

Формула (13) сильно упрощается, если $r_0 \approx Z$

$$v = c(3\varepsilon_0^2 t / 4Lmc)^{1/2}. \quad (14)$$

Закон движения перемычки имеет при этом вид

$$X = \frac{Lmc^2}{\varepsilon_0^2} \left(\frac{3}{4} \frac{\varepsilon_0^2 t}{Lmc} \right)^{1/2}. \quad (15)$$

На основании последних двух формул получается следующая зависимость скорости перемычки от длины ускорения:

$$v = c(\varepsilon_0^2 X / Lmc^2)^{1/4}. \quad (16)$$

Из полученных результатов видно, что при переменном-точном питании ускорителя процесс ускорения носит монотонный характер и не сменяется осцилляторным режимом, как это имеет место при питании от конденсаторных батарей [1]. Это обстоятельство внушает некоторую надежду на то, что переменная-точная схема ускорения окажется перспективной для повышения эффективности плазменных ускорителей рельсотронного типа.

Литература

- [1] Арцимович Л. А., Лукьянов С. Ю., Подгорный И. М., Чуватин С. Л. ЖЭТФ, 1957, т. 33, № 1, с. 3—11.
- [2] Плазменные ускорители. М.: Машиностроение, 1973.
- [3] Ионные, плазменные и дуговые ракетные двигатели. М.: Госатомиздат, 1961.
- [4] Физика и применение плазменных ускорителей. Минск: Наука и техника, 1974.
- [5] Гришин С. Д., Лесков Л. В., Козлов Н. П. Плазменные ускорители. М.: Машиностроение, 1983.
- [6] Калмыков А. А., Лесков Л. В., Пергамент М. И. В сб. [2], с. 183—191.
- [7] Калмыков А. А. В сб. [4], с. 48—77.
- [8] Michels C., Heighway J., Johansen S. AIAAA J., 1966, v. 5, N 5, p. 823—839.
- [9] Хижняк Н. А. Автореф. докт. дис. Харьков, 1966.
- [10] Сиднев В. В., Скворцов Ю. В., Соловьева В. Г., Умрихин Н. М. Физика плазмы, 1984, т. 10, № 2, с. 392—399.
- [11] Кварцзава И. Ф., Меладзе Р. Д., Хаутиев Э. Ю. и др. ЖТФ, 1966, т. 36, № 5, с. 759—762.
- [12] Смирнов В. И. Курс высшей математики. М.: ГИФМЛ, 1961, т. 2, § 18.
- [13] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982, § 33.

Поступило в Редакцию
7 апреля 1986 г.
В окончательной редакции
4 октября 1986 г.

СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ПРОДОЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ С ОБЪЕМНОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ СПЕКЛ-СТРУКТУР

И. С. Клименко, Т. В. Кривко, А. Н. Малов, В. П. Рябухо

Одним из приложений спекл-интерферометрии является измерение продольных смещений диффузно рассеивающих объектов [1]. Известно, что вследствие продольного поступательного смещения объекта (и рассеянного им спекл-поля) спекл-структура в плоскости регистрации претерпевает в зависимости от направления смещения поперечное радиальное растяжение или сжатие. Это означает, что при реализации традиционной техники спекл-интерферометрии, основанной на регистрации двух (или нескольких) сечений смещающегося спекл-поля на квазиплоскую регистрирующую среду, спеклограмма регистрирует лишь поперечное смещение сечений идентичных спеклов, величина которого определяется пространственной ориентацией спеклов, представляющих собой объемные образования. Этим обстоятельством определяется относительно низкая чувствительность спекл-интерферометрии к продольному смещению по сравнению с голографической интерферометрией, обеспечивающей регистрацию изменения фазы спекл-поля вследствие такого смещения.

Продольное смещение спекл-поля приводит, как известно, к частичной декорреляции регистрируемых спекл-структур и, как следствие, к снижению контраста спекл-интерферограммы. При этом, если величина взаимного смещения идентичных спеклов превышает их продольный размер, регистрируемые спекл-структуры оказываются полностью декоррелированными и спекл-интерферограмма не наблюдается. Для уменьшения этого нежелательного эффекта на практике прибегают либо к сокращению площади действующей апертуры изображающей системы, используемой при получении спеклограмм, с целью увеличения продольного размера спеклов [1, 2], либо к выбору при определенной геометрии освещения объекта такого положения плоскости регистрации, где продольное смещение спеклов оказывается минимальным [3, 4].

