

07;12

Информационно-сжатая структура картины краевых лазерных спеклов

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

Московский государственный университет им М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию 8 апреля 1997 г.

Экспериментально установлена корреляция между реальным "фасеточным" строением режущей площадки лезвия по данным электронной микроскопии и пространственным квантованием изображения зарегистрированного спекл-поля (при предельном сжатии зарегистрированной информации до уровня логический ноль–логическая единица) в когерентно-оптических исследованиях явления дифракции на краю лезвия, что может быть полезным при решении обратной технической задачи (с равноправными вариантами представлений при теоретическом моделировании конкретной ситуации).

Известно [1], что при дифракции гауссова пучка лазерного излучения на прямом крае лезвия для безопасной бритвы в окружающем пространстве возникает сложная спекл-структура, в которой большой интерес представляют предельно анизомерные спеклы. Они обязаны своим происхождением микронеровностям режущей площадки лезвия. Режущая площадка завершает симметричный, клиновидно заостренный край стальной пластины толщиной $80 \mu\text{m}$, имеет длину 37 mm и среднюю ширину около 300 nm , что меньше длины волны света. Поэтому на плоском листе фотобумаги, установленном на большом расстоянии L от прямого дифракционного края параллельно ему, видны очень яркие, одноцветно окрашенные, непрерывные узкие параллельные линии или полосы — краевые лазерные спеклы.

После проявления фотобумаги спеклы предстают перед наблюдателем в негативном изображении — в виде темных линий или полос на белом фоне. Одномерность спеклов упрощает экспресс-анализ неизвестного микропрофиля режущей площадки с использованием зарегистрированной информации, например на фотобумаге, обеспечивающей возможность сознательного управления процессом сжатия информации [2]. Сжатие информации — мощный и гибкий инструмент в экспериментальных исследованиях спеклов и порождающих их микронеоднородностей.

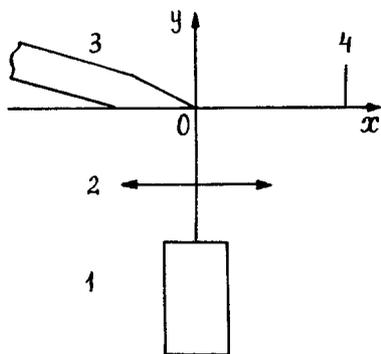


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема эксперимента.

Цель настоящей работы — выяснить в эксперименте, существует ли в зарегистрированной оптической картине какая-либо закономерность в расположении краевых лазерных спеклов относительно друг друга. В случае положительного ответа все рассмотрение переводится в область иконики. На первом этапе целесообразно ограничиться описанием простейшей информационно-сжатой структуры, формируемой краевыми лазерными спеклами оптической картины. На привычном языке это означает, что в данной работе используются методы контрастной черно-белой фотографии, в которой отсутствует представление о полутонах.

Положительный ответ на поставленный вопрос получен в экспериментах на голографической измерительной установке УИГ-22М. Исследования проведены по оптической схеме, показанной упрощенно на рис. 1. Аргонный лазер 1 типа ЛГН-503 прямо или через фокусирующую сферическую линзу 2 освещает режущую площадку лезвия 3 (прямой край лезвия совмещен с осью Oz правой декартовой системы координат $Oxyz$). На узком прямоугольном листе фотобумаги в фотографической рамке 4 (на расстоянии $L = 1.5$ m по оси Ox) регистрируется картина краевых лазерных спеклов. Длинная сторона листа параллельна оси Oz , а короткая — Oy . Пучок лазерного излучения (длина волны $\lambda = 488$ nm, пространственная мода TEM_{00} , электрический вектор плоской волны параллелен оси Oz , эффективный диаметр пучка $D = 2.5$ mm) распространяется вдоль оси Oy и падает перпендикулярно на скошенную грань заостренного края лезвия (ширина грани ~ 1 mm). Она совмещена

с плоскостью $y = 0$. Краевые лазерные спеклы выделяются из сложной спекл-структуры установкой рамки 4 за этой плоскостью.

