

Физический институт  
им. П.Н. Лебедева  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
27 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

07; 12

© 1990

## СВЕТОРАССЕЯНИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СЛОЯ ПВМС НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ МДП-ЖК

В.В. Б е л я е в, С.П. Б е р е с т н е в,  
С.А. И в а н о в, А.Б. К у з н е ц о в,  
З.А. К о с т о ч к и н а, Г.К. М и х а й л о в а

В настоящее время в когерентно-оптических системах пространственно-спектрального анализа изображений нашли применение пространственно-временные модуляторы света (ПВМС) на основе структур „металл-диэлектрик - полупроводник - жидкий кристалл“ (МДП-ЖК) [1-3]. Такие структуры по сравнению с модуляторами света на основе высокоомных полупроводников [4, 5] обладают более высоким быстродействием, поэтому их применяют в системах с импульсной входной засветкой. На качество считываемых изображений и их пространственных спектров оказывают влияние шумы светорассеяния, которые можно определить как интенсивность световой волны, дифрагированной на флуктуационных и статических неоднородностях слоя жидкого кристалла. Так же, как и в голографии [6], шумы приводят к увеличению фоновой интенсивности в восстановленном изображении и в его пространственном спектре. Согласно [7], шумовые характеристики различных ПВМС определяются структурой слоев модулятора, их фазовыми неоднородностями, величиной светорассеяния, амплитудой и пространственным спектром сигнала. Если отвлечься от искажений, связанных с сигналом, основной вклад в шумовые характеристики жидкокристаллических ПВМС могут вносить рассеяние света на термических флуктуациях директора, статическое рассеяние на неоднородностях ориентации ЖК и рассеяние света, связанное со структурными неоднородностями полупроводника и диэлектрического зеркала.

Целью работы являлось исследование физических условий, при которых проявляется тот или иной источник шума, и измерение вклада в интенсивность светорассеяния, обусловленного этими различными источниками.

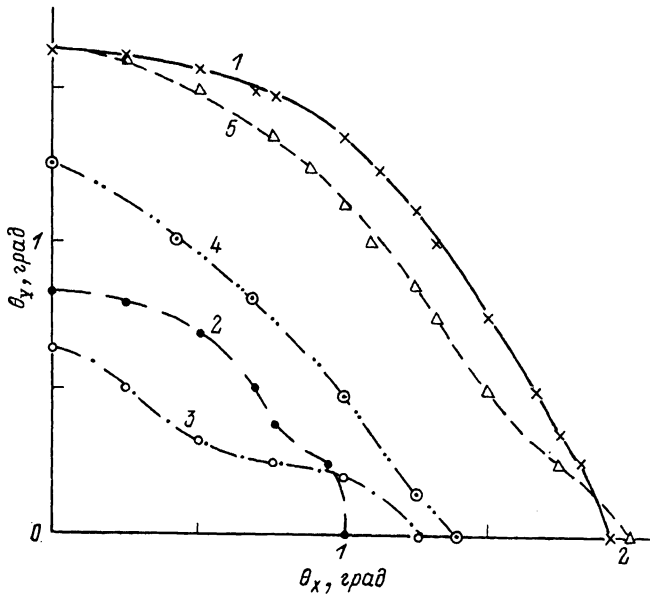


Рис. 1. Типичный вид изофоты рассеяния ЖК-ячеек с разной обработкой поверхности подложек. 1 - пленка ПВС без механической обработки, 2 - пленка ПВС, натертая один раз, 3 - пленка ПВС, натертая два раза, 4 - лентгмюровская пленка ПВС без механической обработки, 5 - полиимидная пленка, натертая один раз.  $i \parallel \vec{n}$

Для решения поставленной задачи были исследованы пространственные спектры света, рассеянного ЖК-ячейками с зеркалом и без зеркала и жидкокристаллическим слоем ПВМС. Измерение светорассеяния ЖК-ячеек без зеркала позволило исключить шумовую составляющую, вносимую фотопроводником и диэлектрическим зеркалом. Поверхности подложек ЖК-ячеек обрабатывались следующим образом: на подложки из плавленого кварца методом центрифугирования наносилась пленка поливинилового спирта (ПВС), которая после сушки натиралась капроновой щеткой один или два раза (второй раз в противоположном направлении) для получения планарной ориентации жидкокристаллического слоя. Были использованы также подложки с нанесенными на них лентгмюровскими пленками, имеющими существенно меньшую толщину и не подвергавшимися механической обработке, а также подложки с полиимидными пленками. Выбор покрытий на основе лентгмюровских и полиимидных пленок был обусловлен малыми значениями угла подвеса молекул ЖК на подложках, что должно было свидетельствовать о хороших электрооптических характеристиках слоя ЖК [8].