Очевидный прием уменьшения декорреляции за счет увеличения продольных размеров спеклов при удалении плоскости регистрации от плоскости действующей апертуры обладает ограниченными возможностями в силу значительного возрастания энергетических потерь. На практике положение плоскости регистрации выбирается с точки зрения оптимального сочетания ожидаемой степени декорреляции спеклов и плотности световой энергии в плоскости регистрации.

В настоящей работе рассматриваются новые возможности спекл-интерферометрии продольного смещения, связанные с регистрацией объемных спекл-структур, т. е. с использо-

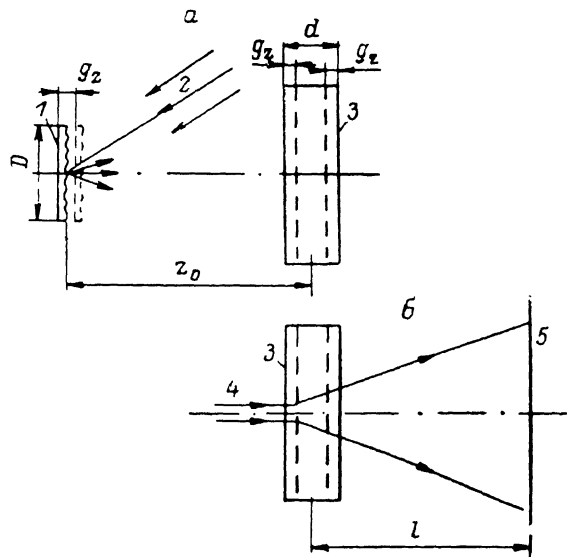


Рис. 1. Схемы регистрации объемной спеклограммы (а) и получения спекл-интерферограммы (б).

1 — объект; 2 — коллимированный пучок, освещающий объект; 3 — объемная спеклограмма; 4 — нерасширенный освещающий пучок; 5 — плоскость наблюдения спекл-интерферограммы.

ванием регистрирующей среды, толщина которой превышает продольные размеры спеклов в области регистрации и величину их продольного смещения. Такой метод получения двухэкспозиционной спеклограммы открывает возможность фиксировать относительное смещение спекл-структур вблизи их продольной оси до того, как поперечная компонента смещения сечений спеклов превысит их поперечные размеры, и тем самым снизить порог чувствительности для соответствующей области квазиплоской спеклограммы. С другой стороны, появляется возможность расширения диапазона измерений благодаря увеличению верхнего предела измеряемых продольных смещений вследствие того, что смещения, превышающие размер спеклов, не будут приводить к декорреляции спекл-структур.

Кроме того, при получении спекл-интерферограмм с помощью объемных спеклограмм проявляется ряд специфических особенностей, на которые ниже обращается внимание.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Диффузно рассеивающий объект с квазиплоской поверхностью освещался коллимированным пучком излучения He-Ne лазера ($\lambda = 0.63$ мкм), а регистрация объемной спеклограммы проводилась на расстоянии $z_0 = 120$ мм от объекта. Размеры спеклов в области регистрации, определявшиеся соотношением между расстоянием z_0 и диаметром освещенной области D на объекте, составляли ≈ 3 мкм в поперечном направлении и ≈ 30 мкм в продольном. В качестве объемной регистрирующей среды использовалась набухшая в воде [5] фотографическая эмульсия пластики ЛОИ-2, толщина которой после набухания составляла $d \approx 85$ мкм. В промежутке времени между двумя экспозициями объект смещался на величину $g_z = 40 \pm 1$ мкм, которая превышала продольный размер спеклов. После фотохимической обработки полученная объемная спеклограмма освещалась пучком излучения того же лазера (рис. 1, б), и спекл-интерферограмма наблюдалась на расстоянии $l = 110$ мм от спеклограммы.

