.4 the shock rise time deduced from the optical method and the prediction using the wave propagation model (Burgers-type equation) are compared [6]. Comparison was done at different distances r from the spark source. The peak pressure and pulse duration measured in the acoustical experiment were used as an input to the theoretical model. Both rise time estimations are in good agreement and relative error does not exceed 10%. Comparison of the signal, measured by the microphone, and the waveform simulated using

duration and amplitude information realizes the calibration. The shock front measurement verifies the calibration procedure. Thus combined acoustical and optical methods permit to improve calibration of up-to-date broadband microphones.

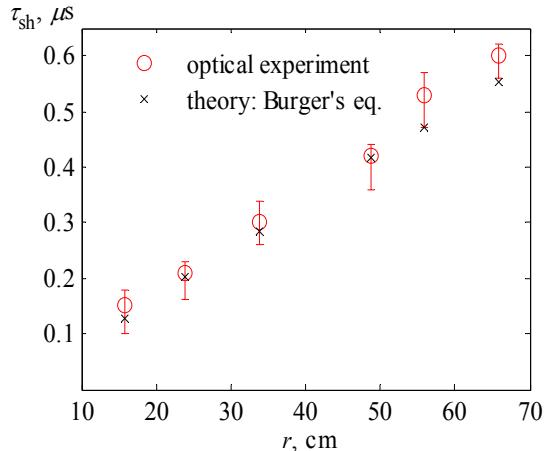


Figure 4. Comparison between the optically measured rise time (circles) and the rise time predicted by using the acoustic wave propagation (crosses).

1. Leatherwood D. *et. al.* J. Acoust. Soc. Am. 111(1) Pt 2. 586 – 598 (2002).
2. Ollivier S. *et. al.* AIAA-2004-2921, 10th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference.
3. Lipkens B. *et. al.* J. Acoust. Soc. Am. 103(1). 148-158, (1998).
4. Wright W., J. Acoust. Soc. Am., 73(6). P. 1948—1955. (1983).
5. Settles G. *Springer-Verlag, Heidelberg*, (2001).
6. Yuldashev P. *et. al.* Acoust. Phys., 54(1), 32-41 (2008).

This work was supported in parts by RFBR. Computer simulations were performed on supercomputer “SkiF-MSU”.

The new method of X-Ray generation at cavitation of fast water jet

A.A.Kornilova (1), V.I.Vysotskii (2), N.N.Sysoev(1),
N.K.Litvin (3), V.I.Tomak (3), A.A.Barzov(3)

Moscow State University, Russia (1)
Kiev National Shevchenko University, Kiev, Ukraine (2)
Moscow State Bauman Technical University, Russia (3)

In the work [1] both optical and weak X-Ray radiation phenomena accompanying cavitation processes at directed motion of running machine oil through thin dielectric channels to hermetic cavitation chamber were observed and investigated. The mechanism of X-Ray generation was connected with the sequential tandem of cavitation and shock-wave processes inside the chamber and in the volume of chamber wall in the case of perfect acoustic contact in this area.

In the present work the results of investigation of intensive X-Ray radiation connected with bubble cavitation phenomena in supersonic water jet at super-high pressures of water (from 200 atm up to 3000 atm) near the end of water output channel and in free space are presented and discussed. The soft part of X-Ray radiation ($E_X \approx 1$ keV) was generated by the surface of supersonic free water jet in the area of cavitation at any pressure. The energy of radiation from the surface of water output channel (made of stainless steel) was $E_X \approx 2.0$ keV. In the case of additional lead cover on this stainless steel surface the energy of X-radiation was $E_X \approx 4.5-5$ keV (see Fig 1). The total activity of X-Ray generation was about 0.1 Ci. The same radiation phenomena were detected by X-Ray photo-plates.

From the other hand it was shown that in such water output system with intensive cavitation the process of tandem formation of controlled (focused or directed) X-Ray radiation with controlled transversal structure of X-Ray beam is possible.

The methods of creation of combined "acoustic"- "X-Ray" optical systems were proposed and investigated in details.

The results of registration of focusing and defocusing X-Ray radiation generated by action of cavitating supersonic water jet on thick target and controlled by "acoustic"- "X-Ray" optical system made of metal lens are presented (e.g. Fig2).

Different methods of application of X-Ray radiation generated by action of cavitating water jet in microelectronics, medicine and biotechnology are discussed.

[1]. A. A. Kornilova, V. I. Vysotskii, N. N. Sysoev, A. V. Desyatov. Generation of X-Rays at bubble cavitation in a fast liquid jet in dielectric channels// Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, Vol. 3, No. 2, pp. 275–283, 2009.

