

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 светуправляемых 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/см<sup>2</sup>. Считываемое с ПВМС изображение экспонировалось на фотопленку, а затем фотометрировалось либо непосредственно проектировалось на вход фоточувствительного приемника. Раз-

мытость границ изображений в плоскости фоточувствительного слоя модулятора, согласно измерениям, не превышала  $\sim 10$  мкм.

Различные варианты преобразованного изображения, которые реализуются на исследуемом ПВМС, приведены на рис. 1. Представленные фотографии соответствуют диаметру записываемой диафрагмы  $D=3$  мм и толщине контура изображения  $\Delta D \approx 30 \div 50$  мкм. Экспериментально измерялся контраст изображения

$$K_1 = \frac{T_{\kappa} - T_{\phi}}{T_{\kappa} + T_{\phi}} \cdot 100\%$$

( $T_{\phi}$ ,  $T_{\kappa}$  — пропускание неэкспонированной области ПВМС (фон) и освещенного участка (изображение)) и контраст его контура  $K_2$ . Ввиду того что при разных напряжениях питания

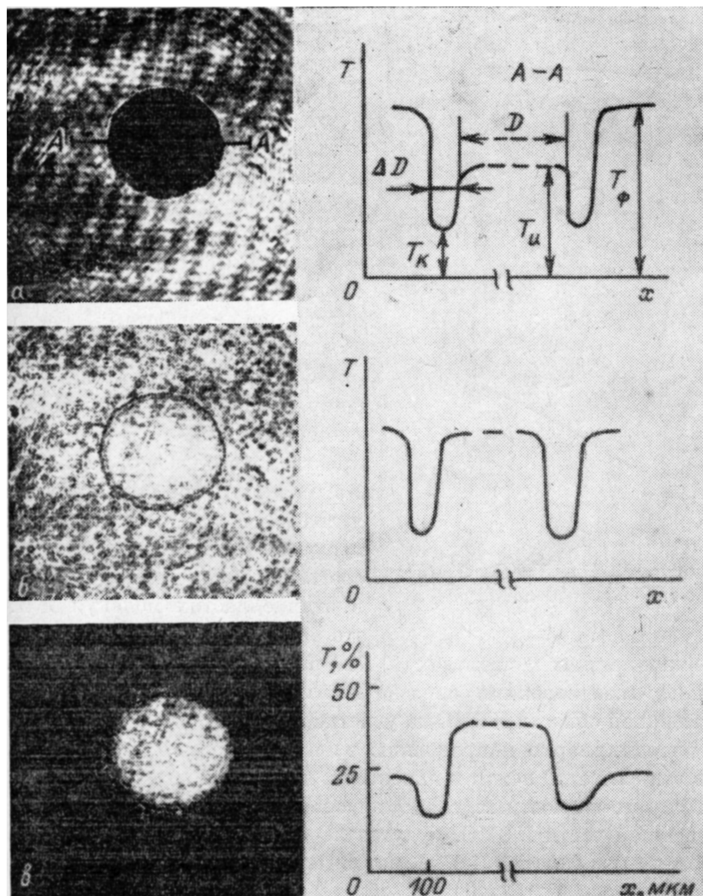


Рис. 1. Изображение диафрагмы, считанное с ПВМС (*a* — негативное, *б* — оконтуренное, *в* — позитивное), и пропускание модулятора по сечению *A—A* для этих изображений соответственно при  $U=30, 40, 60$  В,  $I_1=10^{-5}$  Вт/см<sup>2</sup>.

модулятора происходит инвертирование изображения (рис. 1, *a, в*), контраст контура изображения вычислялся по отношению к области с наименьшим пропусканием соответственно по формулам

$$K_2 = \frac{T_{\kappa} - T_{\phi}}{T_{\kappa} + T_{\phi}} \cdot 100\%, \quad U \leq U_{\text{ор}}; \quad K_2 = \frac{T_{\kappa} - T_{\phi}}{T_{\kappa} + T_{\phi}} \cdot 100\%, \quad U > U_{\text{ор}},$$

где  $T_{\kappa}$  — пропускание контура изображения;  $U_{\text{ор}}$  — напряжение питания, при котором пропускания областей фона и изображения сравниваются (нулевой контраст).

На рис. 2 приведены зависимости  $K_1$  и  $K_2$  от  $U$  при  $I_1=10^{-5}$ ,  $I_2=10^{-6}$  Вт/см<sup>2</sup>. Пороговое значение напряжения срабатывания при этих значениях освещенности составляет  $U_{\text{ор}} \approx 6$  В.

