

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 535.41

СТРУКТУРА КАРТИНЫ ПРЕДЕЛЬНО АНИЗОТРОПНЫХ
ЛАЗЕРНЫХ СПЕКЛОВ

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

(кафедра общей физики; кафедра физической электроники)

Описывается эксперимент по генерации лазерных спеклов с предельной величиной поперечной анизотропии. Предложен простой экспрессный метод визуального фотометрирования для качественного анализа структуры картины предельно анизотропных лазерных спеклов.

Узкий монохроматический пучок линейно поляризованного лазерного излучения, падающий на более широкий диффузор (например, в виде плоской металлической пластины с шероховатой поверхностью), диффузно рассеивается (по различным пространственным направлениям). Большинство диффузоров обеспечивает достаточно высокую степень когерентности и поляризации возникающего вторичного излучения, которое хаотически модулировано по фазе. Это ведет к формированию в пространстве (на некотором удалении от диффузора) стационарной трехмерной картины случайного распределения интенсивности оптического поля. Отдельные области картины, в каждой из которых колебания электрического вектора поля строго сфазированы и обладают значительной интенсивностью, согласно классификации Габор, в настоящее время называются объективными лазерными спеклами. Многообразие форм спеклов [1], обусловленное дифракционными явлениями, обуславливает значительный интерес к изучению различных оптических картин.

Опыт показывает [2], что в случае нормального падения на плоскую металлическую пластину круглого в поперечном сечении лазерного пучка возникают спеклы, которые при статистическом усреднении имеют форму вытянутых сигароподобных фигур. Их длинные оси верообразным пучком расходятся от освещенного участка диффузора. Это говорит о присущей спеклам продольной пространственной анизотропии. Статистически круглая форма поперечного сечения спеклов типична только для малых углов рассеяния. Для очень больших углов характерна эллиптически вытянутая форма, т.е. имеет место и поперечная анизотропия спеклов. С увеличением угла рассеяния наблюдаемый рост поперечной анизотропии сопровождается резким убыванием интегральной интенсивности оптической картины в целом. Это во многих случаях усложняет возможность наблюдения поперечной анизотропии лазерных спеклов.

Цель настоящей работы — выявить основные закономерности в структуре оптических картин лазерных спеклов с предельно достижимой в эксперименте величиной поперечной анизотропии.

Естественно предположить, что для возникновения достаточно интенсивных лазерных спеклов с высокой степенью поперечной анизотропии необходимо обеспечить освещение плоского диффузора пучком когерентного излучения, поперечное сечение которого имеет вид очень узкого прямоугольника размерами $a \times b$ [1]. В предельных условиях наибольший размер (a) должен быть макроскопической величиной, а минимальный (b) — микроскопической, меньше длины волны λ падающего излучения. На практике такой пучок невозможно создать (из-за внутренних, дифракционных ограничений в работе любых оптических систем). Поэтому в нашем эксперименте освещался не плоский, а специальный многогранный диффузор стандартным (круглым в сечении) пучком лазерного излучения с макроскопическим диаметром D . В настоящее время одной стороне грани многогранного диффузора технически возможно придать любой требуемый микроскопический размер b . Если ширина грани $b < 1$ мкм, то ее длина должна быть как большей, так и сравнимой с диаметром D освещающего пучка. Как показали наши опыты, в роли общедоступного многогранного диффузора целесообразно использовать плоское лезвие для безопасных бритв. Ниже приводятся результаты для лезвия хорошего качества, толщина которого равна 80 мкм.

Согласно проведенным исследованиям с помощью растрового электронного микроскопа JSM-U3 с разрешающей способностью 20 нм, прямой клиновидный режущий край лезвия в сечении имеет форму не идеального треугольника, а сильно сужающейся равнобедренной трапеции высоты порядка 1 мм. Рабочая, режущая кромка лезвия имеет среднюю ширину $b=300$ нм. Размер b вдоль края лезвия хаотически изменяется в пределах от 100 до 500 нм. Высота режущей кромки также флуктуирует (рис.1).