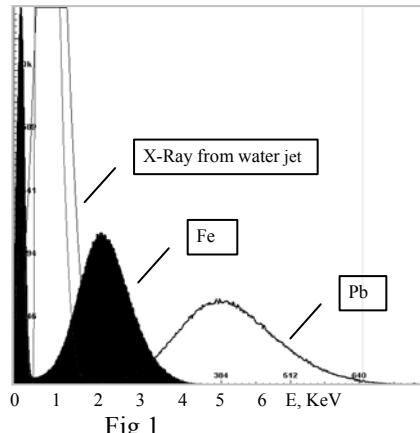


Fig.1

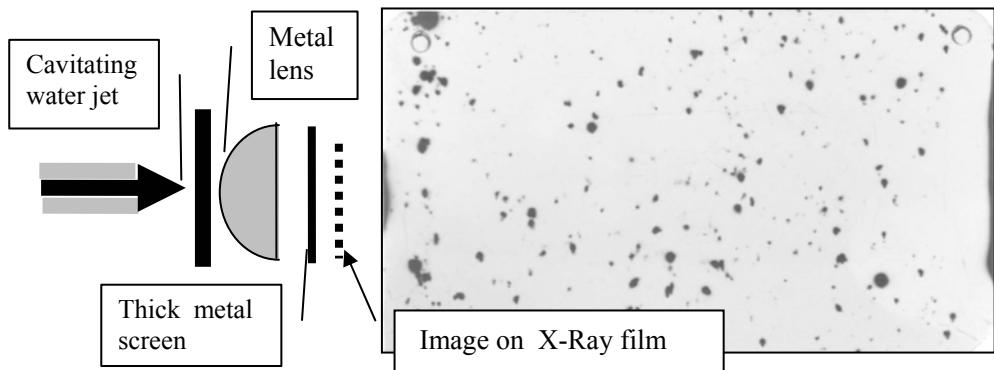
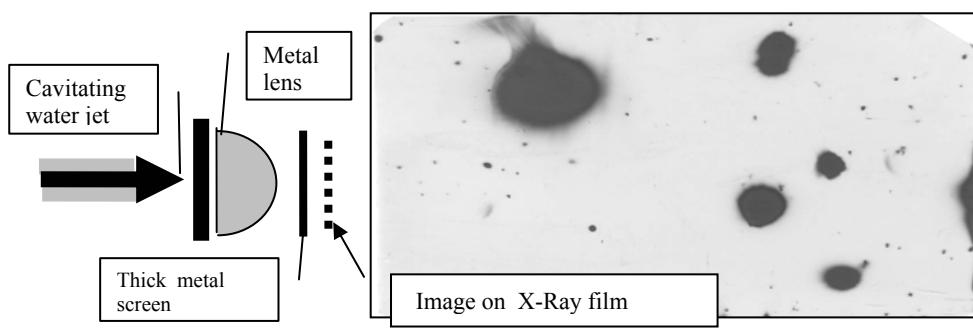


Fig.2. Focusing (upper drawing) and defocusing (lower drawing) action of metal lenses on combined "acoustic"- "X-Ray" field

Method of pulse blast wave control near a surface

Znamenskaya I.A., Ivanov I.E., Koroteeva E. Yu., Karatsuba A.K.,
Mursenkova I.V., Orlov D.M., Sysoev N.N.

Physics faculty, Moscow State University

The flow control method for a shock wave propagating along a solid surface by means of the surface distributed high-current discharge.

The complicated structure of the gas-dynamic flow appearing when a blast wave moves in channel with the nanosecond surface discharge (plasma sheet) is investigated. The instantaneous (compared to gas-dynamic time) energy input in a thin layer of air at a channel wall leads to a considerable growth of pressure and temperature near the surface; shock waves and disturbances arise as a consequence. After 30-40 μ s all the disturbances weaken; relaxation processes in the discharge area continue, and near the surface a thin layer a warm rarefied gas is formed. The interaction of a shock wave with quasi- 2D area of relaxing plasma of the distributed surface discharge is experimentally investigated.

The effects of the plasma sheet influence on a plane shock wave moving along a surface and a flow behind it include: destruction and curving of shock wave front, spatial turbulization of a flow behind the front (see Fig. 1 a, b).