Интервал напряжений питания ПВМС можно разделить на два участка:  $U_{пор} \leq U \leq U_c^*$  и  $U > U_{cp}$ , что соответствует для указанных значений  $I_1$  и  $I_2$  интервалам 6–40 (I) и 40–100 В (II). Первый участок соответствует негативному (рис. 1, а) изображению  $T_x < T_n < T_\phi$ , второй — позитивному (рис. 1, в) изображению  $T_x < T_\phi < T_n$ . Нулевой контраст, согласно [4], определяется конкуренцией двух факторов: увеличением пропускания ПВМС в местах экранирования за счет ХНП и уменьшением пропускания фона за счет ОТП (рис. 2, кривые 3, 4). При изменении контраста усреднение интенсивности света велось по всей площади изображения  $S = 7 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup>. Толщина контура изображения  $\Delta D$  оценивалась по критерию 0.1–1 от  $K_2$ . Времена включения по критерию 0.9 от  $K_1$  и по критерию 1–0.1 от  $K_2$  ПВМС составляли соответственно 400 и 400 мс для  $U = 20$  В, 40 и 600 мс для  $U = 80$  В.

Перейдем к анализу экспериментальных результатов по оконтуриванию изображения. В [3] выделение контуров изображений с помощью светоправляемых жидкокристаллических ПВМС объяснялось наличием тангенциальных составляющих электрического поля.

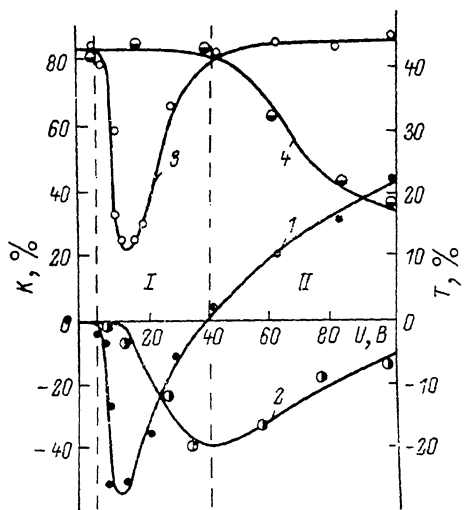


Рис. 2. Зависимость  $K_1$  (1),  $K_2$  (2),  $T_x$  (3),  $T_\phi$  (4) от  $U \cdot U_{cp} = 40$  В.

В нашем случае толщина контура  $\Delta D$  была почти в 10 раз больше толщины  $d$  жидкокристаллического слоя. Это означает, что напряженность электрического поля, соответствующая контуру изображения  $\sim U/\Delta D$ , будет значительно меньше, чем необходимо для появления ОТП и ХНП ( $\sim U/d$ ). Поэтому, опираясь только на модель оконтуривания, описанную в работе [3], нельзя полностью объяснить результаты исследований.

Основной вклад в оконтуривание, по нашему мнению, дает влияние дальнего ориентационного порядка между молекулами жидкого кристалла в областях фона и изображения. Из рис. 1 видно, что различным областям модулятора света — фону, изображению и контуру — отвечает различное пропускание (и соответственно конфигурация) находящихся в этих областях молекул ЖК. Известно [6], что влияние дальнего ориентационного порядка

в холестерических жидких кристаллах (ХЖК) распространяется до 80 мкм. Это влияние обусловлено ван-дер-ваальсовскими силами взаимодействия между молекулами ЖК [6]. Поскольку в освещенной области ПВМС на участке I (у нас  $U = 15 \div 40$  В) оси спиралей ХЖК расположены перпендикулярно направлению электрического поля, то директоры молекул ЖК (входящих в эти спирали) лежат в плоскости, нормаль к которой параллельна осям спиралей. За счет упруго-вязкостных свойств молекулы жидкого кристалла, находящиеся на границе освещенной части ПВМС, будут задавать ориентацию директорам тех молекул ЖК неэкспонированных областей ПВМС, которые располагаются у границы раздела фон—изображение. Поэтому оси спиралей этих областей будут выстраиваться преимущественно параллельно подложкам ЖК (перпендикулярно направлению распространения считываемого света), что приводит к уменьшению пропускания ПВМС в пограничной области, т. е. к появлению контура изображения. С ростом  $U$  (у нас от 15 до 40 В) растет степень упорядочивания ориентации директоров молекул ЖК в освещенной области по направлению силовых линий электрического поля и, как следствие, увеличивается контраст контура изображения (рис. 1, а, в). Участок II характеризуется завершением создания гомеотропной ориентации молекул ЖК в области проектируемого изображения. В неосвещенной же области по мере роста напряжения происходит разворот осей спиралей ХЖК перпендикулярно направлению силовых линий электрического поля (ОТП). При этом на границе раздела директоры молекул ЖК за счет дальнего ориентационного порядка, задаваемого молекулами из освещенной области, будут разворачиваться по направлению силовых линий электрического поля, что приведет к увеличению пропускания и соответственно к уменьшению контраста контура (рис. 1, в). Поскольку у используемого в работе модулятора отсутствуют ориентирующие слои, толщина контура  $\sim 50$  мкм, обусловленная рассмотренным выше механизмом, будет близкой к радиусу ван-дер-ваальсовских сил.