Вторая особенность нашего эксперимента состоит в том, что для выделения из одновременно возникающих чрезвычайно многообразных форм спеклов только предельно анизотропных используется метод последовательного затенения. С этой целью пучок монохроматического излучения с длиной волны $\lambda=488$ нм, непрерыв-

но генерируемый арговым лазером типа ЛГН-503 в одномодовом режиме (пространственная мода TEM_{00}), направляется перпендикулярно плоскости лезвия. Его эффективный диаметр $D=2,5$ мм проходит вдоль режущего края длины 37 мм, причем электрический вектор волны параллелен краю. В результате одновременно освещаются три грани лезвия — плоскость лезвия, его скошенный краевой участок и сама режущая кромка. Это приводит к возникновению в пространстве слож-

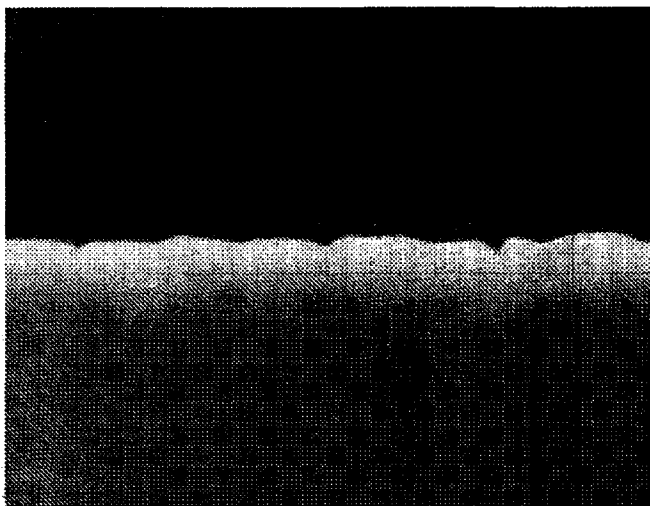


Рис.1. Микрорельеф произвольного участка режущей кромки плоского лезвия длиной 33 мкм при увеличении $\times 3000$

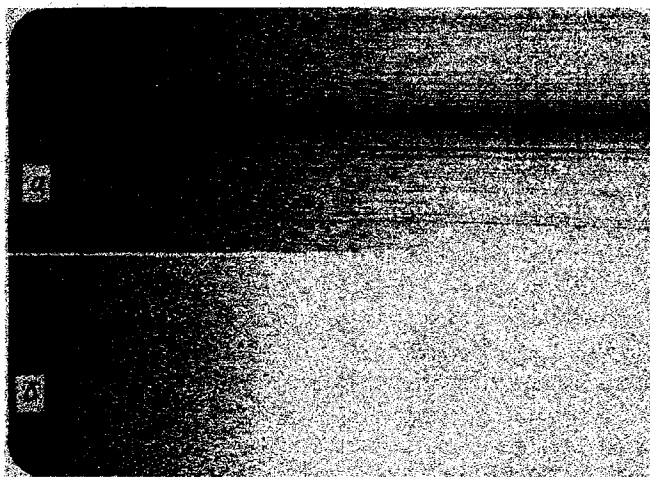


Рис.2. Распределение освещенности на листе фотобумаги (негативное изображение) при различных режимах освещения многогранного диффузора пучком лазерного излучения с длиной волны 488 нм и эффективным диаметром 2,5 мм: *a* — одновременно освещены 3 грани — плоскость лезвия, его скошенный край и режущая кромка ширины 300 нм; *b* — освещена только плоскость лезвия

ной картины лазерных спеклов. В работе она регистрируется только в одной плоскости. Для этого на расстоянии 20 см от края лезвия перпендикулярно его плоскости устанавливается плоский лист фотобумаги в рамке. Плоскость листа параллельна краю, но перпендикуляр-

на плоскости лезвия. Центр кадра совпадает с плоскостью лезвия.

