

с частотой Ω_2 при $\alpha = 0$ измерялись на выходе XOR_3 . Они соответствуют классическим выражениям для I_1 , I_2 и I_Σ и совпадают с экспериментальными результатами, приведенными в работе [3] (с. 94, рис. 2, с).

Из этих результатов следует вывод о возможном применении несоизмеримости радиосигналов [4, 5]. При передаче таких сигналов из удаленной точки в разных пунктах приема с частотным разделением когерентные сигналы можно сделать синфазными. В двухканальном четырехлучевом интерферометре интерференционный максимум соответствует когерентности случайных последовательностей. Иначе говоря, в пространственно разнесенных приемниках такого интерферометра из принимаемых радиосигналов можно формировать когерентные последовательности случайных двоичных импульсов и использовать их в качестве непрерывных ключевых потоков для защиты передаваемой информации [4, 6]. Вместе с тем колебания невырожденного генератора представляют собой классический аналог квантовых дихотомных (двухзначных) сигналов [3]. Это дает возможность абонентам автономной криптосистемы, генерируя дихотомные несоизмеримые радиосигналы и частично обмениваясь ими, скрытно формировать когерентные ключевые потоки [4].

С другой стороны, несоизмеримые сигналы можно использовать для формирования непериодических

шумоподобных сигналов неограниченной длины. В отличие от своих аналогов — последовательностей максимальной длины M — каждая N -последовательность является двоичной формой иррационального числа и не имеет собственного периода. Однако каждая N -последовательность имеет дельтовидную функцию автокорреляции, которая управляется независимыми задержками каждого из колебаний. Поэтому для N -последовательностей в целом согласованная фильтрация невозможна, но возможен отдельный синхронный прием когерентных радиосигналов и синхронное накопление выборок их знаковой корреляции. Однолепестковость функции автокорреляции можно использовать в локации для борьбы с многолучевостью.

Литература

1. Шустер Г. Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988.
2. Каплан А.Е., Кравцов Ю.А., Рылов В.А. Параметрические генераторы и делители частоты. М.: Сов. радио, 1966.
3. Евдокимов Н.В., Клышко Д.Н., Комолов В.П., Ярочкин В.А. // УФН. 1996. **166**, № 1. С. 91.
4. Евдокимов Н.В., Клышко Д.Н., Комолов В.П., Ярочкин В.А. Патент RU 2117402 С1. 1998.
5. Евдокимов Н.В., Комолов В.П., Комолов П.В. Патент RU 2122232 С1. 1998.
6. Месси Д.Л. // ТИИЭР. 1988. **76**, № 5. С. 24.

Поступила в редакцию 12.05.00

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 535.41

АНИЗОТРОПИЯ АНИЗОМЕРНЫХ СПЕКЛ-СТРУКТУР

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

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

Экспериментально обнаружено, что различная степень анизотропной шероховатости поверхности узких металлических полосок приводит к существенному различию в характере обратного дифракционного рассеяния освещающего лазерного излучения. Выявлена анизотропия свойств возникающих случайных оптических полей.

Известно [1], что форма индикатрисы рассеяния пучка лазерного излучения малой мощности, освещающего плоскую изотропно-шероховатую металлическую поверхность, зависит от статистических характеристик шероховатости, которые определяют в оптическом процессе различную степень участия зеркального отражения падающего излучения (по Френелю), диффузного рассеяния излучения (по Рэлею) и зеркально-диффузного (квазизеркального) рассеяния (по Райсу).

Комплексная амплитуда \mathbf{A} случайного оптического поля, которое возникает в точках полупространства [2], выражается векторной суммой амплитуды \mathbf{a}_0 некоторой регулярной составляющей поля и совокупности малых случайных амплитуд \mathbf{a}_n всех рассеянных волн, приходящих от освещенных точек

шероховатой поверхности с хаотическими фазовыми сдвигами: $\mathbf{A} = \mathbf{a}_0 + \sum_{n=1}^N \mathbf{a}_n$. В случае широких освещающих пучков можно считать, что число элементарных рассеивателей излучения $N \rightarrow \infty$. Поэтому на регистрационном экране (фотобумага, фотопластинка и т. п.) на достаточно большом расстоянии от рассеивателя излучения формируется статистически устойчивая картина распределения освещенности. Ее мелкие детали сильно зависят от соотношения вкладов a_0 и $\sum a_n$. Так, если во всех точках экрана выполняется условие $a_0 = 0$, то возникает предельно контрастная, статистически изотропная, пятнистая дифракционная картина (спекл-структура), состоящая из хаотически разбросанных по плоскости экрана мелких ярких пятнышек (спеклов). Соответ-

ствующие случайные оптические поля принято называть [3] полностью развитыми спекл-полями со статистикой рэлеевского типа в распределении амплитуд (рэлеевские спеклы). Но если в точках экрана $a_0 \neq 0$, а для максимальных значений величины $|\sum a_n|$ справедливо соотношение $|\sum a_n| \lesssim |a_0|$, то на экране формируется весьма мало контрастная пятнистая картина, что типично для статистически изотропных спекл-полей с не полностью развитыми, или райсовскими, спеклами (по названию статистики). Поэтому интересно определить экспериментально, что может произойти с картиной регистрируемых спеклов при различных изменениях свойств рассеивателей лазерного излучения.