Отметим, что существует режим эксплуатации ПВМС — работа при высоких значениях

$U$  (80—100 В) и  $I_1$  ( $10^{-3}$ — $10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>), — при котором отсутствует оконтуривание изображения и повышается разрешающая способность модулятора (предельная составляет 65 лин./мм [3]).

В результате исследований установлено, что ПВМС с ОТП и ХНП можно применять для осуществления в масштабе времени 40—400 мс операции оконтуривания изображения, причем делать это проще, чем при использовании ПРИЗа или модулятора на нематическом ЖК, поскольку данная операция реализуется без поляризационной оптики и независимо от ориентации ПВМС относительно записывающего и считывающего света.

### Литература

- [1] Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 268 с.
- [2] Владимиров Ф. Л. и др. Квант. электр., 1985, т. 12, № 10, с. 2061—2976.
- [3] Васильев А. А., Колпаниц И. Н., Парфенов А. В. Квант. электр., 1983, т. 10, № 6, с. 1079—1088.
- [4] Басяева Л. И., Владимиров Ф. Л., Моричев П. Е. и др. Квант. электр., 1983, т. 10, № 8, с. 1542—1546.
- [5] Мильников В. С., Морозова Е. А. ЖТФ, 1984, т. 54, № 10, с. 1980—1985.
- [6] Блинов Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978, с. 384.

Поступило в Редакцию  
26 июня 1986 г.  
В окончательной редакции  
28 января 1986 г.

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

## ОСОБЕННОСТИ КОЛЛИНЕАРНОГО АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОЛИБДАТЕ КАЛЬЦИЯ

А. А. Блистанов, Т. Г. Вискуп, М. М. Мазур, Л. Л. Пальцев, В. И. Пустовойт,  
С. И. Чижиков, В. В. Шильдин, В. Н. Шорин

Коллинеарные акустооптические перестраиваемые фильтры (АОФ) используются в настоящее время в быстродействующих спектральных приборах различного назначения [1, 2]. Монокристаллы, используемые в АОФ, должны обладать таким сочетанием оптических, акустических, фотоупругих свойств, которое при оптимальном выборе геометрии взаимодействия позволяет реализовать фильтр с заданными выходными параметрами (эффективность, диапазон перестройки, разрешающая способность, контраст и т. д.).

Среди кристаллов, применяемых в коллинеарных АОФ, наиболее перспективным для видимого и ближнего ИК диапазонов является молибдат кальция  $\text{CaMoO}_4$ . Однако физические свойства  $\text{CaMoO}_4$  и особенности его применения в качестве среды для АОФ не достаточно полно изучены [3]. В настоящей работе рассмотрены возможности применения  $\text{CaMoO}_4$  для коллинеарных АОФ видимого и ближнего ИК диапазонов излучения.

$\text{CaMoO}_4$  принадлежит к группе шеелита с точечной группой симметрии  $4/m$  и является одноосным оптически отрицательным кристаллом. Монокристаллы  $\text{CaMoO}_4$  диаметром 30 и длиной 100 мм выращиваются методом Чохральского из расплава на ориентированную заправку. Наибольшим оптическим качеством обладают кристаллы, полученные из шихты стехиометрического состава, синтезированной из соединений  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MoO}_3$  марки ОСЧ, прошедшие высокотемпературный послеростовой отжиг при температуре 1350 °С в атмосфере кислорода. Полученные таким способом кристаллы прозрачны в диапазоне длин волн 0.35—4.5 мкм, коэффициент поглощения в видимой части спектра не превышает  $3 \cdot 10^{-3}$  см<sup>-1</sup>. Контраст в скрещенных поляризаторах не хуже  $(3 \div 5) \cdot 10^3$  при длине кристалла 70 мм. Одной из важных оптических характеристик, которая определяет частоту коллинеарной анизотропной дифракции, является разность показателей преломления обыкновенной и необыкновенной волн и дисперсия этой величины. Измерения зависимости величины  $n_o - n_e$  от частоты оптического излучения проводились интерференционным методом. Плоскопараллельный образец помещался между двумя скрещенными поляризаторами таким образом, что его опти-