The shock wave evolution is investigated at different moments of time after discharge ($t=40-500 \mu$ s) and for different Mach numbers ($M=1,5-3$). Within these conditions the flow is unstable, it differs from the stationary movement of a shock wave along a warm layer because of relaxation and expansion of the layer of warm air. Shadow methods reveal the formation of the large-scale disturbance, which is moving faster than the shock wave front – the so-called precursor, with its sizes growing as in a self-similar mode.

As the geometry of the problem allows us to consider two-dimensional flow, the shadow images are compared with the results of numerical 2D simulation. Calculation is carried out with the use of the high-order Godunov's scheme to solve the Riemann problem. As the mathematical model the whole system of two-dimensional, time-dependent Navier-Stokes equations with the initial and boundary conditions, corresponding to the experiment (air, $\gamma=1.4$, $P_0 = 25$ Torr, $T = 300$ K) was chosen. The effects of turbulence are described by the $\kappa-\varepsilon$ – model. The energy deposition is modeled as an instantaneous change in the initial conditions in the area where the surface discharge is initiated (of 10 cm extension and of 0.7 mm thickness).

Calculation shows the complicated structure of the generated flow that is similar to the one observed on the shadow images. Moreover, it confirms the conservation of the shock-wave configuration with the precursor having the constant growth rate when the blast wave is propagating along the surface where an energy deposition has been conducted (Fig. 1 c).

The experimental and numerical flow analysis allows to predict the influence of the pulse surface high-current discharge on the blast wave and to investigate the

thermal and relaxation (heterogenic) processes in the discharge zone in wide range of parameters.

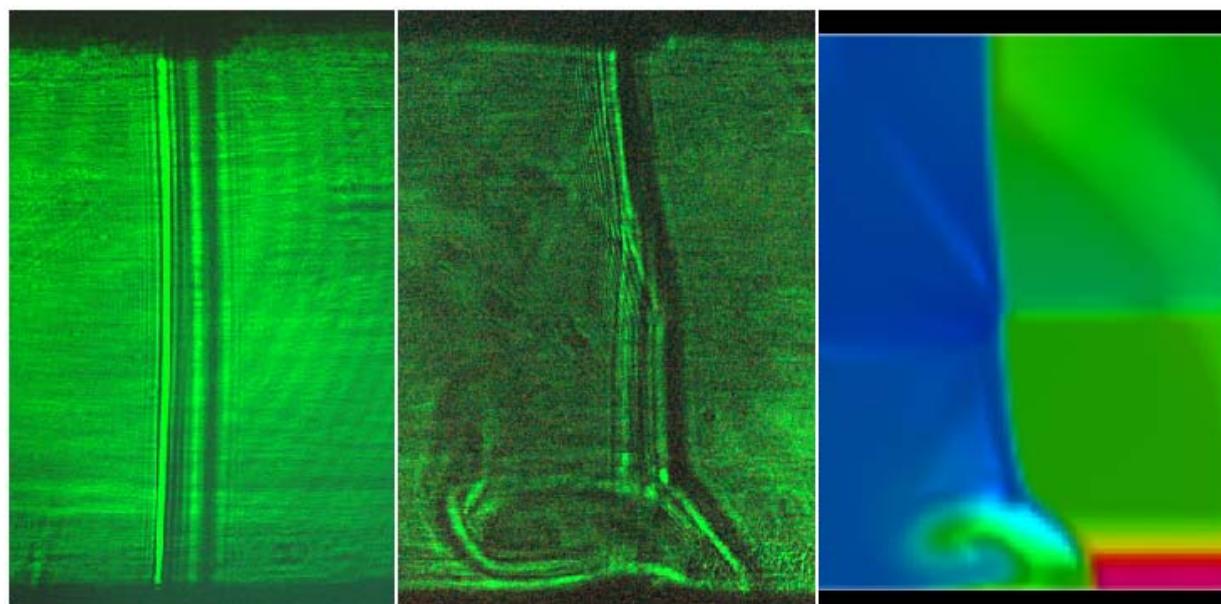


Fig.1. a), b) Shadow images of shock wave front:
a) without discharge influence;
b) after discharge influence;
c) numerical 2D simulation result corresponding to image b).

New methods of combustion optimization

Chernikov V.A., Kamenshchikov S.A.

