

На правах рукописи

Коноров Станислав Олегович

Нелинейно-оптические взаимодействия сверхкоротких лазерных импульсов в микроструктурированных волноводах

Специальность 01.04.21 — лазерная физика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2005

Работа выполнена на физическом факультете Московского государственного университета им.
М.В.Ломоносова

Научный руководитель: доктор физико-математических
наук, профессор Желтиков Алексей Михайлович

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор Кравцов Николай Владимирович
кандидат физико-математических наук Цхай Сергей Николаевич

Ведущая организация: Институт спектроскопии Российской академии наук

Защита состоится «___»_____2005 года в 15 часов на заседании диссертационного совета
Д501.001.31 в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992 ГСП-2
Москва, Ленинские горы, МГУ, Корпус нелинейной оптики, аудитория им. С.А. Ахманова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физического факультета
МГУ им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан «___»_____2005 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д501.001.31
кандидат физ.-мат. наук, доцент
Т.М. Ильинова

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Микроструктурированные оптические волокна – это световоды нового типа, отличающиеся по своей архитектуре, принципу действия и свойствам от обычных оптических волокон. Волокна этого типа реализуют новую архитектуру оптического волокна, позволяющую варьировать в широком диапазоне дисперсионные свойства волноводных мод и степень локализации электромагнитного излучения в направляемых модах. Благодаря своим замечательным свойствам волокна этого типа являются мощным средством оптических технологий и уникальным объектом для фундаментальных исследований в области оптики направляемых волн, физики микро- и наноструктур, фотонных кристаллов, оптической метрологии, нелинейной оптике, физике сильных полей, оптики сверхкоротких импульсов, лазерной биомедицины, фотохимии и спектроскопии. Являясь одним из наиболее значительных достижений оптических технологий за последнее десятилетие, микроструктурированные волокна открывают новое направление в оптической физике, приводя к революционным изменениям в области оптической метрологии, нелинейной оптики и оптики сверхкоротких импульсов.

Для решения задач оптической физики, биомедицины и фотохимии наряду с обычными волокнами все более широко используются волокна новой архитектуры – микроструктурированные (МС) волокна. Волноводные моды электромагнитного излучения в МС-волокнах формируются в результате интерференции волн, возникающих при отражении и рассеянии света на микронеоднородностях показателя преломления. Волокна этого типа привели к революционным изменениям в области оптической метрологии, нелинейной оптики, лазерной физики и оптике сверхкоротких импульсов. Значительный прогресс, достигнутый благодаря использованию МС-волокон в различных направлениях научных исследований, выдвигает их создание в ряд наиболее значительных достижений оптических технологий за последнее время.

Управление степенью локализации излучения в сердцевине волокна и мощностью, распространяющейся вдоль сердцевины, достигается в таком волокне за счет изменения процентного содержания воздуха в оболочке. Микроструктурированные волокна этого типа позволяют достичь радикального увеличения эффективности целого класса нелинейно-оптических взаимодействий, включая фазовую само- и кросс-модуляцию, четырехволновые взаимодействия, генерацию третьей гармоники, вынужденное комбинационное рассеяние света. Увеличение эффективности нелинейно-оптических взаимодействий и управление дисперсионными свойствами волноводных мод открывают возможность использования лазерных импульсов малых энергий, включая неусиленные лазерные импульсы, для управляемой генерации суперконтинуума – излучения с широким непрерывным спектром. Спектральная ширина излучения суперконтинуума при определенных условиях может составлять несколько октав. Явление генерации суперконтинуума приводит к революционным изменениям в области оптической метрологии и активно используется в лазерной биомедицине, спектроскопии, фотохимии, а также оптике сверхкоротких импульсов.

Цели и задачи диссертационной работы

К началу работы над диссертацией в научной литературе появились сообщения о создании нового класса оптических материалов - микроструктурированных фотоннокристаллических волноводов. В связи с этим целью

диссертационной работы являлось систематическое исследование линейных и нелинейно-оптических свойств нового класса структур.

При этом решались следующие задачи:

1. Изучение линейных и нелинейных свойств нового класса структур волоконной оптики – микроструктурированных фотоннокристаллических (ФК) волноводов.
2. Исследование дисперсионных свойств, а также режимов распространения и нелинейно-оптических взаимодействий сверхкоротких лазерных импульсов в микроструктурированных волокнах.
3. Изучение возможности увеличения эффективности целого класса нелинейно-оптических процессов в фотоннокристаллических волноводах, а также возможностей применения изучаемых структур в спектроскопических целях и технологических лазерных системах.

Научная новизна

1. Экспериментально получено высокоэффективное нелинейно-оптическое преобразование частоты неусиленных фемтосекундных импульсов в МС-волокне (до 30%). Разработаны, созданы и испытаны в нелинейно-оптических экспериментах МС-волокна с волноведущими каналами в виде субмикронных кварцевых нитей. Размер и форма канала является ключевым параметром, определяющим дисперсионные свойства волноводных мод и, следовательно, область спектра, в которую с максимальной эффективностью преобразуется частота излучения накачки.
2. Экспериментально продемонстрировано поляризационное управление процессом трансформации спектра фемтосекундных лазерных импульсов в системе микронных и субмикронных нитевидных кварцевых волноводных каналов МС-волокна.
3. Экспериментально измеренный спектр мод, поддерживаемых полой сердцевиной ФК-волокон, содержит набор изолированных максимумов, соответствующих фотонным запрещенным зонам ФК-оболочки. Перестройка спектра мод волокна данного типа осуществляется путем изменения параметров оболочки.
4. Представленные эксперименты демонстрируют возможность использования полых ФК-волокон для радикального увеличения эффективности фазовой самомодуляции фемтосекундных лазерных импульсов (на порядок по сравнению с режимом жесткой фокусировки).