Типичная возникающая картина распределения освещенности на листе фотобумаги показана на рис.2, *a* в негативном изображении. Для иллюстрации метода затенения на рис.2, *b* показана картина спеклов, когда лазерный пучок освещает только одну грань — плоскость лезвия и не освещает при этом ни края лезвия, ни режущей кромки. Сравнение полученных картин убеждает, что в правой части рис.2, *a* наблюдаемое семейство нигде не пересекающихся непрерывных черных линий представляет собой поперечное сечение предельно анизотропных лазерных спеклов.

Качественный анализ структуры картины удобно проводить методом визуального сравнения почернений, принятым в спектроскопии [3]. Для этого на выходе лазера устанавливается оптический затвор, а перед листом фотобумаги — диафрагма с очень длинной щелью ширины 8 мм. Эквидистантное перемещение листа фотобумаги в своей плоскости за неподвижной диафрагмой позволяет получить на нем серию фотоснимков одного участка оптической картины при последовательно убывающих временах экспозиции. Так, на рис.3 длительность каждой последующей экспозиции в два раза меньше предыдущей, что позволяет экспрессным образом получить полное представление о структуре картины лазерных спеклов.

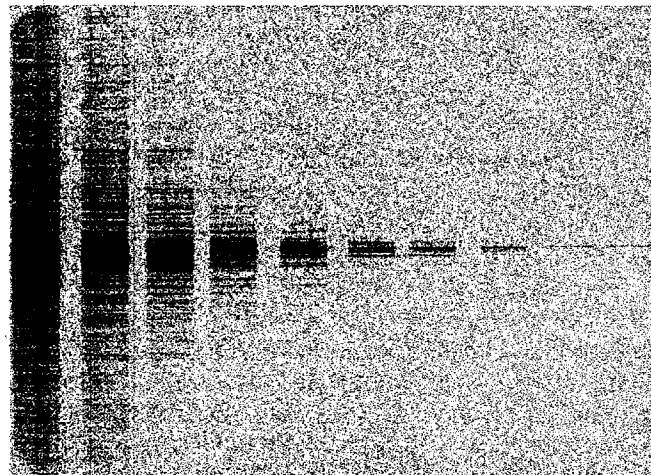


Рис.3. Фрагмент оптической картины на рис.2 (негативное изображение) в случае предельно анизотропных лазерных спеклов при их фотографировании с последовательно сокращающимся в два раза временем экспозиции на соседних участках листа фотобумаги

Качественный анализ в случае лезвия хорошего качества (малы флуктуации высоты режущей кромки, значительна корреляция ее прямых участков) приводит к следующим выводам. Во-первых, в оптической картине доминирует центральный лазерный спекл. Интенсивность его ближайших сателлитов почти на порядок меньше. Во-вторых, нет пространственной симметрии в расположении сателлитов относительно центрально-

го спекла. В-третьих, наиболее интенсивные сателлиты группируются в страты, которые также несимметричны относительно центрального спекла. В-четвертых, при большом времени экспозиции вдали от центрального спекла обнаруживаются лазерные спеклы. Так как спеклы обладают разной интенсивностью, естественно привести интенсивность спеклов к некоторому стандартному уровню. Тогда периферические спеклы, по сути, не отличаются в своих поперечных размерах от центрального (см. рис.3). Последнее позволяет говорить о существовании единого, характерного размера нормализованных спеклов даже в случае предельно анизотропных спеклов. Это убедительно показывает, что физическая природа всех спеклов по своей сути является единой, а именно дифракционной.

Литература

1. Франсон М. Оптика спеклов. М., 1980.
2. Васильев Ю.В., Козарь А.В., Курицына Е.Ф. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1994. №2. С.88 (Moscow University Phys. Bull. 1994. N2. P. 88).
3. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика. М., 1961.

Поступила в редакцию
01.07.96