

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

## ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 535.41

ПОПЕРЕЧНОЕ РАССЕЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ  
ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ И СПЕКЛЫ

Ю. В. Васильев, А. В. Козарь, Е. Ф. Курицына, А. Е. Лукьянов

(кафедра общей физики; кафедра радиофизики; кафедра физической электроники)

**Экспериментально обнаружено явление возникновения двумерной кластерной спекл-структуры вблизи одномерной цепочечной спекл-структуры. Оно обусловлено поперечной дисперсией резонансного перерасеяния поверхностных плазмон-поляритонов на хаотически модулированной металлической дифракционной решетке с шероховатой поверхностью.**

Известно [1], что при падении лазерного излучения на плоскую, сильно шероховатую металлическую поверхность резонансное возбуждение и перерасеяние поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ) на модулированной поверхности металла приводит к аномальным явлениям. При диффузном рассеянии шероховатой поверхностью пучка видимого монохроматического излучения лазера на удаленном экране наблюдается пятнистая дифракционная картина [2] из одноцветных мелких ярких пятнышек (спеклов). Изучение картин спеклов позволяет глубже понять механизмы протекания сложных оптических процессов на пространственно модулированной поверхности металла (см. напр., [3]).

Цель работы — экспериментально исследовать структуру оптического поля на удаленном экране при отражательной дифракции сфокусированного пучка лазера, освещающего плоскую металлическую поверхность с сильно анизотропной шероховатостью.

В эксперименте на голографической измерительной установке УИГ-22М качественный анализ структуры оптического поля проводился визуальным сравнением почернений фотоматериала экрана [4]. Принципиальная оптическая схема эксперимента показана на рис. 1. Аргонный лазер 1 типа ЛГН-503 непрерывно генерирует гауссов монохроматический пучок 2: длина волны  $\lambda = 514.5$  нм, эффективный диаметр пучка  $D = 2.5$  мм, пространственная мода  $TEM_{00}$ . Механический затвор 3 управляет временем экспонирования фотоматериала экрана. Набор нейтральных светофильтров 4 ослабляет до необходимого уровня интенсивность излучения. Диафрагма 5 с круглым отверстием пространственно фильтрует лазерный пучок. Линза 6 с фокусным расстоянием 42 см плавно сжимает диаметр  $D$  гауссова пучка излучения, распространяющегося вдоль оси 7, до минимальной величины в фокальной плоскости линзы ( $d \approx 0.05$  мм) [5].

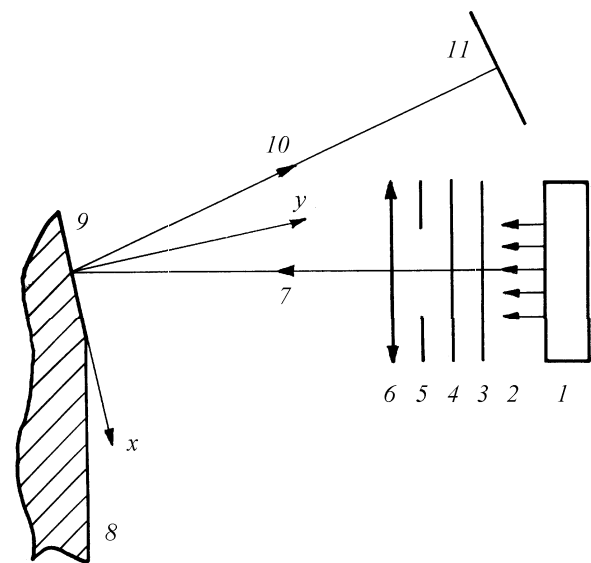


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема эксперимента

С фокальной плоскостью линзы совмещена тонкая металлическая пластина 8 плоского лезвия безопасной бритвы шириной 22 мм. Лезвие имеет клиновидную режущую кромку длиной 37 и высотой около 0.5 мм. Сторона кромки состоит из четырех длинных граней, ширина которых убывает от основания кромки к ее вершине [6]. На рис. 1 показана проекция поперечного сечения грани 9 у основания кромки (средняя ширина грани  $b \approx 0.3$  мм). Плоскость грани скошена относительно плоскости пластины лезвия под углом  $\alpha \approx 5^\circ$ . В декартовой системе координат  $xyz$  плоскость грани совпадает с плоскостью  $xz$ . Ось  $z$  совмещена с длинной осью грани, а ось  $y$  перпендикулярна плоскости грани. В плоскости  $(xy)$  падения сжатого гауссова пучка  $s$ -поляризованного излучения на поверхность грани ось 7 пучка пересекает длинную ось грани в произвольно выбранной точке. Длинные края грани с координатами  $(x = \pm b/2, y = 0, z)$  не освещаются лазерным пучком ( $d \ll b$ ) и не участвуют в рассеянии излучения.