Как показали результаты эксперимента с объемными спеклограммами, в условиях наблюдения спекл-интерферограмм имеется ряд существенных отличий от традиционного случая использования квазиплоской спеклограммы. При освещении объемной спеклограммы нерасширенным лазерным пучком, падающим нормально к ее поверхности, в диффузном гало

наблюдается спекл-интерферограмма, имеющая вид системы концентрических колец. С удалением оси освещающего пучка от оси продольного смещения спекл-структуры наблюдается незначительное смещение центра системы колец относительно центра диффузного гало (рис. 2, а, б). Это смещение обусловлено изменяющейся ориентацией регистрируемых в объеме спеклов — возрастанием угла их наклона к продольной оси с удалением их от этой оси. В самом деле, рассеяние освещающего пучка на развернутых идентичных спеклах сопровождается определенным разворотом интерферирующих спекл-полей, что эквивалентно

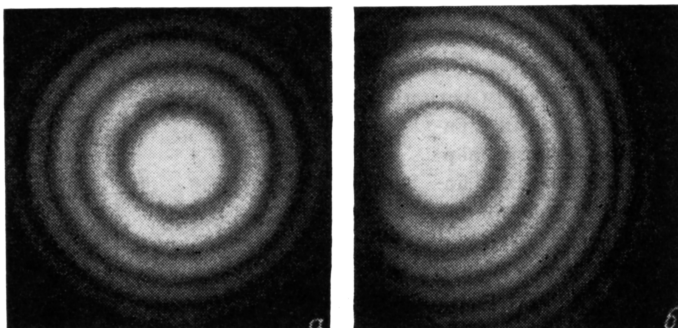


Рис. 2. Снимки спекл-интерферограмм продольного смещения, полученные при освещении объемной спекл-интерферограммы в ее центре (а) и на расстоянии 25 мм от центра (б).

появлению поперечной составляющей смещения на направления их распространения. Однако при этом взаимное пространственное положение колец (расстояние между кольцами с одинаковыми порядковыми номерами) практически не зависит от выбора положения освещаемой области на спеклограмме, что свидетельствует о постоянстве продольной составляющей смещения для всех пар идентичных спеклов.

В отличие от рассматриваемого случая при аналогичном освещении (сканировании) квазиплоской спеклограммы, как известно [1], наблюдается спекл-интерферограмма в виде

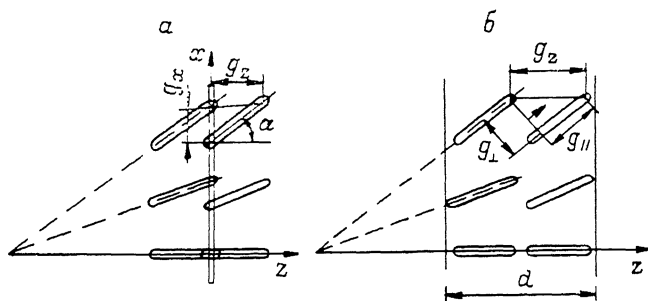


Рис. 3. Схематическое изображение регистрации продольно сдвинутых идентичных спеклов в квазиплоской (а) и объемной (б) регистрирующих средах.

системы параллельных эквидистантных полос, период и ориентация которых зависят от координат центра освещаемой области спеклограммы.¹ Природу этого различия нетрудно объяснить, приняв во внимание особенности регистрации продольно смещаемых идентичных спекл-полей в квазиплоской и объемной регистрирующих средах (рис. 3). В квазиплоской среде регистрируются различные (несоответственные) поперечные сечения каждой пары коррелированных идентичных спеклов, причем их корреляция возможна только в случае, если величина продольного смещения спекл-поля не превышает величины проекции продольного размера спеклов в области регистрации на ось. Поскольку локальный угол α наклона спеклов к оси спекл-поля возрастает с удалением от нее, то соответственно возрастает и величина взаимного поперечного смещения сечений идентичных спеклов плоскостью регистрации. В то же время возрастание угла α при сохранении величины относительно продольного смещения спеклов ведет к сокращению области корреляции спеклов в плоскости регистрации,

¹ При использовании коллимированного освещающего пучка спекл-интерферограммы в обоих случаях имеют вид концентрических колец.

которое частично компенсируется за счет увеличения их продольных размеров вследствие сокращения угловой апертуры (увеличения расстояния до точки регистрации).