Physical electronics department, Physics department, Lomonosov Moscow State University of

For today application of plasma sources is one of most perspective for control of high speed flows and for combustion intensification as well. During last 10 years new joint area of physics appeared – plasma aerodynamics. Most works devoted to this topic were represented on conferences [1, 2] and describe thermal, chemical, combined ignition of flows and control of flows with using of classical discharge types. Approaches that were developed for combustion stimulation and flow control help to solve six global tasks. Goals of effective mixing, effective volumetric ignition and stable flame holding correspond to combustion stimulation range of problems. Flow control corresponds to ideas of separation area control, shock wave structure influence and turbulent trace managing. In this project we would like to present new approaches for decision of flame holding problem and effective volumetric inflammation problem. Work will be realized under conditions of high speed propane – air flows with velocities of 200-500 m/s ($M=1.5-2$). Cross – longitudinal constant current arc discharge will be used like igniter (Fig.1). Electric power of discharge is 3 kW and pulse duration is 1-3 s. Mean electron concentration n_e is 10^{13} cm^{-3} , gas temperature T_g is 2000 °K.

Fig.1. Cross – longitudinal discharge of constant current

Electric field flame holding. Application of uniform electric field can play significant role for flame stabilization in high speed flow if following condition is realized: $v_d = v_f - v_c$, where v_d – is charged radicals drift velocity, v_c – local velocity of deflagration wave, v_f – flow velocity. Typical flow velocity in work camera for our experiments is 500 m/s, while deflagration velocity is 10-30 m/s. If we use charge and mass of $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}$ radical for estimation and electric field 2.04 V/m we will get drift velocity of 480 m/s. It is close to self average velocity of flow (500 m/s) that omits to speak about flame holding. Mentioned values of field can be taken in laboratory conditions. Successful flame holding gives opportunity to decrease power for combustion supporting in 10^5 times and to avoid constant plasma ignition of mixture. Besides, periodic modulation of electric field permits to excite turbulence of flame plasma for heat exchange surface increase. Goal of this project is development of theoretical approach for flame holding, realized in high speed flow of propane – air flow. We plan to create non contact field flame holder with application modulated electric field as well.

Shock – radiation inflammation. Pulse regime of ignition becomes significant in regimes of flow high velocities that is in cases when velocity of deflagration is considerably lower than average velocity of mixture stream. In this project we suggest to investigate opportunity of mixture ignition with help of hyper sound quasiplanar shock wave and ultraviolet radiation created by erosive plasmodynamic discharge. Benefits of suggested inflammation type are low weight of installation, low detonation distances and using of additional radical generation mechanism. Minimal energy of

one plasmatron pulse necessary for efficient discharge ignition (100 J) was theoretically considered. Power of installation could be less than 10 kW. Mach number of hypersonic shock wave reaches M=10. We suggest making focusing of shock wave in waveguide with rectangular section, verify opportunity of detonation ignition experimentally and find area of electric parameters in which mentioned regime is possible. Also optimal consistence of mixture when quantum free path is maximal will be investigated. Volumetric “lightening” of mixture, leading to photo dissociation considerably decrease installation requirement and one of shock wave characteristic. During the work regime of stable propane – air mixture inflammation will be realized as ignition of supersonic (M=2) flow. Combustion camera, working in regime of pulsed combustion will be created and considerations of specific traction impulse shall be realized.

1. 1st – 7th AIAA International Workshops on Weakly Ionized Gases. //Proceedings AIAA, USA, Colorado-1997; Norfolk-1998, 1999; Anaheim-2001; Reno-2002, 2003, 2004, 2005.
2. 1st – 6th International Workshops on Magneto- and Plasma Aerodynamics for Aerospace Applications. //Proceedings IVTAN Russia, Moscow-1999; 2000, 2001, 2002, 2003, 2005.

Development of an effective light source on the basis of innovative modification of the radio-frequency gas discharge

Nekludova P.A., Turkovskaja A.V., Petrov A.K.

Physical faculty of Moscow state university

Introduction.

The most effective modern plasma sources are the devices developed on the basis of radio-frequency low pressure discharges, i.e. inductive or capacitive. As known, the inductive discharge easily provides quite dense plasma with the concentration of electrons up to $n \sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$. The advantage of the capacitive discharge is significant enrichment of plasma by high energy electrons. It is known, that the ignition of inductive radio frequency discharge represents difficulty and demands the technical decisions that complicate the design. Besides, maintaining of the inductive discharge in energetically effective mode is possible at the RF power exceeding certain critical value. This reduces the possibility of constructing of a family of plasma sources designed for various values of power.

Indeed, this encourages the idea to create a discharge supported by both, the vortex and the potential radio frequency fields. Plasma of such discharge would be characterized by high density and effectively controlled energy spectrum of electrons. This paper presents the first results on the study of the possibility of using such radio frequency discharge as a source of light. It is assumed that the inductive component of the discharge will provide high efficiency of a light source, whereas the capacitive component – the possibility of smooth adjustment of light intensity and lowering of the threshold power, at which the discharge jumps to efficient mode.