Цель работы — исследовать влияние анизотропной шероховатости на формирование спекл-структуры при освещении лазерным пучком (длина волны λ , эффективный диаметр d) узкой металлической полоски длиной a и шириной b ($a \gg d \gg b \gg \lambda$), на плоскую поверхность которой нанесены нерегулярные царапины в поперечном направлении.

В нашем эксперименте на голографической измерительной установке УИГ-22М, принципиальная оптическая схема которого показана на рис. 1, используется комбинированный рассеиватель лазерного излучения — лезвие безопасной бритвы шириной 22 мм. Плоская поверхность металлической пластины лезвия изотропно-шероховатая, а скошенная поверхность клиновидной режущей кромки лезвия (длина 37 мм, ширина 0,5 мм) анизотропно-шероховатая. Это обусловлено технологией заточки края с двух сторон на абразивных кругах: сначала с крупным, затем с мелким и очень мелким абразивным зерном и окончательной правкой лезвия на правочных головках [4]. Поэтому каждая сторона клиновидной кромки лезвия состоит из четырех длинных и узких граней. Так, ширина первой грани (самой большой) примерно 0,3 мм, второй и третьей — примерно 0,1 и 0,03 мм соответственно, четвертой (у вершины клина) — менее 0,01 мм. Плоскости граней наклонены к плоскости пластины лезвия с возрастающими углами (обычно 5, 7, 9 и 12° для 1, 2, 3 и 4-й грани соответственно).

На рис. 1 схематически изображен фрагмент поперечного сечения пластины и режущей кромки лезвия. Здесь прямой отрезок O соответствует проекции на плоскость рисунка освещенной плоскости пластины лезвия, 1 — такой же проекции плоскости первой грани кромки, 2 — проекции второй грани кромки, а остальные детали сечения опущены.

Гауссов пучок (3) монохроматического излучения аргонового лазера (4) типа ЛГН-503 ($\lambda = 514,5$ нм, $d = 2,5$ мм, пространственная мода TEM_{00}) падает перпендикулярно на плоскость пластины лезвия и освещает грани режущей кромки. Картина спеклов регистрируется под углами обратного рассеяния лазерного излучения от 10 до 15° на плоском листе фотобумаги размерами 9 × 12 см в фотографической рамке (5) голографической установки на расстоянии 1,5 м от лезвия.

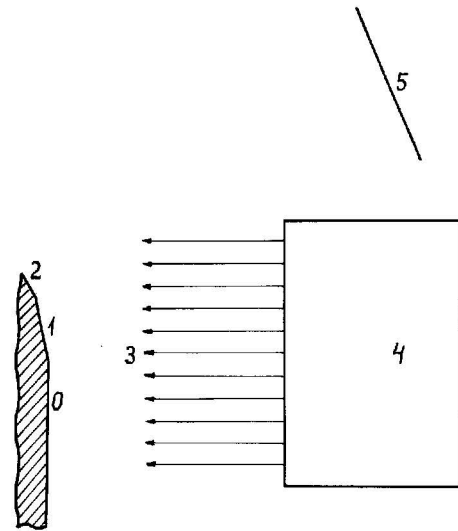


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема эксперимента

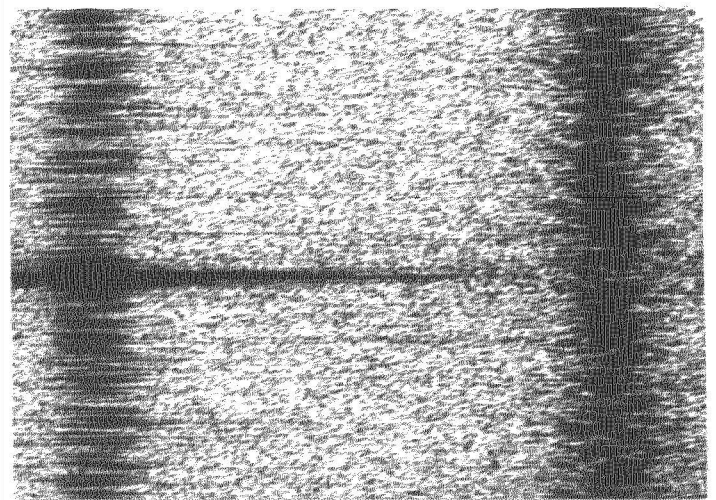


Рис. 2. Негативное изображение картины спеклов при освещении лазерным пучком поверхности пластины лезвия безопасной бритвы

Пример получаемых фотоснимков с негативным изображением спеклов показан на рис. 2. Изотропные рэлеевские спеклы, порожденные изотропной шероховатостью поверхности пластины лезвия, в виде мелких черных точек хаотически разбросаны по площади фотоснимка. Слева и справа видны две крупномасштабные анизотропные спекл-структуры, состоящие из анизомерных спеклов (сильно вытянутых в горизонтальном направлении). Они обязаны своим происхождением дифракционному рассеянию части падающего лазерного излучения первой и второй гранью режущей кромки лезвия. Обнаружено существенное различие в характере этих двух спекл-структур, которое обусловлено разным микрорельефом поверхности соответствующих граней кромки.