На рис. 1 приведены изофоты рассеяния для ячеек с различными видами обработки подложек. Слой ЖК, находящийся между подложками, не подвергавшимся механической обработке, рассеивает свет практически изотропно (кривые 1, 4). Натирание поверхности подложек приводит к значительному уменьшению интеграль-

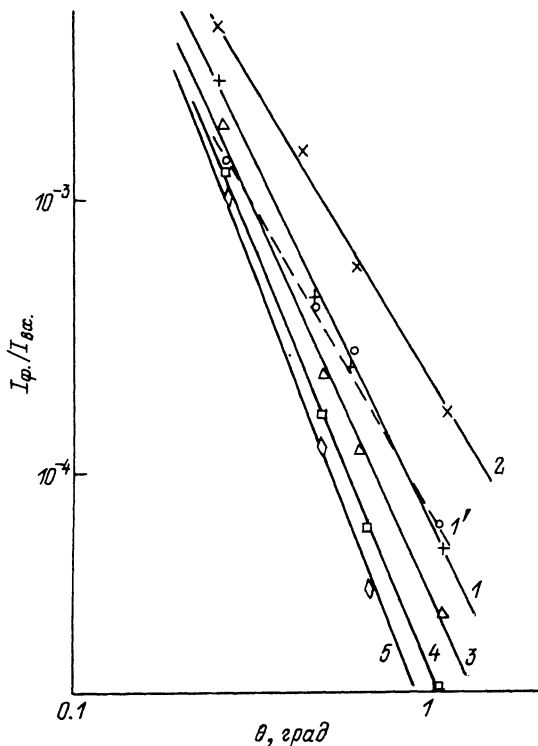


Рис. 2. Угловая зависимость интенсивности рассеянного света  $I_{\phi}(\theta_x)$  ячеек с ЖК-1282 (1-4) и с ЖК-1391 (1') без зеркала и ячеек с ЖК-1282 с зеркалом (5). 1, 1' -  $U = 0$ ; 2 -  $U = 1.5$  В; 3 -  $U = 3$  В; 4 -  $U = 10$  В; 5 -  $U = V$ .

ной интенсивности светорассеяния, что свидетельствует об упорядоченности структуры жидкого кристалла, а также к анизотропии рассеяния - вытянутости изофот в направлении, перпендикулярном направлению директора. В случае двукратного натирания анизотропия проявляется сильнее (кривые 2, 3), что связано с уменьшением периода бороздок, образующихся при механической обработке пленки ПВС. Отношение интенсивности света, рассеянного в  $X$  и  $Y$  направлениях, равно 2, 3.

На рис. 2 приведены угловые зависимости светорассеяния для ЖК-1282, снятые при разных напряжениях. При напряжениях, близких к пороговому для  $S$ -эффекта, интенсивность рассеяния возрастает приблизительно в 1.5 раза, что связано, по-видимому, с неоднородностью распределения угла наклона молекул ЖК на поверхности подложки. Известно, что пороговое напряжение ориентационного эффекта в НЖК уменьшается на 10% при увеличении угла наклона с  $0^\circ$  до  $3-5^\circ$  [9]. С увеличением напряжения интенсивность рассеяния уменьшается и при достаточно больших напряжениях, ког-

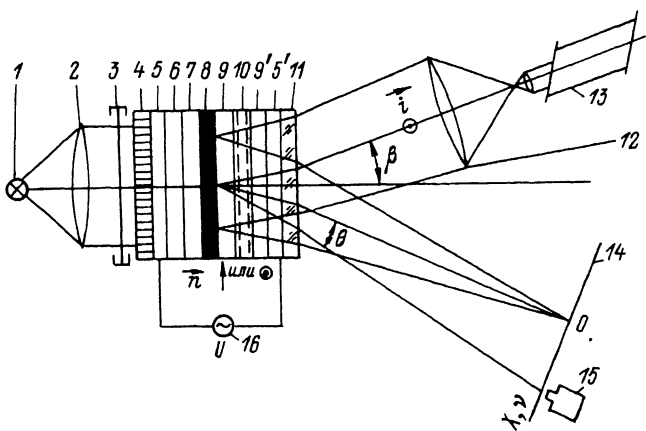


Рис. 3. Схема измерения интенсивности светорассеяния ЖК слоем ПВМС. 1 - источник записывающего света, 2 - объектив, 3 - м-ра с тестовой решеткой, 4 - волоконно-оптическая пластина, 5 - прозрачные электроды, 6 - диэлектрический оптический клей, 7 - фотопроводник (арсенид галлия), 8 - диэлектрическое зеркало, 9 - ориентирующие покрытия, 10 - слой ЖК, 11 - прозрачная пластина, 12 - коллиматор, 13 - лазер, 14 - плоскость наблюдения, 15 - фотоприемник, 16 - источник питания.