The scheme and the methodology of experiments.

Light sources (LS) represent cylindrical glass or quartz flasks with the diameter of 7cm and length of 2.5, 4.5 and 8cm. For excitation of the discharge on the side and front surface of the flasks spiral antennas are installed. In addition to spiral antenna, at least on one end surface there is an electrode attached, which is necessary for the excitation of potential fields in the discharge. The flasks were filled with neon in a range of pressure of 0.1-10Torr.

The scheme of experiment is shown Fig.1. The ends of antenna are connected through a matching device to radio frequency generator, working at a frequency of 13.56 MGts.

The image from LS with the help of lens is created on the screen with holes. The measurements of light signal are made with photomultiplier and monochromator. The signal goes through an optical fiber through the monochromator, or directly to the photomultiplier. For ignition of LS the radio frequency generator and the matching box are used. Voltage and electric current are measured by oscilloscope with the use of voltage divider and Rogowski coil respectively.

On the basis of measured values of the radio frequency generator power P_{gen} , voltage V and current I of the antenna the equivalent resistance of plasma R_{pl} and power absorbed by plasma P_{pl} are calculated.

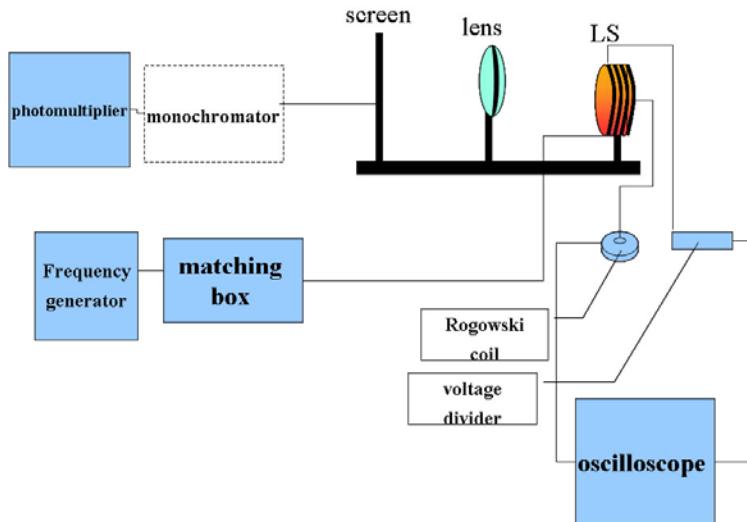


fig 1. The scheme of experimental installation

Results of experiments

Fig. 2 shows dependences of the relation of light intensity of plasma Int to the power absorbed by plasma P_{pl} , from P_{pl} for pure inductive and modified radio frequency discharges.

As can be seen, in the case of modified radio frequency discharge, it is possible to receive the intensity of a luminescence of plasma by 10-15 % higher, than in a case of purely inductive discharge.

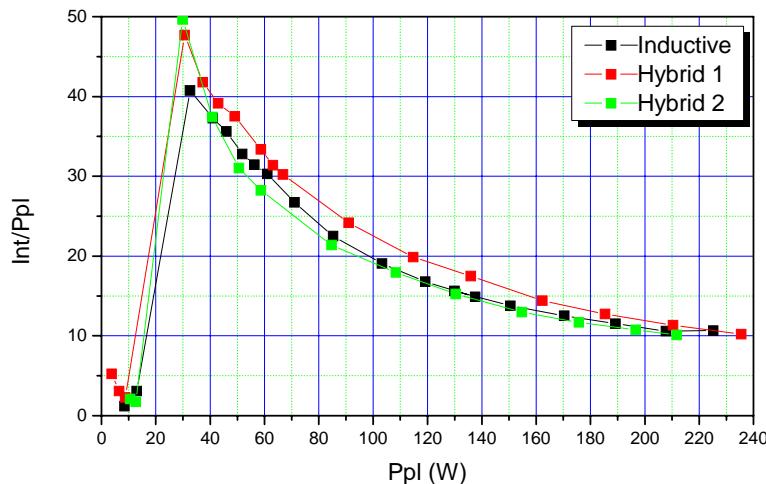


fig 2. the dependence of luminescence intensity of the plasma to the power coupled to the plasma from P_{pl} .

Conclusions

The first results demonstrate the promising perspectives of the using the modified radio frequency discharge as a radio frequency light sources.