При регистрации в объемной среде корреляция спеклов сохраняется и в случае, когда величина продольного смещения спекл-поля превышает как величину проекции продольного размера спеклов на ось z , так и их продольный размер, но не превышает толщину среды. В этом случае соответственные точки каждой пары идентичных спеклов независимо от выбора области спеклограммы, определяющего ориентацию спеклов, претерпевают практически одинаковое смещение вдоль оси z , чем и объясняется независимость взаимного положения колец спекл-интерферограммы от положения освещаемой области на спеклограмме. Что же касается смещения центра картины колец, обусловленного разворотом, то, как видно из рис. 2, оно достаточно невелико — при смещении центра освещающего пучка с оси на ~ 25 мм (т. е. на край спеклограммы) центральное кольцо спекл-интерферограммы сместилось на половину периода.

По-иному выглядит спекл-интерферограмма в случае освещения объемной спеклограммы под углом к ее поверхности — вдоль направления локальной ориентации спеклов. Такое освещение приводит к появлению поперечной проекции смещения на направление освещения (считывания), равной $g_1 = g_z \sin \alpha$, и сокращению продольной составляющей смещения до величины $g_1 = g_z \cos \alpha$. В результате происходит существенное изменение (смещение) картины, наблюдаемой в диффузном гало: в него попадают отрезки колец с большими порядковыми номерами и соответственно с большими радиусами кривизны, т. е. спекл-интерферограмма, наблюдаемая при освещении периферии спеклограммы, имеет вид системы слабо изогнутых полос с высокой пространственной частотой.

На практике при измерении величины продольного смещения по параметрам спекл-интерферограммы предпочтительным является нормальное освещение, обеспечивающее постоянство локального периода интерференционной картины.

Рассмотрим факторы, обуславливающие видность (контраст) получаемых спекл-интерферограмм. Очевидно, что при регистрации двухэкспозиционной объемной спеклограммы вследствие продольного смещения спекл-структуры часть спеклов — слой толщиной g_z — выходит за пределы регистрирующей среды и такой же слой «новых» спеклов входит в нее. В результате спеклограмма будет содержать в своем объеме систему пар идентичных спеклов и две системы неидентичных спеклов. Когерентное излучение, рассеянное на первой системе спеклов, будет формировать интерференционную картину с единичным контрастом, а на двух следующих создавать однородную фоновую засветку.

Интенсивность поля в плоскости наблюдения спекл-интерферограммы на расстоянии l от спеклограммы можно записать в виде

$$I_c(x, y) = |F(x, y) \otimes F^*(x, y)|^2 \cos^2 \left[\frac{\pi g_z}{2\lambda l^2} (x^2 + y^2) \right] + I_\phi(x, y), \quad (1)$$

где x, y — координаты в плоскости наблюдения; $F(x, y)$ — фурье-образ объектного поля; $I_\phi(x, y)$ — интенсивность фоновой засветки; \otimes — знак операции свертки.

Радиусы интерференционных колец при этом определяются выражением

$$r_n = (2n\lambda l^2 / g_z)^{1/2}, \quad (2)$$

где n — порядок интерференции.

Видность интерференционных колец определяется соотношением между интенсивностью полезной и фоновой составляющих в выражении (1). Очевидно, что при толщине регистрирующей среды d и величине продольного смещения g_z интенсивность в центре светлой полосы спекл-интерферограммы (без учета фоновой засветки) пропорциональна величине $4(d - g_z)$. В то же время рассеяние света на двух системах неидентичных спеклов вносит фоновую засветку, интенсивность которой I_ϕ пропорциональна величине $2g_z$. Следовательно, видность наблюдаемой спекл-интерферограммы определяется выражением

$$V \left(\frac{g_z}{d} \right) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = 1 - \frac{g_z}{d}, \quad (3)$$

из которого следует, что видность равна нулю при $d_g = d$ и стремится к единице при $d \rightarrow \infty$.

На рис. 4 приведены распределение нормированной интенсивности (точки), измеренное

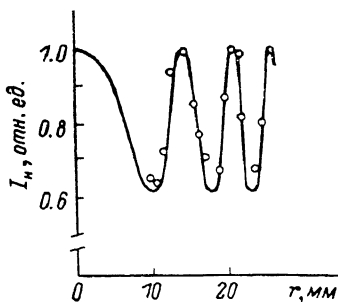


Рис. 4. Распределение нормированной интенсивности $I_n = I_c / |F \otimes F^*|^2 + I_\phi$ в плоскости спекл-интерферограммы.