Научная и практическая значимость работы

- Выполненные эксперименты показывают, что МС-волокна со специальными профилем дисперсии позволяют создать высокоэффективные источники перестраиваемых по частоте коротких световых импульсов для нелинейной спектроскопии а также для фотохимических и фотобиологических исследований, открывая новые области приложений методов фемтосекундной спектроскопии и управления сверхбыстрыми процессами в физике, химии и биологии.
- Фазовая кросс-модуляция обеспечивает эффективный способ контроля спектрального преобразования фемтосекундных лазерных импульсов в фотонно-кристаллическом волокне со специально выбранным профилем дисперсии.
- Продемонстрированное радикальное увеличение эффективности четырех-волновых (ЧВВ)-процессов в полых ФК-волокон, открывает новые возможности в области нелинейной оптики мощных сверхкоротких лазерных импульсов, физики сильных световых полей и нелинейной спектроскопии. Эти волокна позволяют

реализовать волноводные режимы нелинейно-оптических взаимодействий для мощных лазерных импульсов, которые не могут передаваться через стандартные оптические волокна вследствие возникновения оптического пробоя.

- Созданные и исследованные ФК-волокна с полый сердцевинной перспективны для телекоммуникационных приложений и могут быть использованы для транспортировки мощного лазерного излучения для технологических целей. Фотонно-кристаллические волокна открывают уникальную возможность реализации нелинейно-оптических взаимодействий волноводных мод с поперечными размерами несколько микрометров в газовой среде

Основные положения, выносимые на защиту

1. Микроструктурированные волокна со специальным профилем дисперсии обеспечивают высокоэффективное преобразование частоты и трансформацию спектра сверхкоротких световых импульсов, включая фемтосекундные импульсы нано- и субнаноуджоулевых уровней энергии. Такие волокна позволяют сформировать короткие импульсы антистоксова излучения с гладкой временной огибающей и регулируемым чирпом, открывая возможности создания новых волоконно-оптических источников излучения и преобразования частоты для нелинейной спектроскопии, оптической метрологии и лазерной биомедицины.

2. Полые фотонно-кристаллические волноводы позволяют сформировать устойчивые изолированные направляемые пространственные моды сверхкоротких световых импульсов субгигаваттного уровня мощности.

3. Фазовый синхронизм изолированных волноводных мод интенсивных лазерных импульсов, обеспечиваемый специальным профилем дисперсии полого ФК-волокна, приводит к эффективному преобразованию частоты интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов с интенсивностью порядка 10^{14} Вт/см²

4. Волноводный режим нелинейно-оптического взаимодействия, реализуемый в изолированных модах полых ФК-волноводов, приводит к радикальному увеличению эффективности когерентного антистоксова рассеяния света по сравнению с режимом жесткой фокусировки и позволяет реализовать когерентное приготовление и зондирование комбинационно-активных молекулярных колебаний в газовой фазе изолированными волноводными модами мощных лазерных импульсов.

5. Светоиндуцированное пространственно неоднородное изменение показателя преломления газа, наполняющего волновод, приводит к изменению поперечного профиля интенсивности мощных фемтосекундных импульсов, распространяющихся в волноводе, открывая возможность передачи мощных сверхкоротких импульсов в режиме самоканалирования.

Апробация работы

По материалам диссертации опубликовано 59 научных работ, из них 43 – статьи в научных журналах: Proc. SPIE (2002), Journal of Raman Spectroscopy (2002, 2003, 2004), Письма в ЖЭТФ (2002, 2003, 2004), ЖЭТФ (2003), Laser Physics (2002, 2003, 2004), Journal of Physics D: Applied Physics (2003), Optics Letters (2003, 2004), Optics Express (2003, 2004), Applied Optics (2004), Оптика и Спектроскопия (2004), Applied Physics B: Lasers and Optics (2004), Квантовая электроника (2003, 2004), PHYSICAL REVIEW A (2004), PHYSICAL REVIEW E (2004), Applied Physics B (Lasers and Optics) (2004).

Основные результаты работы докладывались на следующих конференциях: International Conference of young scientists "Optics'2001" (St-Petersburg, 2001), Fourth Italian-Russian Laser Symposium (ITARUS'01) (St-Petersburg, Russia, 2001), International conference of young scientists of M.V. Lomonosov 2001, European Conference on Nonlinear Spectroscopy (Switzerland, 2002), 11th International Laser Physics Workshop (Bratislava, Slovak Republic, 2002), International Quantum Electronics Conference (Moscow, Russia, 2002), St.Peterburg LOYS 2003, 12th International Laser Physics Workshop (Hamburg, Germany, 2003), 5th Italian-Russian Laser Symposium (Moscow, Russia, 2003), European Conference on Non-linear Spectroscopy (Erlangen, Germany, 2004), 19 International Conference on Raman Spectroscopy, (Cold Coast, Australia, 2004) и на семинарах кафедры Общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ им М.В. Ломоносова.

Список опубликованных работ приведен в конце настоящего автореферата.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения четырех глав и заключения. В конце приведен список цитируемой литературы, содержащий 180 наименований. Полный объем работы составляет 151 страницу, включая 70 рисунков.

Личный вклад

Все приведенные в диссертации результаты получены при непосредственном участии автора.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** дано обоснование темы диссертационной работы, сформулированы цель и направление исследований; показана актуальность рассматриваемой проблемы в контексте ее научной новизны и практической значимости; сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Приведена также структура диссертации и кратко изложено ее содержание по главам.