Features of passing phase transformations in the foils of alloy Pd-Y after repeated hydrogenation

Stepenko S.O., Avdyukhina V.M., Revkevich G.P., Umanskaya N.A.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

The only effective way to get high-purity hydrogen (99.9999%) in one stage is extracting it from the gas mixtures using palladium membranes. However, in such membrane filters structural and phase transformations can occur, leading to their rapid mechanical destruction in the operation. Therefore, the relevant is the task of determining the type and concentrations of alloy components in the matrix of pure palladium, which improves mechanical strength and its hydrogen permeability will remain high.

At present one of the promising are the alloys of palladium with the rare-earth metals, namely, the system Pd-Y, which transmit hydrogen in a certain range of concentrations of yttrium in 2-3 times higher than in the alloys of system Pd-Ag and B1, used in the industry now [1]. In addition, the alloying of palladium with yttrium atoms increases the strength characteristics of alloys, resulting in the expected increase lifetime. However, issues of structural evolution in these alloys after their repeated hydrogenation is insufficiently explored [2].

This work is dedicated to the study of the nature of phase transformations observed in the foils Pd-8.3at.%Y 130 μm thick after threefold hydrogen saturation in the process of long-term relaxation by the precision X-Ray analysis.

Results and discussion

For the first time in the process of relaxation under normal conditions in alloy Pd-8.3at.%Y, located near two-phase region during hydrogenation observed nonmonotonic phase transformations. As we have established earlier [3], hydrogen saturation of palladium and alloys on its basis leads to the formation of a large quantity of vacancies, and, consequently, to increase the diffusion constant of the components of alloy. Because of this, during 850 h. relaxation at room temperature single-phase alloy Pd-8.3at.%Y decomposed into three phases: phase Pd_7Y , α -solid solution Pd-8at.%Y, enriched hydrogen (≈ 0.30) and phase, in which the concentration of yttrium reduce to 4at.% and content of hydrogen ($n_H/n_{\text{Pd}-\text{Y}}=0.12$) lower than in the above-mentioned phases.

Study of the position of the diffraction maximums and their integrated intensity in relaxation interval (8400-13700) h. showed that three system lines are observed. They differed in the intensity of diffraction pattern and position observed at 850 h.

It was found that relaxation time 13700 h. hydrogen in the main phase decrease to $n_H/n_{\text{Pd}-\text{Y}}=0.04$. It is obvious that hydrogen must leave, also, the phase Pd_7Y . However, the period of the lattice of this phase calculated from the experiment for this relaxation time grows. Such a result showed that long relaxation has occurred to phase transformations in the alloy and peak corresponding to the smaller diffraction angles belongs to the phase Pd_3Y in which practically no hydrogen. This was due to high

diffusive mobility of rare-earth atoms in the matrix of palladium, containing many hydrogen and vacancies. Further confirmation of this phase is the fact that the width of the left peak decreases almost twice when relaxation time increases from 8400 to 13700 h.

The peak corresponding to the larger diffraction angles was identified by us as phase, depleted by yttrium. It was found that in the process of long-term relaxation (13700 h.) period of this phase calculated from experiment was less than the period of pure palladium. This suggests that there is abnormally high concentration of vacancies in this phase.

Conclusions

Conducting for a long time the regular X-ray diffraction studies of the foils of alloy Pd-8.3at.%Y after their electrolytic hydrogenation makes it possible to formulate the following results:

- with the high content of hydrogen and vacancies in the matrix of alloy solid solution Pd-8.3at.%Y is decomposed into the phase Pd₇Y-H, α-solid solution Pd-8at.%Y-H and α-solid solution Pd-4at.%Y-H; content of hydrogen in the superstructure phase is higher than in phases Pd-8at.%Y-H and Pd-4at.%Y-H;
- on leaving hydrogen from Pd₇Y phase in the process of relaxation, it is decomposed, and formed (but in considerably smaller quantity) phase Pd₃Y, which does not contain hydrogen;
- as a result of long-term relaxation the phase depleted by yttrium appears. The concentration of vacancies reaches 6 at.%.

All results for the first time.

References

- [1] Burhanov G.S., Gorina N.B., Kol'chugina N.B., Roshan N.R. // Ros. Khim. Zh., L (4), 36, (2006).
- [2] Avdyukhina V.M., Revkevich G.P., Nazmutdinov A.Z., Burhanov G.S., Roshan N.R., Kol'chugina N.B. // Poverhnost. Rentgenovskie, sinhrotronnye i neitronnye issledovaniya, (10), 9, (2007).
- [3] Avdyukhina V.M., Katsnelson A.A., Revkevich G.P., // Poverhnost. Rentgenovskie, sinhrotronnye i neitronnye issledovaniya, (12), 1, (2006).