В растровом электронном микроскопе JSM-U3 обнаружено, что режущая площадка лезвия разбита на множество плоских микрограней. Они хаотически изменяют угол наклона к оси Oz . Их длина также варьируется хаотично в пределах от порядка одной длины волны света и до десятков. Каждую микрогрань можно рассматривать как независимый рассеиватель падающего когерентного излучения. Поэтому в оптическом эксперименте объективно регистрируются спеклы Фраунгофера [3].

При освещении режущей площадки лезвия прямым лазерным пучком установлено, что ширина краевых лазерных спеклов по порядку величины совпадает с оценкой дифракционной теории спеклов [3]: $\Delta z \sim \lambda L/D$. При установке линзы [2] (задняя фокальная плоскость совмещена с плоскостью $y = 0$) поперечное сечение гауссова пучка излучения сжимается, а спеклы уширяются и становятся ярче. После проявления контрастной фотобумаги на ней видны чередующиеся черные и белые полосы различной ширины (рис. 2).

Черные полосы отвечают месту, куда от микрограней лезвия приходят преимущественно синфазные рассеянные волны. Амплитудное сложение синфазных волн приводит к повышенным значениям освещенности. Белые полосы соответствуют месту с пониженной освещенностью. Там происходит взаимное гашение антифазно рассеянных волн. Для краткости описания информационно-сжатой структуры исходной оптической картины можно условно назвать черные полосы спеклами, а белые — антиспеклами (по смыслу происходящих физических явлений).

Опыт показывает, что ширина спеклов и антиспеклов кратна некоторой величине B . Например, на фотобумаге (рис. 2) $B \sim 1 \text{ mm}$ и поэтому легко воспринимается визуально. Это достигнуто подбором линзы с должным фокусным расстоянием. Обнаруженная кратность ширин свидетельствует о пространственном квантовании по координате z зарегистрированного изображения. По этой координате спеклы и антиспеклы по сути оказываются волновыми пакетами. Спеклы — это прямоугольные волновые пакеты, отвечающие зарегистрированным (реальным) состояниям оптического поля, а антиспеклы — пакеты неопределенной внутренней структуры, отвечающие незарегистрированным (виртуальным) состояниям оптического поля. В опытах спеклы имеют в исходной картине уровень освещенности выше порога регистрации, устанавливаемого экспериментатором из конкретных условий решаемой технической задачи.

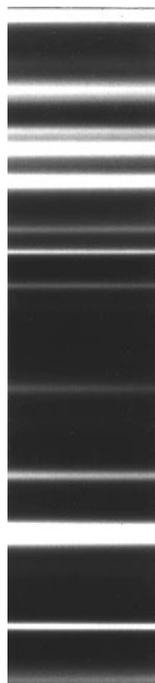


Рис. 2. Типичный пример простейшей информационно-сжатой структуры картины краевых лазерных спеклов (в дальней зоне при малой апертуре освещения режущей площадки лезвия сфокусированным гауссовым пучком излучения аргонового лазера).

Интерпретация информационно-сжатой структуры в виде волновых пакетов полезна при решении обратной задачи — нахождения характеристик режущей площадки по зарегистрированному рассеянию излучения. Анализ ситуации может быть проведен совершенно эквивалентным образом на языке оптических степеней свободы изображений с привлечением либо хорошо известных спектральных представлений, либо лучевых. В первом случае используется представление об информационных полосах Габора в пространственном спектре рассеянного излучения. Во втором — об информационных волновых пакетах Котельникова. По сути же учитывается главный лепесток диаграммы направленности

излучения подсистемы, которая состоит из одинаково ориентированных в пространстве микрограней режущей площадки, образующих сложный переизлучатель. Азимутальный угол главного лепестка различных подсистем, из которых состоит освещенный участок края, должен соответствовать направлениям, которые определяются точками отсчета теоремы Котельникова. Выбор одного из этих представлений при решении конкретной технической задачи диктуется только практической целесообразностью [2].

Список литературы

- [1] *Васильев Ю.В., Лукьянов А.Е.* // ЖТФ. 1994. Т. 64. В. 8. С. 168–171.
- [2] *Харкевич А.А.* Спектры и анализ. М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. 236 с.
- [3] *Франсон М.* Оптика спеклов. М.: Мир, 1980. 171 с.