Глава 1 посвящена обзору литературы о последних достижениях в области оптики микроструктурированных и фотоннокристаллических волокон. Будет дано описание основных линейных и нелинейно-оптических свойств микроструктурированных и фотоннокристаллических волокон.

Будет дана классификация микроструктурированных волокон по принципу обеспечения волноводного режима в сердцевине волокна, оптическим свойствам (Рис.1), а также возможным применениям волокон нового типа в оптических и спектроскопических приложениях. Также будут описаны основные оптические и нелинейно-оптические эффекты, наблюдаемые в микроструктурированных волноводах, и оказывающих существенное влияние на их свойства и направления возможного применения. Будут кратко обсуждены основные пути теоретического анализа дисперсионных свойств МС-волокон.

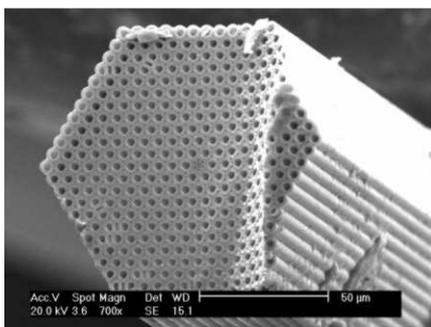
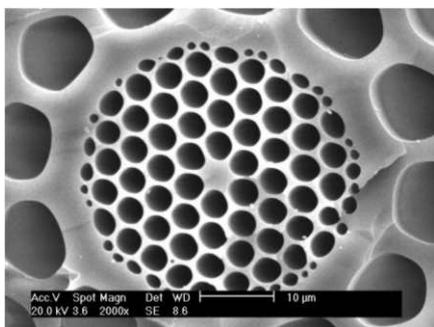


Рис.1 Поперечные сечения микроструктурированных волокон.

Во **второй** главе настоящей диссертации будет дано описание основных экспериментальных лазерных комплексов, которые были использованы для получения результатов, представленных в диссертационной работе. Будет дано описание и принципы работы таких лазерных комплексов, как титан-сапфировый, хром-форстеритовый фемтосекундные лазерные комплексы, а также пико и наносекундный Nd:YAG лазерные комплексы, предназначенные для нелинейно-оптических спектроскопических исследований и являющихся идеальным средством для исследований нелинейно-оптических свойств микроструктурированных и фотоннокристаллических волокон. Также во второй главе будет дано описание методов и процедур измерения спектров пропускания фотонно-кристаллических волокон, а также методик измерения спектрального и временного распределения фазы сверхкоротких лазерных импульсов, прошедших через микроструктурированные и фотоннокристаллические волокна.

Третья глава посвящена исследованию нелинейно-оптических свойств микроструктурированных волокон со стеклянной или с кварцевой сердцевиной. Исследуются физические механизмы увеличения эффективности нелинейно-оптических процессов в микроструктурированных и фотоннокристаллических волокнах (Рис.2).

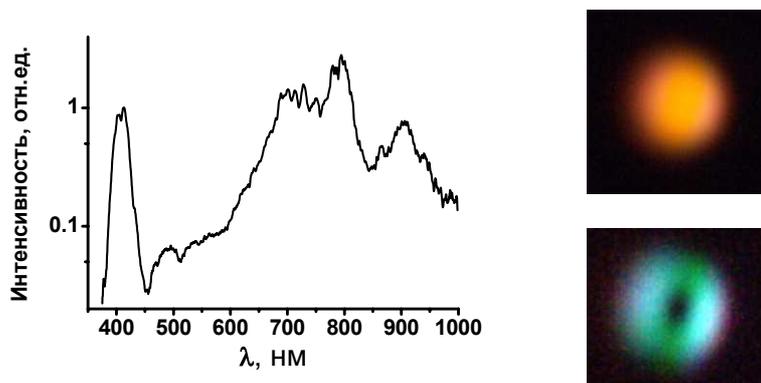


Рис.2 Нелинейно-оптическое преобразование частоты неусиленных импульсов титан-сапфирового лазера в боковых каналах микроструктурированного волокна. На вставке изображены моды на выходе волокна.

Экспериментально продемонстрировано преобразование спектра фемтосекундных импульсов в микроструктурированных волноводах за счет возбуждения различных мод микроструктурированной сердцевины.

Рассмотрено использование волокон для преобразования частоты фемтосекундных импульсов в спектральную область, в которой лазерное излучение эффективно инициирует фотохимические процессы, включая процессы фотохромизма.

Экспериментально продемонстрирована возможность осуществления фазовосогласованного параметрического взаимодействия в микроструктурированном фотоннокристаллическом волноводе, при котором фемтосекундный импульс лазера на титан-сапфире с центральной длиной волны 800 нм и длительностью 35-40 фс генерировал стоксову и антистоксову спектральную компоненту на длинах волн 1,25 мкм и 590-600 нм соответственно.

Экспериментально исследовано образование солитонов, сопутствующих распространению фемтосекундных лазерных импульсов через микроструктурированное волокно в режиме эффективного антистоксова преобразования частоты.

Будет указано на существование физического предела увеличения эффективности нелинейно-оптических процессов в волноводном режиме. Этот предел связан с конкуренцией дифракции и удержания излучения в волноводе за счет градиента профиля показателя преломления. Будут продемонстрированы физические принципы управления локализацией света и нелинейно-оптическими взаимодействиями в микро- и наноструктурированных волокнах. Исследована модовая структура и спектральные свойства излучения суперконтинуума, генерируемого фемтосекундными лазерными импульсами в МС-волокне. Показана возможность применения преобразователей частоты фемтосекундных лазерных импульсов на основе МС-волокон в области фемтосекундной фотохимии.