Микрорельеф поверхности лезвия исследован в растровом электронном микроскопе JSM-U3. Линейные размеры элементов поверхности вдоль граней рассчитываются по кривым видеосигналов на экране микроскопа (рис. 3), которые регистрируются при сканировании поверхности сфокусированным

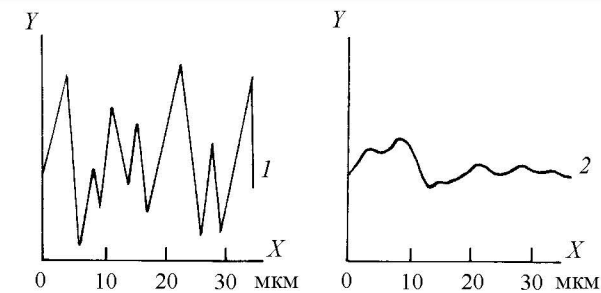


Рис. 3. Видеосигналы от поверхности первой (1) и второй (2) грани режущей кромки

пучком электронов в том же направлении X (режим Y -модуляции) [5]. Установлено, что для первой грани типичной оказывается сильная шероховатость поверхности с размерами порядка λ или более. Поперек грани идут бороздки — глубокие, с крутыми склонами, сильно сужающиеся у дна и нерегулярные по линейным размерам. Они чередуются с такими же нерегулярными гребнями без какой-либо периодичности. Шероховатость же поверхности второй грани намного меньше, чем первой. Наблюдается сглаживание и скругление формы вершины и дна гребней и бороздок, образование более пологих склонов и даже отдельных плоских участков поверхности второй грани.

Сильная шероховатость поверхности первой грани приводит к подавлению регулярной дифракционной картины, возникающей при отражении излучения от нее, в то время как слабая шероховатость второй грани не может этому воспрепятствовать, и в результате только одна спекл-структура из двух на рис. 2 пересекается в поперечном направлении характерной дифракционной полосой. Она идет симметрично в обе стороны от центра спекл-структуры в горизонтальном направлении и постепенно сужается (на рис. 2 показана только правая часть этой полосы). Вторая особенность

анизотропных спекл-структур состоит в анизотропии спекл-полей, порождаемых анизотропно-шероховатой поверхностью граней. Это проявляется в том, что анизотропные спеклы вдоль обеих спекл-структур (по вертикали на рис. 2) ведут себя как типично рэлеевские, которые при нормальной экспозиции фотоматериала приводят к предельно контрастной картине. В то же время отдельные анизотропные спеклы в самой структуре проявляют типично райсовские черты: в горизонтальном направлении происходит непериодическая модуляция их интенсивности. Нелинейность характеристической кривой фотоматериала позволяет при подходящем выборе экспозиции наблюдать «разрыв» анизотропного спекла вдоль его длины на отдельные малые фрагменты, линейные размеры которых не соответствуют классическим размерам рэлеевских спеклов, строго определяемых законами дифракции [2]. При этом райсовские свойства вдоль анизотропного спекла становятся более выраженными при уменьшении шероховатости соответствующей грани кромки лезвия.

Обнаруженная в эксперименте анизотропия анизотропных спекл-структур может быть использована для оценки шероховатости микротекстур в современных технических приложениях.

Литература

1. Иванов А.Ю. // Письма в ЖТФ. 1999. 25, № 16. С. 29.
2. Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980.
3. Ульянов С.С. // Соросовский образовательный журн. 1999. № 6. С. 112.
4. Герчиков А.Б. // Химия и жизнь. 1982. № 6. С. 87.
5. Новиков Ю.А., Раков А.В., Стеколин И.Ю. // Механизмы вторичной электронной эмиссии рельефной поверхности твердого тела. М., 1998 (Тр. ИОФАН. Т. 55). С. 109.

Поступила в редакцию
09.02.00

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 546.18

ОБРАЗОВАНИЕ НАНОКЛАСТЕРОВ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

А. А. Новакова, Т. Ю. Киселева, И. В. Ковалева

(кафедра физики твердого тела)

Проведено мёсбауэровское исследование стекол состава $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ с малым содержанием (до 1%) Fe, обогащенного по изотопу ^{57}Fe . Проанализировано структурное и валентное состояния ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . Обнаруженная компонента спектров с характерной магнитно-релаксационной формой свидетельствует об образовании в стеклах ультрамалых кластеров оксида Fe^{3+} .

Интерес, проявляемый к изучению закономерностей положения ионов железа в стеклах различного состава, обусловлен резкой зависимостью свойств стекла как от концентрации ионов железа, так и от их валентно-координационного состояния. Определяющую роль здесь играет существование ионов железа

в двух валентных состояниях: Fe^{2+} и Fe^{3+} . Кроме того, существует вероятность, что эти разновалентные ионы занимают два различных структурных положения в структурной сетке октаэдрической (o) и тетраэдрической (t) координации. Отношение количества двухвалентного железа к количеству трехвалентного