Тангенциальная составляющая волнового вектора падающего излучения на плоскости грани ( $k_t$ ) ориентирована вдоль оси  $x$ . Величина  $k_t$  мала ( $k_t = k \sin \alpha \ll k = 2\pi/\lambda$ ). Излучение, рассеянное вблизи направления  $10^\circ$  — френелевского зеркального отражения грани, регистрируется на расстоянии 1 м на плоском листе фотобумаги  $11$  с размерами  $9 \times 12$  см. Лист перпендикулярно пересекает направление зеркального отражения  $10^\circ$  в центре листа. Длинная сторона листа вертикальна и параллельна длинной оси грани (оси  $z$ ).

Микрорельеф механически обработанной поверхности лезвия статистически сложен. На микрофотографии (рис. 2), полученной в растровом электронном микроскопе JSM-U3, на площади обзора  $1 \times 1$  мм слева видна изотропно шероховатая поверхность металлической пластины лезвия, а справа — анизотропно шероховатая поверхность кромки лезвия. Рифленая поверхность кромки профилирована хаотично и не гладко. Черные горизонтальные полосы на рис. 2 — это длинные бороздки на поверхности кромки, ориентированные вдоль оси  $x$ . Средняя глубина бороздок первой грани кромки  $\Delta y \gg \lambda$ . Склоны бороздок грани крутые, часто обрывистые. Между глубокими бороздками расположены площадки поверхности грани, на которых процарапаны длинные мелкие канавки.

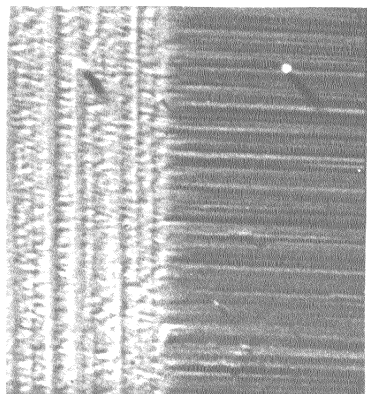


Рис. 2. Микрофотография фрагмента поверхности металлической пластины лезвия (слева) и режущей кромки лезвия (справа)

Из-за анизотропной шероховатости грани возникает визуально наблюдаемая пространственно неоднородная картина фраунгоферовых спеклов на белом листе бумаги в фотографической рамке установки. Типичный пример такой картины показан в негативном изображении на рис. 3 внизу (картина зарегистрирована при большой величине экспозиции фотобумаги). В этой картине на фоне обычных спеклов, хаотически разбросанных по листу фотобумаги, выделяется вертикальная, статистически симметричная полоса аномально интенсивных спеклов (в оригинале высота полосы 12 см, а средняя ширина — около 2.5 см).

Для изучения строения аномальной спекл-структуры в нашем эксперименте использован метод оста-