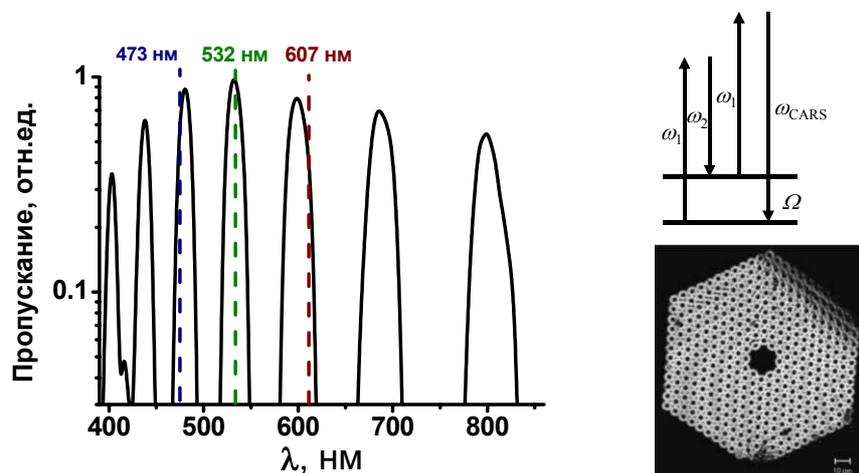


Рис. 3 Спектр пропускания полого волновода, созданного для демонстрации возможности увеличения эффективности нелинейно-оптической спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света.

Глава 4 посвящена исследованию свойств собственных мод электромагнитного излучения, локализованных в полой сердцевине волокон с периодической и непериодической МС-оболочкой. Будет обсуждена возможность использования фотонно-кристаллических волокон с полой сердцевиной для передачи сверхкоротких импульсов мощного лазерного излучения, увеличения эффективности нелинейно-оптических взаимодействий (Рис.3) и доставки мощных лазерных импульсов в технологических лазерных системах.

Представлены результаты экспериментов, указывающие на возможность достижения фазового согласования для процессов четырехволнового взаимодействия основной моды излучения накачки с частотой ω , основной моды одного из полей накачки с частотой 2ω , высшей волноводной моды второго поля накачки 2ω и высшей волноводной моды нелинейного сигнала. Будет продемонстрировано увеличение эффективности нелинейно-оптических процессов в полых ФК-волокнах. Обсудим результаты экспериментов по четырехволновому взаимодействию пикосекундных импульсов и фазовой самомодуляции фемтосекундных лазерных импульсов, демонстрирующих возможность радикального усиления нелинейно-оптических процессов в полых волокнах с ФК-оболочкой по сравнению с режимом жесткой фокусировки и стандартными полыми волокнами со сплошной оболочкой.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы:

1. Размер и форма канала микроструктурированного волокна определяет дисперсионные свойства волновода. Специально подобранная форма и размер канала обеспечивает высокоэффективное преобразование частоты и трансформацию спектра сверхкоротких световых импульсов, включая фемтосекундные импульсы нано- и субнано-джоулевых уровней энергии. Такая управляемая трансформация спектра фемтосекундных

импульсов дает возможность создания новых компактных источников излучения и преобразования частоты для нелинейной спектроскопии, оптической метрологии и лазерной биомедицины.

2. Система двулучепреломляющих микронных и субмикронных нитевидных кварцевых волноводных каналов МС-волокна позволяет осуществить поляризационное управление процессом трансформации спектра фемтосекундных лазерных импульсов.

3. Благодаря наличию фотонных запрещенных зон в спектре пропускания полого ФК-волокна существует возможность формирования устойчивых изолированных направляемых пространственных моды сверхкоротких световых импульсов субгигаваттного уровня мощности.

4. Специально подобранная структура полого ФК-волокна позволяет осуществить фазово-согласованный процесс четырех-волнового взаимодействия волноводных мод интенсивных лазерных импульсов,

5. Экспериментально показано, что использование полых ФК-волноводов, может приводить к радикальному увеличению эффективности когерентного антистоксова рассеяния света по сравнению с режимом жесткой фокусировки и позволяет реализовать когерентное приготовление и зондирование комбинационно-активных молекулярных колебаний в газовой фазе изолированными волноводными модами мощных лазерных импульсов.