Magnetic sensors and alternative energy sources based on magnetolectric effect in multilayered ferromagnetic-piezoelectric structures

Fetisov L.Y., Perov N.S.

Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

The aim of our project is to develop a new type of magnetic field sensors and energy sources based on magnetolectric effect in solid structures.

The magnetolectric (ME) effect is a polarization response to an applied magnetic field H, or conversely a magnetization response to an applied electric field E. The maximum of the magnetolectric efficiency was found in composite structures, consisted of mechanically coupled magnetic and piezoelectric layers. In layered structures ME effect arises due to mechanical coupling between the layers of magnetostriction and piezoelectricity. The ME efficiency is characterized by coefficient $\alpha = U/(d \cdot H)$, where d – thickness, U – ME voltage. In structures with high magnetostriction and piezoelectric coefficient it was achieved $\alpha \approx 0.1\text{-}100 \text{ V/(Oe}\cdot\text{sm)}$ [1].

ME structures are promising for high sensitive ac and dc magnetic sensors. Such sensors are much simpler and stable under radiation at room temperatures and do not need current supply in contrast Hall sensors and GMR sensors [1]. Recently ME sensors with sensitivity up to 1pT at room temperature were produced.

ME structures are also used in production of wireless energy sources which transform mechanical and magnetic field oscillations into electrical voltage. The sources of such oscillations are for example human body movements, buildings and different mechanisms vibrations, winds and waves. The magnetic fields appear while working of different industrial machines. Such energy sources are ecological and work during a much longer period then traditional batteries [2].

The ME effect in structures consisted of Ni, GaFe and amorphous magnetic alloy films as magnetic layer and PZT as piezoelectric layer were investigated during our research [3]. The resonance amplification of the ME interaction was demonstrated on acoustic resonance frequencies [4]. Received data have shown a good possibility for the practical use of such structures.

We intend to study the ME effect in structures with the high magnetostriction and piezoeffect, to work out the different magnetic field sensor constructions, to produce the experimental wireless energy source based on the ME effect in layered structures and to investigate its characteristics.

1. C.-W. Nun, M.I. Bichurin, S. Dong et al, Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions, JAP 103, 031101 (2008).
2. S. Priya, J. Ryu, C.-S. Park et al, Piezoelectric and Magnetoelectric Thick Films for Fabricating Power sources in Wireless Sensor Nodes, Sensors 9, 6362 (2009).
3. L.Y. Fetisov, K.E. Kamentsev, D.V. Chashin et al, Converse magnetoelectric effects in a galfenol and lead zirconate titanate bilayer, J. Appl. Phys., 105, 123918 (2009).
4. N.S. Perov, Y.K. Fetisov, L.Y. Fetisov, Magnetoelectric interaction in amorphous magnetic-piezoelectric structures, Abstracts of the Progress in Electromagnetic Research Symposium, 18-21 August, 2009, Moscow, Russia.

On-line control of the content of uranium forms in a mixture using laser-based fluorescence sensor

E.A. Shirshin¹, V.G. Petrov², G.S. Budylin¹, B.L.Obmoroshev¹

¹ Faculty of Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Faculty of chemistry, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

As a result of the leaching process(extraction of uranium from ore with acid), a mixture containing various physical and chemical forms of uranyl UO_2^{2+} , the hydrolysis product of uranium U (VI), forms. Information about percentage of each of the forms is necessary to optimize the extraction of uranium. Currently, there is a number of approaches (ion chromatography, X-ray analysis techniques, methods based on electrochemical sensors or liquid-scintillation spectrometry) allowing partially solve this problem. The best approach is based on using laser fluorimetry with a temporal resolution, allowing to perform the diagnostics with maximum efficiency: it is an express method that works in real time. However, its use is connected with difficulties associated with the processing of experimental data: so far there is no adequate model taking into account the photophysics of individual forms of uranium and describing the fluorescent response of the mixture. The lack of a priori data, a large number of parameters of the problem makes a complete solution of the problem almost impossible. Moreover, the application of this method to the real object is associated with technical difficulties, since the mixture is strongly scattering media.

In the present paper presents the results of laser fluorescent sensor capable of performing on-line control of the mixture of forms of uranyl concerning all the difficulties: methodological and technical.