да ориентация ЖК становится близкой к гомеотропной, слой ЖК рассеивает свет меньше, чем в отсутствие напряжения. Этот эффект практически не зависит от частоты напряжения, приложенного к ячейке. Приведенные на рис. 2 результаты для ЖК-1391, имеющего в 1.5 раза меньшую величину двупреломления, чем ЖК-1282, показывают, что интенсивность светорассеяния практически не зависит от типа ЖК. Этим подтверждается вывод о том, что при малых углах рассеяния ( $\theta < 3^\circ$ ) наблюдается преимущественно статическое рассеяние на неоднородностях ориентации, а вклад рассеяния на термических флуктуациях директора пренебрежимо мал. Интенсивность светорассеяния обратно пропорциональна квадрату угла рассеяния, что согласуется с угловой зависимостью огибающей светорассеяния, вычисленной с учетом размера рассеивающих частиц [10].

В ячейках с диэлектрическим зеркалом при включении напряжения выше порогового интенсивность светорассеяния возрастает в 3-5 раз и держится на таком высоком уровне в широком диапазоне напряжений. Измеренные на разных углах зависимости светорассеяния от напряжения имеют пороговый характер.

Отличие от предыдущего случая ЖК-ячеек без зеркала в том, что величина порогового напряжения зависит от угла рассеяния.

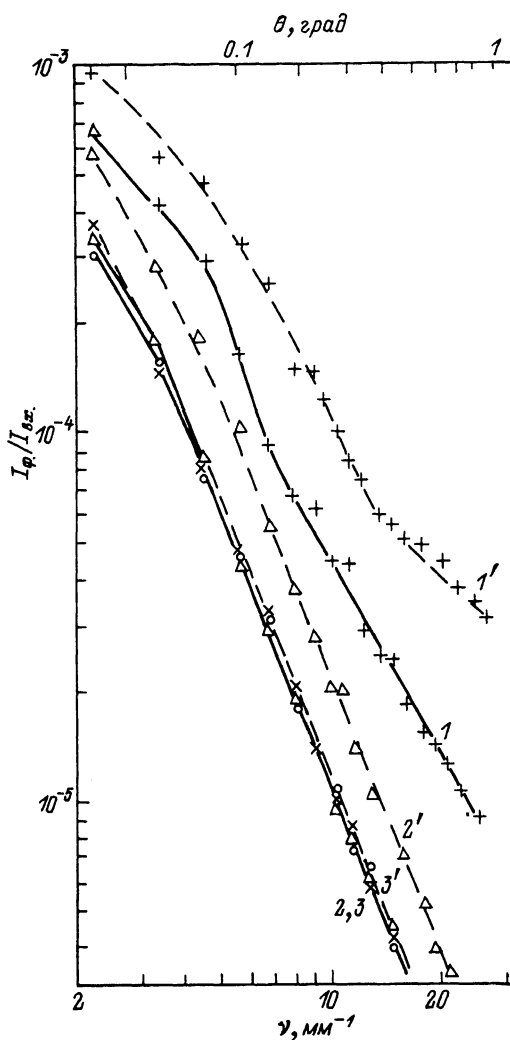


Рис. 4. Зависимость интенсивности света, рассеянного жидкокристаллическим слоем ПВМС,  $J_{\phi}$ , нормированной на интенсивность считывающего света  $J_{0x}$ , от угла рассеяния  $\theta$  и пространственной частоты  $\nu$  при различных углах поляризации  $\alpha$  и режимах питания. 1, 1' -  $\alpha = 0$ ; 2, 2' -  $\alpha = 45^{\circ}$ ; 3, 3' -  $\alpha = 90^{\circ}$ ; 1, 2, 3 -  $U = 0$ ; 1', 2', 3' -  $U = 3-3.5 \text{ В}$ .

Она минимальна при углах, соответствующих пространственной частоте  $20 \text{ мм}^{-1}$ . Сам факт уменьшения порогового напряжения говорит о наличии тангенциальной составляющей электрического поля вследствие неоднородного распределения объемного заряда в диэлектрическом зеркале, состоящем из 14 чередующихся напыленных слоев окиси кремния и окиси титана, а величина пространственной

частоты, при которой это напряжение минимально, — о характерных размерах неоднородности этого заряда.