6. В эксперименте было показано, что пространственное самовоздействие лазерного излучения в средах с керровской нелинейностью может приводить к волноводному режиму распространения излучения, в котором дифракционная расходимость компенсируется керровской нелинейной линзой, открывая возможность передачи мощных сверхкоротких импульсов в режиме самоканалирования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Fedotov Andrei B.; Konorov Stanislav O.; Naumov A. N.; Haus Joseph W.; Miles Richard B.; Sidorov-Biryukov Dmitri A.; Chigarev N. V.; Zheltikov Alexei M.* Photonic band-gap planar hollow waveguide. // Proc. SPIE, v. 4748, p. 331-339, ICONO 2001: Fundamental Aspects of Laser-Matter Interaction and Physics of Nanostructures, (2002).
2. *Fedotov Andrei B.; Alfimov Michael V.; Ivanov A. A.; Bagayev Sergei N.; Pivtsov V. S.; Tarasevitch Alexander P.; von der Linde Dietrich; Podshivalov A. A.; Golovan Leonid A.; Kashkarov Pavel K.; Beloglazov Valentin I.; Syrchin M. S.; Konorov Stanislav O.; Magnitskii S. A.; Tarasishin Andrey V.; Chorvat Dusan; Chorvat Dusan; Naumov A. N.; Sidorov-Biryukov Dmitri A.; Melnikov Leonid A.; Skibina Nina; Zheltikov Alexei M.* Holey fibers with 0.4- to 32- μm -lattice-constant photonic band-gap cladding: fabrication, characterization, and applications.// Proc. SPIE, v. 4748, p. 323-330, ICONO 2001: Fundamental Aspects of Laser-Matter Interaction and Physics of Nanostructures, (2002).
3. *S.O. Konorov, D.A. Akimov, A.N. Naumov, A.B. Fedotov, R.B. Miles, J.W. Haus, A.M. Zheltikov.* Bragg resonance-enhanced coherent anti-Stokes Raman scattering in a planar photonic band-gap waveguide.// Journal of Raman Spectroscopy, v. 33, n. 11-12, p. 955 – 961, (2002).
4. *С. О. Коноров, Д. А. Акимов, А. Н. Наумов, А. Б. Федотов, Р. Б. Майлс, Дж. У. Хаус, А. М. Желтиков.* Когерентное антистоксово рассеяние замедленного света в полом планарном волноводе с периодическим гофром.// Письма в ЖЭТФ, т. 75, №2, с.74 - 78, (2002).
5. *С. О. Коноров, А. Б. Федотов, О. А. Колеватова, В. И. Белоглазов, Н. Б. Скибина, А. В. Щербаков, А. М. Желтиков.* Собственные моды полых фотонно-кристаллических волокон.// Письма в ЖЭТФ, т. 76, №6, с. 401-404, (2002).
6. *S.O. Konorov, D.A. Akimov, A.N. Naumov, A.B. Fedotov, R.B. Miles, J.W. Haus, A.M. Zheltikov.* Coherent Anti-Stokes Raman Scattering of Slow Light in a Hollow Planar Photonic Band-Gap Waveguide.// Laser Physics, v. 12, n. 4, p. 818 - 824, (2002).

7. *A.N. Naumov, A.B. Fedotov, I.Bugar, D.Chorvat, Jr., V.I. Beloglazov, S.O. Konorov, L.A. Mel'nikov, N.B. Skibina, D.A. Sidorov-Biryukov, E.A. Vlasova, V.B. Morozov, A.V. Shcherbakov, D. Chorvat, A.M. Zheltikov.* Supercontinuum Generation in Photonic-Molecule Modes of Microstructure Cobweb Fibers and Photonic-Crystal Fibers with Femtosecond Pulses of Tunable 1.1–1.5- μ m Radiation.// *Laser Physics*, v. 12, n. 8, p. 1191 - 1198, (2002).
8. *A.B. Fedotov, A.N. Naumov, S.O. Konorov, V.I. Beloglazov, L.A. Mel'nikov, N.B. Skibina, D.A. Sidorov-Biryukov, A.V. Shcherbakov, A.M. Zheltikov.* Photonic-Molecule Modes of a Microstructure Cobweb Fiber.// *Laser Physics*, v. 12, n. 11, p. 1363 - 1365, (2002).
9. *Д. А. Акимов, М. В. Алфимов, А. А. Иванов, А. Б. Федотов, Т. Биркс, У. Дж. Уодсуорт, Ф. Ст. Дж. Расселл, С. О. Коноров, О. А. Колеватова, А. А. Подшивалов, А. М. Желтиков* Последовательное фазовое согласование при каскадных параметрических взаимодействиях сверхкоротких лазерных импульсов.// *Письма в ЖЭТФ*, т. 77, № 1, с.9-12, (2003).
10. *С. О. Коноров, А. Б. Федотов, А. М. Желтиков.* Четырехволновое взаимодействие в полых фотонно-кристаллических волокнах.// *Письма в ЖЭТФ*, т. 77, № 8, с. 471 - 474, (2003).
11. *S. O. Konorov, A. B. Fedotov, V. I. Beloglazov, N. B. Skibina, A. V. Shcherbakov, E. Wintner, and A. M. Zheltikov* Laser Breakdown with Millijoule Trains of Picosecond Pulses Transmitted through a Hollow-Core Photonic-Crystal Fiber.// *Laser Physics*, v. 13, n. 4, p. 652, (2003).