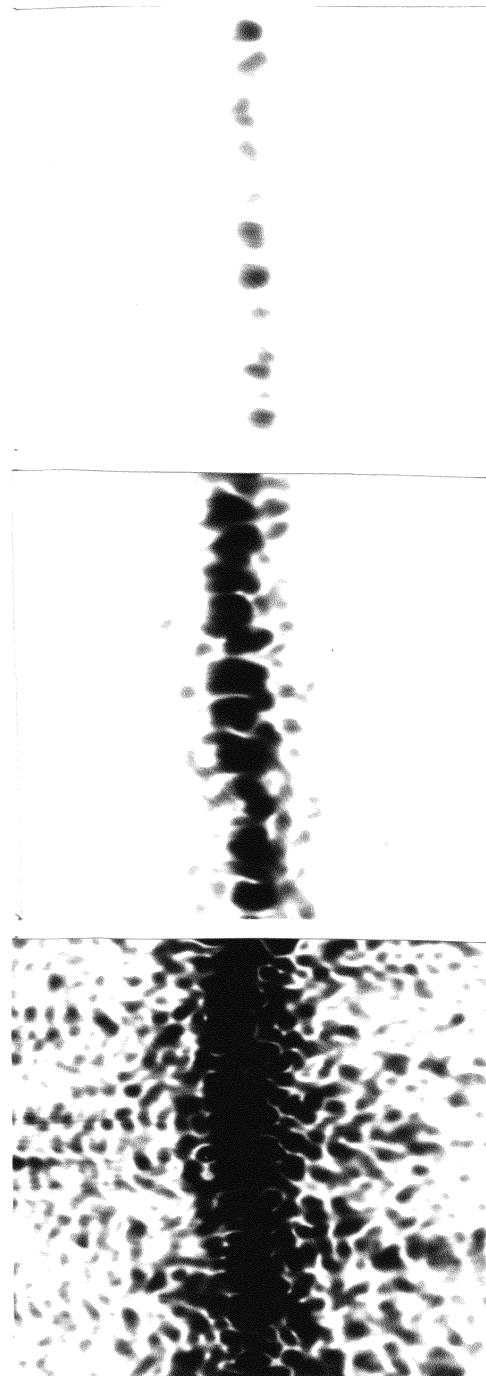


Рис. 3. Эволюция картины зарегистрированных лазерных спеклов при изменении величины экспозиции фотобумаги от малой (вверху) до большой (внизу)

точных лучей [4]. Так, при малой величине экспозиции фотобумаги на фотоснимке регистрируется одномерная цепочечная спекл-структура, пример которой показан на рис. 3 вверху. Эта спекл-структура состоит из одиночных световых пятен различной интенсивности, хаотически распределенных вдоль вертикальной линии.

Основной причиной возникновения цепочечной спекл-структуры можно считать механизм продольного (ориентированного вдоль оси  $z$ ) и нерадиационного резонансного перерассеяния ПЭВ на резонансных фурье-составляющих большой амплитуды

ды в пространственном спектре анизотропно шероховатой поверхности грани. Наиболее важными в перерасеянии ПЭВ оказываются фурье-составляющие с высокими пространственными частотами  $g_z$  и  $2g_z$ , где  $g_z \approx \omega/c$  ( $\omega$  — циклическая частота лазерного излучения,  $c$  — скорость света в вакууме) [1]. Радиационное рассеяние ПЭВ хаотической дифракционной решеткой (совокупностью бороздок и гребней грани) ведет к формированию ориентированной параллельно оси  $z$  одномерной цепочечной спекл-структуры на листе фотобумаги.

При увеличении экспозиции фотобумаги в эксперименте зарегистрировано возникновение двумерной кластерной спекл-структуры. Пример такой структуры показан посредине рис. 3. Здесь видно, что имеет место уширение световых пятен исходной, одномерной цепочечной спекл-структуры в горизонтальном направлении (поперечном к оси  $z$ ). Это уширение является аномальным с точки зрения существующих представлений о форме спеклов.

Описываемое явление можно интерпретировать в рамках представлений модели [1], если дополнительно принять во внимание плазмоноподобный характер ПЭВ на частотах видимого диапазона. Для поверхностных плазмон-поляритонов естествен-

но однократное или многократное рассеяние на шероховатостях металлической поверхности, которое сопровождается изменением направления волнового вектора [7]. В нашем случае это подразумевает возможность существования поперечной дисперсии резонансного перерасеяния ПЭВ за счет низкочастотных составляющих  $g_x \ll \omega/c$  в пространственном спектре анизотропно шероховатой поверхности первой грани кромки лезвия.

#### Литература

1. Емельянов В.И., Семиногов В.Н. // Квант. электрон. 1987. **14**, № 1. С. 47.
2. Франсон М. Оптика спеклов. М., 1980.
3. Васильев Ю.В., Козарь А.В., Курицына Е.Ф., Лукьянов А.Е. // Опт. и спектр. 1998. **85**, № 6. С. 1001.
4. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика. М., 1961.
5. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М., 1998.
6. Герчиков А.Б. // Химия и жизнь. 1982. № 6. С. 87.
7. Рейтер Х. // Поверхностные поляритоны / Под ред. В.М. Аграновича, Д.Л. Миллса. М., 1985. С. 227.

Поступила в редакцию  
16.02.04