в плоскости наблюдения интерферограммы (рис. 2, а), и соответствующий теоретический график (сплошная линия), полученный с помощью выражения (1). Очевидно хорошее согласие экспериментальных результатов и теоретической оценки для видности интерференционных полос. Оценка значения видности с помощью выражения (3) дает для данных условий эксперимента величину того же порядка.

Сопоставление рассмотренного метода с обычной спекл-интерферометрией и голографической интерферометрией показало, что при регистрации объемных спеклограмм обеспечивается чувствительность измерения продольного смещения, большая, чем в спекл-интерферометрии с традиционной регистрацией, но несколько меньшая, чем в голографической интерферометрии.

Использование в качестве регистрирующей среды фоторефрактивных кристаллов, толщина которых может значительно превышать толщину размоченной эмульсии, позволит более полно реализовать практические достоинства метода спекл-интерферометрии с объемной регистрацией спекл-структур, состоящие в расширении диапазона измеряемых продольных смещений и повышении чувствительности их измерения.

Литература

- [1] Archbold E., Ennos A. E. Opt. Acta, 1972, v. 19, N 4, p. 253—271.
- [2] Клименко И. С., Рябухо В. П. ЖТФ, 1982, т. 52, № 5, с. 896—900.
- [3] Dzialowski Y., May M. Opt. Comm., 1976, v. 16, N 3, p. 334—339.
- [4] Клименко И. С., Кузнецова Т. В., Малов А. Н. ЖТФ, 1986, т. 56, № 9, с. 1744—1748.
- [5] Смолович А. М. Тр. НИКФИ, 1976, в. 84, с. 21—24.]

Московский
физико-технический институт
Долгопрудный Московской обл.

Поступило в Редакцию
24 апреля 1986 г.
В окончательной редакции
29 декабря 1986 г.

УДК 535.241.13

Журнал технической физики, т. 58, в. 1, 1988

ОКОНТУРИВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОДУЛЯТОРАМИ СВЕТА ТИПА ФОТОПРОВОДНИК—ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ С ОРИЕНТАЦИОННО-ТЕКСТУРНЫМ И ХОЛЕСТЕРИКО-НЕМАТИЧЕСКИМ ПЕРЕХОДАМИ

М. А. Грознов, В. С. Мыльников, С. Ю. Орлов, В. П. Покровский,
А. Г. Сивикас, Л. Н. Сомс

Повышение эффективности оптической обработки информации в ряде случаев требует выделения областей с нестационарной во времени и изменяющейся в пространстве освещенностью [1, 2]. Для светоправляемых жидкокристаллических пространственно-временных модуляторов света (ПВМС) сообщалось о выделении границ объектов (их оконтуривание) с помощью структуры типа металл—диэлектрик—полупроводник—жидкий кристалл, созданной на основе кристалла сликата висмута и слоя нематического жидкого кристалла (ЖК) с положительной диэлектрической анизотропией, имеющего исходную гомеотропную ориентацию молекул [3].

В данной работе реализовано оконтуривание изображения с помощью ПВМС на основе структуры калькогенидный стеклообразный полупроводник (толщиной 2 мкм)—жидкий кристалл (толщиной ~5 мкм) с ориентационно-текстурным и холестерико-нематическим переходами (ОТП и ХНП) типа рассмотренного в [4] и проанализированы причины, вызывающие возникновение контура изображения в этом случае. Модулятор был изготовлен без ориентирующих слоев и работал на постоянном напряжении питания.

Запись изображения круглой диафрагмы осуществлялась непрерывным излучением He—Cd лазера на длине волны $\lambda=0.44$ мкм, а считывание в режиме «на просвет» — He—Ne лазером на $\lambda=0.63$ мкм. Интенсивности записывающего I_1 и считывающего I_2 света можно было изменять с помощью калиброванных светофильтров в пределах от 10^{-6} до 10^{-3} Вт/см². Считываемое с ПВМС изображение экспонировалось на фотопленку, а затем фотометрировалось либо непосредственно проектировалось на вход фоточувствительного приемника. Раз-