12. *S O Konorov, A B Fedotov, O A Kolevatova, V I Beloglazov, N B Skibina, A V Shcherbakov, E Wintner and A M Zheltikov* Laser breakdown with millijoule trains of picosecond pulses transmitted through a hollow-core photonic-crystal fibre.// *J. Phys. D: Appl. Phys.* v. 36, n.12, 1375-1381, (2003).
13. *S. O. Konorov, A. B. Fedotov, O. A. Kolevatova, E. A. Serebryannikov, D. A. Sidorov-Biryukov, J. M. Mikhailova, A. N. Naumov, V. I. Beloglazov, N. B. Skibina, L. A. Melnikov, A. V. Shcherbakov and A. M. Zheltikov* Waveguide modes and dispersion properties of hollow-core photonic-crystal and aperiodic-cladding fibers.// *Laser Physics* v. 13 n.5, p.148–160, (2003).
14. *A. B. Fedotov, Ping Zhou, Yu. N. Kondrat'ev, S. O. Konorov, E. A. Vlasova, D. A. Sidorov-Biryukov, V. S. Shevandin, K. V. Dukel'skii, A. V. Khokhlov, S. N. Bagayev, V. B. Smirnov, A. P. Tarasevitch, D. von der Linde, and A. M. Zheltikov* Frequency Up-Conversion of Spectrally Sliced Mode-Separable Supercontinuum Emission from Microstructure Fibers.// *Laser Physics*, v. 13, n. 4, p. 816, (2003).
15. *A. B. Fedotov, S. O. Konorov, Yu. N. Kondrat'ev, S. N. Bagayev, V. S. Shevandin, K. V. Dukel'skii, D. A. Sidorov-Biryukov, A. V. Khokhlov, V. B. Smirnov, and A. M. Zheltikov* Measurement of Optical Losses for a Family of Microstructure Fibers with a Sequentially Increasing Number of Hexagonal Cycles of Air Holes.// *Laser Physics* v. 13, n.8, p. 856, (2003).
16. *S. O. Konorov, A. B. Fedotov, A. M. Zheltikov* Enhanced four-wave mixing in a hollow-core photonic-crystal fiber.// *Optics Letters*, v. 28, n. 16, p 1448, (2003).
17. *S. O. Konorov, A. M. Zheltikov* Frequency conversion of subnanjoule femtosecond laser pulses in a microstructure fiber for photochromism initiation.// *Optics Express* v.11, n19, p.2440-2445, (2003).
18. *S. O. Konorov, A. A. Ivanov, M. V. Alfimov, A. B. Fedotov, Yu. N. Kondrat'ev, V. S. Shevandin, K. V. Dukel'skii, A. V. Khokhlov, A. A. Podshivalov, A. N. Petrov, D. A. Sidorov-Biryukov, and A. M. Zheltikov* Generation of Frequency-Tunable Radiation within the Wavelength Range of 350–600 nm through Nonlinear-Optical Spectral Transformation of Femtosecond Cr: Forsterite-Laser Pulses in Submicron Fused Silica Threads of a Microstructure Fiber.// *Laser Physics*, v.13, n9, p.1170, (2003).
19. *S. O. Konorov, A. B. Fedotov, A. A. Ivanov, M. V. Alfimov, V. I. Beloglazov, N. B. Skibina, A. A. Podshivalov, A. N. Petrov, A. V. Shcherbakov, and A. M. Zheltikov* Guiding Femtosecond Second-Harmonic Pulses of a Cr: Forsterite Laser through Hollow-Core Photonic-Crystal Fibers.// *Laser Physics*, v.13, n8, p.1046, (2003).
20. *S. O. Konorov, A. B. Fedotov, O. A. Kolevatova, E. A. Serebryannikov, D. A. Sidorov-Biryukov, J. M. Mikhailova, A. N. Naumov, V. I. Beloglazov, N. B. Skibina, L. A. Mel'nikov, A. V. Shcherbakov, and A. M. Zheltikov* Waveguide Modes and Dispersion Properties of Hollow-Core Photonic-Crystal and Aperiodic-Cladding Fibers.// *Laser Physics*, 13, n2, p.148, (2003).
21. *С.О. Коноров, О.А. Колеватова, А.Б. Федотов, Е.А. Серебрянников, Д.А. Сидоров-Бирюков, Ю.М. Михайлова, А.Н. Наумов, В.И. Белоглазов, Н.Б. Скибина, Л.А. Мельников, А.В. Щербakov, А.М. Желтиков,* Волноводное распространение электромагнитного излучения в полых микроструктурированных и фотонно-кристаллических волокнах.// *ЖЭТФ*, т. 123, №5, (2003).
22. *S.O. Konorov, A.B. Fedotov, D.A. Sidorov-Biryukov, V.I. Beloglasov, N.B. Skibina, A.V. Shcherbakov, A.M. Zheltikov.* Hollow-core photonic-crystal fibers optimized for four-wave mixing and coherent anti-Stokes Raman scattering.// *Journal of Raman Spectroscopy*, v.34, n.9, p. 688-692, (2003).
23. *Stanislav O. Konorov, Vladimir P. Mitrokhin, Andrei B. Fedotov, Dmitrii A. Sidorov-Biryukov, Valentin I. Beloglazov, Nina B. Skibina, Andrei V. Shcherbakov, Ernst Wintner, Michael Scalora, Aleksei M. Zheltikov* Laser