Угловые характеристики светорассеяния жидкокристаллического слоя ПВМС были измерены по схеме, приведенной на рис. 3. Угол  $\alpha$  между направлениями поляризации считывающего света  $\vec{i}$  и директoра  $\vec{n}$  составлял  $0.45$  и  $90^\circ$ . Угол  $\beta$  между нормалью к слою ЖК и направлением распространения считывающего пучка менялся в диапазоне  $4-11^\circ$ . Светорассеяние было измерено в отсутствие внешней засветки и напряжения, а также при напряжении питания  $U = 3-3.5$  В, при котором наблюдается максимум дифракционной эффективности ( $f = 5$  Гц). Ориентирующим покрытием для слоя ЖК являлась двукратно натертая пленка поливинилового спирта, что позволяло получить меньшую величину светорассеяния на высоких пространственных частотах (рис. 1). Типичные зависимости светорассеяния  $J_\varphi$  от угла рассеяния  $\theta$  и пространственной частоты  $\nu$  для одного из углов считывания  $\beta = 11^\circ$  приведены на рис. 4. Аналогичные зависимости интенсивности шума от пространственной частоты получены для других жидкокристаллических ПВМС в [11-13].

В отсутствие напряжения при  $\theta > 0.25$  град, что соответствует пространственным частотам  $\nu > 7$  мм, в ЖК слое ПВМС так же, как и в ячейках,  $J_\varphi \sim \theta^{-2}$ . Величина  $J_\varphi$ , измеренная при  $\alpha = 45, 90^\circ$ , в 2.4 раза меньше величины  $J_\varphi$  при  $\alpha = 0$ , что отражает анизотропию формы пространственного спектра светорассеяния, вызванную натиранием поверхности подложек (рис. 1). При включении напряжения питания ПВМС наблюдается увеличение  $J_\varphi$  при  $\alpha = 0, 45^\circ$ . Учитывая, что этой величине  $\nu$  соответствует напряжение смещения на слое ЖК  $U_{см} = 1.2-2 U_n$ , где  $U_n$  — пороговое напряжение  $S$ -эффекта [9], из данных по измерениям светорассеяния ЖК слоя в ячейках и в ПВМС (рис. 2, 4) следует, что основной вклад в величину  $J_\varphi$  дает статическое рассеяние на неоднородностях деформации жидкокристаллического слоя, т.е. рассеяние вследствие неоднородного по апертуре ПВМС распределения показателя преломления для необыкновенного луча  $n_e$ . Это подтверждается результатами измерений при  $\alpha = 90$ , когда увеличения фоновой интенсивности рассеяния не наблюдается, так как при этой геометрии направления поляризации падающего света и директoра ЖК перпендикулярны и изменения показателя преломления  $n_o$ , соответствующего обыкновенному лучу, при увеличении напряжения смещения на слое ЖК не происходит.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Думаревский Ю.Д., Ковтонок Н.Ф., Савин А.И. Преобразователи изображений на основе структур полупроводник — диэлектрик, М.: Наука, 1987. 176 с.
- [2] Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.

- [3] Берестнев С.П., Бондур В.Г., Данилов Ю.И., Думаревский Ю.Д., Ковто-нюк Н.Ф., Савин А.И. // Радиотехника и электроника. 1985. Т. 30. С. 1212.
- [4] Мыльников В.С., Морозова Е.А., Василенко Н.А. и др. // ЖТФ. Т. 55. № 4. С. 749-751.
- [5] Владимиров Ф.Л., Моричев И.Е., Плетнева Н.И. // ОМП. 1984. № 3. С. 54-63.
- [6] Передача и обработка информации голографическими методами /Под ред. Гуревича С.Б. Л.: Наука, 1978.
- [7] Casasent D. // Appl. Opt. 1979. V. 18. P. 2445.
- [8] Лукьянченко Е.С., Хожанов В.В., Козунов В.А. // Кристаллография. 1986. Т. 31. С. 747.
- [9] Чигринов В.Г., Гребенкин М.Ф. // Кристаллография. 1975. Т. 20. С. 1240.
- [10] Гитин А.Б., Каретников А.А., Томилин М.Г. // Труды ГОИ. 1986. В. 194.
- [11] Васильев А.А., Компанец И.Н., Парфенов А.В. // Автометрия. 1987. № 2. С. 100-105.
- [12] Новиков А.В. Тез. докл. 1 Всес. конф. „Оптика жидких кристаллов“, М., 1987. 194 с.
- [13] Вашурин П.В., Денисов А.Ф., Компанец И.Н., Парфенов А.В., Прокопов Н.А. Тез. докл. 1 Всес. конф. „Оптика жидких кристаллов“, М., 1987. 245 с..

Поступило в Редакцию

2 декабря 1989 г.

В окончательной редакции

5 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

Об.3; 12

© 1990

БЕСКОНТАКТНОЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ  
СВЕРХКОРОТКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ  
ПОМОЩИ ПИКΟΣЕКУНДНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

В.Л. Караганов, Е.Л. Портной,  
Н.М. Синявский, А.П. Стальненис,  
Н.М. Стельмах, А.В. Челноков

Одним из возможных применений пикосекундных инжекционных лазеров с насыщающимся поглотителем, полученным глубокой им-