To address the first group of problems associated with analysis of data obtained from the experiment, a model describing the kinetics of the fluorescence of the sample - a mixture of the most significant for the leaching process of fluoride and sulphate complexes of uranium – is proposed. Using the software MEDUSA theoretical calculations of the distribution of the forms of uranium in the model solutions was conducted. It is known that an increase in the number of ligands in complexes of uranium, an increase of fluorescence intensity and shift of the maximum wavelength of fluorescence occur. Dependence of the individual photophysical parameters of the complex on the number of ligands in it, the determination of which was possible only through the application of the method of nonlinear fluorimetry, formed the basis of the model.

The second group of problems connected with the properties of the media - high absorption and scattering. All known uranium fluorescent sensors are based on a YAG:Nd laser (the fourth harmonic of its radiation (wavelength 266 nm) coincide the maximum of the absorption band). In a real environment such sensor is not applicable. To overcome this difficulty, we used Al:Nd laser, the third harmonic radiation of which (wavelength 447 nm) coincides the long wavelength absorption band.

Based on data obtained using the sensor, it was determined the content of individual complexes in model solutions. The experimental data agree well with the results of thermodynamic calculations.

The possibility of determination of uranium in the undiluted solution without prior sample preparation and in the presence of colloidal particles (such as SiO₂, with intrinsic fluorescence and Fe₂O₃, with intense color). Nevertheless, the number of the parameters is still high, which complicates the exact solution of the inverse problem.

Simultaneously with the solution of the applied tasks fundamental studies of photophysical processes in complexes of uranyl are carried out, individual parameters (absorption cross-sections, quantum yields, lifetimes of excited state) of uranium forms were determined for the first time. At the moment the task of theoretical description of the effects associated with the influence of local fields of ligands on the structure of levels and parameters of uranyl is not solved. The solution of this fundamental problem will greatly facilitate the analysis of experimental data.

An Electron Accelerator for Oil and Gas Industry

Alimov A. S., Ishkhanov B. S., Pahomov N. I.,
Shvedunov V. I., Yurov D. S.

Chair of General Nuclear Physics, Physics faculty, Lomonosov Moscow State University

We have designed a compact linear electron accelerator which can be used in radiation technological processes for oil and gas industry. Application of radiation technologies will allow to effectively solve the problems connected with transportation of heavy bitumen extracts and considerably raise product output from bitumen processing which is valuable for market and meets the environmental requirements.

Electron beam processing can be used for waste-free conversion of natural and passing oil gases in hydrogen and liquid divaricate alkanes. The important advantages of this method are: rather moderate process pressure and temperatures and high consumer value of end-products. Realization of this method on far away oil and gas deposits will help to minimize or eliminate unproductive burning of gases and to raise an output of the most valuable oil fractions

On the basis of an operating prototype – the two-section continuous wave linear electron accelerator with 1.2 MeV energy – an accelerator with 1 MeV energy is under construction. Its main parameters are listed in table 1. A modular system providing simple accelerator delivery and installation can be realized on the basis of designed accelerator. Besides, in case of module failure, the accelerator remains operating and module replacement can be done in short terms.

Table 1. Project parameters of the continuous wave linear electron accelerator with 1 MeV output energy.

Beam energy	1 MeV
Accelerator length	1.26 m
RF power dissipated in section walls	20 kW
Average beam current	0 - 26 mA
Maximum average beam power	26 kW
Operating frequency	2450 MHz
Power consumption	~75 kW
Efficiency	~30%
Accelerator dimensions (without beam output system)	900x1260x400 mm ³

The present project uses a number of new (for CW accelerators) solutions and methods connected with the design of the injection system, electron bunches forming system, and RF system.

Injection energy is chosen to be 15 keV, coinciding with the klystron high voltage, 15 kV, which allows to use common power supply for the electron gun and the klystron.

15-keV electron gun with two intermediate anodes providing current regulation from 0 to 250 mA has been designed and manufactured. The electron gun is joined directly to the input accelerating section flange without ant drift space, pre-banching cavity, and focusing elements between the gun and the accelerating section. At the same time effective beam capture (50%) and pre-banching is realized in the first cells of the accelerating structure.

The accelerating structure is a biperiodic on-axis coupled structure, operating on a $\pi/2$ mode. We have calculated and optimized inner accelerating and coupling cells geometry using program package for 3-D electromagnetic fields modeling. On the basis of the calculations working drawings have been made and half-cells of the accelerating structure have been manufactured. The measurements of the structure electrodynamics characteristics and structure tuning are in the progress.

Our RF system uses self-excitation in a positive klystron-section feedback loop, which makes it possible to do without any master oscillator and isolating circulator between the klystron and the accelerating section.