- Ablation of Dental Tissues with Picosecond Pulses of 1.06- μm Radiation Transmitted through a Hollow-Core Photonic-Crystal Fiber.// *Applied Optics*, v. 43, n. 11, p. 2251, (2004).
24. Stanislav O. Konorov, Evgenii E. Serebryannikov, Aleksei M. Zheltikov, Ping Zhou, Alexander P. Tarasevitch, Dietrich von der Linde. Mode-controlled colors from microstructure Fibers.// *Optics Express*, v.12, n. 5 p.730-735, (2004).
 25. S. O. Konorov, A. M. Zheltikov, Ping Zhou, A. P. Tarasevitch, D. von der Linde. Self-channeling of subgigawatt femtosecond laser pulses in a ground-state waveguide induced in the hollow core of a photonic crystal fiber.// *Optics Letters*, v. 29, n. 13, p. 1521, (2004).
 26. S. O. Konorov, E. E. Serebryannikov, A. M. Zheltikov, Ping Zhou, A. P. Tarasevitch, D. von der Linde. Generation of femtosecond anti-Stokes pulses through phase-matched parametric four-wave mixing in a photonic crystal fiber.// *Optics Letters*, v. 29, n. 13, p. 1545, (2004).
 27. S. O. Konorov, Ping Zhou, V. I. Beloglazov, N. B. Skibina, A. P. Tarasevitch, D. von der Linde, and A. M. Zheltikov, Spatiotemporal Self-Action of Subgigawatt Femtosecond Laser Pulses in Hollow Photonic-Crystal Fibers.// *Laser Physics*, v.14, n.5, p.733, (2004).
 28. S. O. Konorov, Ping Zhou, E. E. Serebryannikov, Yu. N. Kondrat'ev, V. S. Shevandin, K. V. Dukel'skii, A. V. Khokhlov, A. P. Tarasevitch, D. von der Linde, and A. M. Zheltikov, Photonic-Crystal Fibers for the Generation of Femtosecond Pulses of Anti-Stokes Radiation.// *Laser Physics*, v. 14, n. 5, p. 752, (2004).
 29. S. O. Konorov, A. B. Fedotov, V. P. Mitrokhin, D. A. Sidorov-Biryukov, Yu. N. Kondrat'ev, V. S. Shevandin, K. V. Dukel'skii, A. V. Khokhlov, and A. M. Zheltikov, Polarization-Controlled Spectral Transformation of Unamplified Femtosecond Pulses in Multiple Waveguide Channels of a Photonic-Crystal Fiber.// *Laser Physics*, v. 14, n. 5, p.760, (2004).
 30. D. A. Sidorov-Biryukov, A. B. Fedotov, S. O. Konorov, V. P. Mitrokhin, M. Scalora, and A. M. Zheltikov, Photonic-Crystal-Fiber Optical Diode.// *Laser Physics*, v. 14, n. 5, p.764, (2004).
 31. S. O. Konorov, I. Bugar, D. A. Sidorov-Biryukov, D. Chorvat, Jr., Yu. N. Kondrat'ev, V. S. Shevandin, K. V. Dukel'skii, A. V. Khokhlov, A. B. Fedotov, F. Uherek, V. B. Morozov, V. A. Makarov, D. Chorvat, and A. M. Zheltikov, Chirp-Controlled Anti-Stokes Frequency Conversion of Femtosecond Pulses in Photonic-Crystal Fibers.// *Laser Physics*, v. 14, n. 5, p.772, (2004).
 32. S. O. Konorov, A. B. Fedotov, V. I. Beloglazov, N. B. Skibina, M. Scalora, M. Vaselli, and A. M. Zheltikov, Transmission of Ultrashort Pulses through Hollow Photonic-Crystal Fibers with Passbands in the Visible and Infrared Spectral Ranges.// *Laser Physics*, v. 14, n. 5, p. 780, (2004).
 33. S. O. Konorov, D. A. Akimov, A. A. Ivanov, M. V. Alfimov, V. I. Beloglazov, N. B. Skibina, and A. M. Zheltikov, Femtosecond Coherent Anti-Stokes Raman Scattering Spectroscopy Using Frequency-Tunable Chirped Pulses Produced and Shaped in a Photonic-Crystal Fiber.// *Laser Physics*, v. 14, n. 5, p.785, (2004).
 34. S. O. Konorov, A. A. Ivanov, D. A. Akimov, M. V. Alfimov, A. A. Podshivalov, Yu. N. Kondrat'ev, V. S. Shevandin, K. V. Dukel'skii, A. V. Khokhlov, and A. M. Zheltikov, Cross-Phase Modulation Control of Ultrashort Pulses Spectrally Transformed in Photonic-Crystal Fibers.// *Laser Physics*, v. 14, n. 5, p. 791, (2004).
 35. S.O. Konorov, A.B. Fedotov, L.A. Mel'nikov, A.V. Shcherbakov, and A.M. Zheltikov, Large-core-area hollow photonic-crystal fibers, *Laser Physics Letters*.// v. 1, n. 11, p. 548, (2004).
 36. S.O. Konorov, D.A. Akimov, A.A. Ivanov, M.V. Alfimov, A.B. Fedotov, D.A. Sidorov-Biryukov, L.A. Mel'nikov, A.V. Shcherbakov, I. Bugar, D. Chorvat Jr., F. Uherek, D. Chorvat, and A.M. Zheltikov, Anti-Stokes generation in guided modes of photonic-crystal fibers modified with an array of nanoholes.// *Laser Physics Letters*, v. 1, n. 8, p.402, (2004).
 37. S.O. Konorov, E.E. Serebryannikov, Ping Zhou, A.V. Khokhlov, V.S. Shevandin, K.V. Dukel'skii, Yu.N. Kondrat'ev, D.A. Sidorov-Biryukov, A.B. Fedotov, A.P. Tarasevitch, D. von der Linde, and A.M. Zheltikov, Mode-controlled spectral transformation of femtosecond laser pulses in microstructure fibers.// *Laser Physics Letters*, v. 1, n. 4, p.199, (2004).
 38. Коноров С.О., Федотов А.Б., Боту В., Серебрянников Е.Е., Сидоров-Бирюков Д.А., Кондратьев Ю.Н., Шевандин В.С., Дукельский К.В., Хохлов А.В., Желтиков А.М. Преобразование частоты субнаноджоулевых импульсов в микроструктурированных волокнах.// *Оптика и Спектроскопия*, т. 96, №. 4, с.575, (2004).
 39. S.O. Konorov, D.A. Akimov, A.A. Ivanov, M.V. Alfimov and A.M. Zheltikov, Microstructure fibers as frequency-tunable sources of ultrashort chirped pulses for coherent nonlinear spectroscopy.// *Applied Physics B: Lasers and Optics*, Issue: v 78, n 5, p. 565 - 567, (2004).
 40. Акимов Д.А., Коноров С.О., Алфимов М.В., Иванов А.А., Белоглазов В.И., Скибина Н.Б., Федотов А.Б., Сидоров-Бирюков Д.А., Петров А.Н., Желтиков А.М. Фемтосекундная спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света с использованием перестраиваемого излучения, генерируемого в микроструктурированных волокнах.// *Квантовая Электроника*, т. 34, № 5, с 473-476, (2004).
 41. A.B. Fedotov, S. O. Konorov, V. P. Mitrokhin, E. E. Serebryannikov, and A. M. Zheltikov, Coherent anti-Stokes Raman scattering in isolated air-guided modes of a hollow-core photonic-crystal fiber.// *PHYSICAL REVIEW A*, v.70, p. 045802, (2004).

42. *S. O. Konorov, D. A. Sidorov-Biryukov, I. Bugar, D. Chorvat, Jr., D. Chorvat, E. E. Serebryannikov, M. J. Bloemer, M. Scalora, R. B. Miles, and A. M. Zheltikov*, Limiting of microjoule femtosecond pulses in air-guided modes of a hollow photonic-crystal fiber.// PHYSICAL REVIEW A, v. 70, p. 023807, (2004).
43. *S.O. Konorov, D.A. Akimov, A.A. Ivanov, E.E. Serebryannikov, M.V. Alfimov, K.V. Dukel'skii, A.V. Vhokhlov, V.S. Shevandin, Yu.N. Kondrat'ev, A.M. Zheltikov*, Spectrally and temporally isolated Raman soliton features in microstructure fibers visualized by cross-correlation frequency-resolved optical gating.// Appl. Phys. B (Lasers and Optics), v. 79, p. 289–292, (2004).
44. *S. O. Konorov, D. A. Akimov, E. E. Serebryannikov, A. A. Ivanov, M. V. Alfimov, and A. M. Zheltikov*, Cross-correlation frequency-resolved optical gating coherent anti-Stokes Raman scattering with frequency-converting photonic-crystal fibers.// PHYSICAL REVIEW E, v. 70, p. 149409, (2004).
45. *S. O. Konorov, D. A. Akimov, E. E. Serebryannikov, A. A. Ivanov, M. V. Alfimov, and A. M. Zheltikov*, Cross-correlation FROG CARS with frequency-converting photonic-crystal fibers, Phys. Rev. E 70, 057601, (2004).
46. *S. O. Konorov* Enhanced Coherent Anti-Stokes Raman Scattering in a Photonic Band-Gap Planar Waveguide Seminar “Optics of Photonic Crystals” International Conference of young scientists “Optics’2001”, p.45. St-Petersburg 16-19 October 2001.
47. *S. O. Konorov* International Conference of young scientists “Optics’2001”, p.45. St-Petersburg 16-19 October 2001.
48. *S. O. Konorov* Fourth Italian-Russian Laser Symposium (ITARUS’01), St-Petersburg, Russia, 2001, Technical Digest, p.173.
49. *S. O. Konorov* International conference of yang scientists of M.V. Lomonosov 2001.
50. *S. O. Konorov* Coherent Four-Wave mixing in a Photonic Band-Gap Planar Hollow Waveguide. Book of abstracts of European Conference on Nonlinear Spectroscopy (ECONOS 2002). p. 48. Switzerland, March 18 – 19, 2002.
51. *S. O. Konorov* Supercontinuum Generation and enhanced nonlinear-optical processes in minimal cladding microstructure fibers. Book of Abstract. 11th International Laser Physics Workshop. p. 44. Bratislava, Slovak Republic, July 1-5, 2002
52. *S. O. Konorov* Coherent Anti-Stokes Raman Scattering of Slow Light in a Hollow Planar Photonic Band-Gap Waveguide. Technical Digest International Quantum Electronics Conference. p. 471. Moscow, Russia, June 22 – 27, 2002.
53. *S. O. Konorov* Frequency conversion and spectral transformation of ultrashort pulses in microstructure and photonic-crystal fiber// St.Peterburg LOYS 2003
54. *S. O. Konorov* Frequency conversion and spectral transformation of ultrashort pulses in microstructure and photonic-crystal fiber. Book of abstracts p.280, 12th International Laser Physics Workshop. Hamburg, Germany, August 25-29, 2003.
55. *Stas O. Konorov, Andrei B. Fedotov, Aleksei M. Zheltikov* Femtosecond time-resolved two-photon-absorption-resonant four-wave mixing in three-dimensional Spiroppyran/PMMA samples, Book of abstracts p.304, 12th International Laser Physics Workshop. Hamburg, Germany, August 25-29, 2003.
56. *Stas O. Konorov, Andrei B. Fedotov, Aleksei M. Zheltikov*, Frequency conversion and spectral transformation of ultrashort pulses in microstructure and photonic-crystal fibers, Technical Digest p.245, 5th Italian-Russian Laser Symposium, Moscow, Russia, October 29 – November 2, 2003.
57. *A.D. Akimov, S.O. Konorov, A.M. Zheltikov, A.A. Ivanov and M.V. Alfimov*, Cross-correlation FROG CARS with Frequency-converting Microstructure fibers, Technical Digest p.10, European Conference on Non-linear Spectroscopy (ECONOS 2004), Erlangen, Germany, April 4-6, 2004.
58. *I. Bugar, S.O. Konorov, D.A. Sidorov-Biryukov, D.Chorvat Jr., D.Chorvat, and A.M. Zheltikov*, Four-wave Mixing Spectroscopy and Quantum Control of Two-photon Photochromism, Technical Digest p.20, European Conference on Non-linear Spectroscopy (ECONOS 2004), Erlangen, Germany, April 4-6, 2004
59. *S.O. Konorov, A.D. Akimov, A.M. Zheltikov, A.A. Ivanov and M.V. Alfimov*, Cross-corelation FROG CARS with Frequency-Converting Microstructure Fibers, Proceeding of the 19 International Conference on Raman Spectroscopy, 8-13 August 2004, Gold Coast, Australia

Подписано в печать 08.04.2005

Объем 15 печ.л.

Тираж 100 экз. Заказ №59

Отпечатано в ООО «Соцветие красок»

119992, г. Москва, Ленинские горы, д.1

Главное здание МГУ, к.102