

- [8] Б о к о в В.А., М ы л ь н и к о в а И.Е. - ФТТ, 1961, т. 3, с. 841.
- [9] S m o l e n s k y G.A., K r a i n i k N.N., Т р е п а к о в V.A., K t i t o r o v S.A., K a m z i n a L.S., М ы л ь н и к о в а И.Е., Z h d a n o v a V.V., S e r g e e v V.P., K u z n e t s o v a L.A. - Ferroelectrics, 1978, v. 21, p. 521.
- [10] B u r n s G., D a c o l F.H. - Sol. St. Commun., 1983, v. 48, p. 853.
- [11] К о р ш у н о в О.Ю., М а р к о в и н П.А., П и с а р е в Р.В. - ФТТ, 1983, т. 25, с. 2134.
- [12] С м о л е н с к и й Г.А., Ю ш и н Н.К., С м и р н о в С.И. - ФТТ, 1985, т. 27, с. 801.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
15 июля 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ТРАНСПАРАНТЫ  
НА ОСНОВЕ СТРУКТУР  
ФОТОПРОВОДНИК-КАПСУЛИРОВАННЫЙ ПОЛИМЕРОМ  
НЕМАТИЧЕСКИЙ ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ

О.А. А ф о н и н, В.Ф. Н а з в а н о в,  
А.В. Н о в и к о в

Расширение функциональных возможностей и улучшение параметров оптически управляемых транспарантов (ОУТ) обуславливает поиск новых электрооптических материалов (ЭОМ). Большой интерес представляет использование в ОУТ недавно предложенного ЭОМ на основе капсулированных полимером нематических жидких кристаллов (НЖК), электрооптический эффект в котором обладает высоким быстродействием, не ограничивающимся толщиной слоя ЭОМ, не требует ориентирующих покрытий и поляризационной оптики [1-2].

В настоящей работе впервые исследованы характеристики ОУТ типа фотопроводник (ФП)-капсулированный полимером НЖК и особенности использования нового ЭОМ в таких системах. Исследованные образцы ОУТ представляли собой слоистую структуру, состоящую из слоя ФП толщиной 5-10 мкм, в качестве которого использовался высокоомный поликристаллический  $ZnSe$   $n$ -типа ( $\rho_{темн} \sim 10^{14}$  Ом см), и слоя капсулированного поливиниловым спиртом (ПВС) НЖК толщиной 20-40 мкм, заключенных между стеклянными подложками с прозрачными  $SnO_2$ -электродами. Рабочие апертуры транспарантов составляли 30 мм.

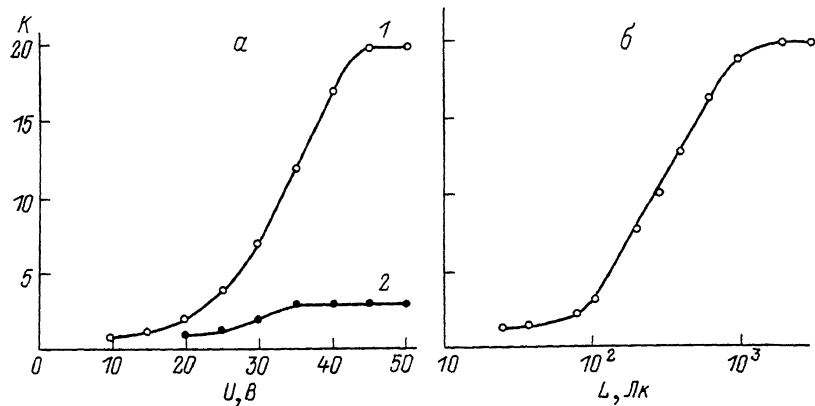


Рис. 1. Вольт-контрастные (а),  $I_{\text{зал}} = 10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup> и люкс-контрастная (б) ( $U = 45$  В) характеристики транспаранта. 1 - положительное смещение на ФП, 2 - положительное смещение на ЭОМ.

ЭОМ представлял собой полимерную матрицу (ПВС ГОСТ 10779-79), содержащую микрокапли НЖК марки Д-205 с положительной диэлектрической анизотропией, изготовленную по технологии, описанной в [2]. Принцип модуляции светового потока слоем капсулированного НЖК заключается в диффузном рассеянии света в отсутствие управляющего напряжения и увеличении прозрачности слоя при подаче напряжения [1].

Запись изображения на транспаранты производилась белым светом. При измерении временных характеристик записывающий свет модулировался механическим затвором. Для оценки разрешающей способности ОУТ на транспаранты проецировалась стандартная резольвометрическая мира. Считывание на просвет осуществлялось излучением *He Ne* лазера на длине волны 0,63 мкм или некогерентным красным светом. На ОУТ подавалось постоянное питающее напряжение величиной 10-50 В.

Экспериментальные исследования показали выраженную униполярность вольт-контрастных характеристик (ВКХ) изучаемых структур (рис. 1, а). Кроме полярности питающего напряжения на ВКХ влиял также выбор направления записи - со стороны ФП или со стороны ЭОМ. Изучение вольт-амперных характеристик ячеек с капсулированным полимером НЖК без фотопроводника показало, что капсулированный НЖК образовывал омические контакты с прозрачными электродами. Униполярность ВКХ транспарантов определялась наличием потенциальных барьеров на границах раздела  $\text{SnO}_2 - \text{ZnSe}$  и  $\text{ZnSe} - \text{ЭОМ}$ . Наличие барьера ФП-капсулированный НЖК свидетельствует о схожести характеристик границы ФП-ЭОМ в данных структурах с аналогичными характеристиками границы раздела ФП-гомогенный НЖК [3].

Пороговая чувствительность и чувствительность по полному контрасту исследованных ОУТ, определенные по люкс-контрастной ха-

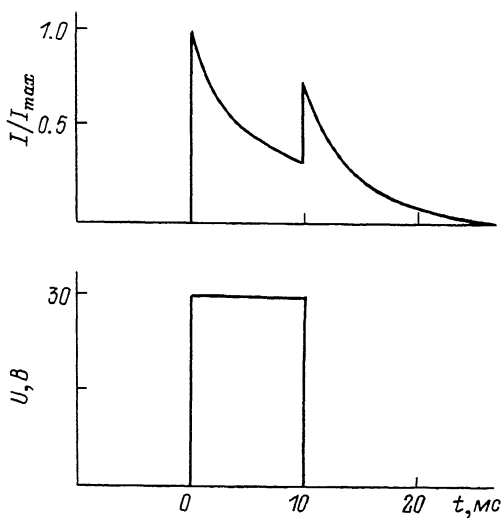


Рис. 2. Осциллограмма электрооптического отклика слоя капсулированного НЖК при подаче прямоугольного импульса напряжения.

характеристике (ЛКХ) транспарантов (рис. 1, б), составили  $10^{-5}$  и  $10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup> соответственно. Относительно невысокая чувствительность обусловлена большими по сравнению с полевыми эффектами в гомогенных НЖК пороговым напряжением и напряжением насыщения пропускания для слоев капсулированного НЖК, составлявших 5 и 30 В соответственно. Вследствие этого ЛКХ транспарантов была линейна в широком диапазоне интенсивностей записывающего излучения, что позволяло ОУТ передавать не менее 10 градаций серой шкалы.

Разрешающая способность исследованных ОУТ, оцененная по проекционной методике, составила значение порядка 30 лин/мм при интенсивности записывающего излучения  $10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup> и напряжении питания 50 В. Анализ, выполненный без учета влияния ФП, показывает, что разрешение данных ОУТ и их контрастные характеристики определяются толщиной слоя ЭОМ, размером и плотностью упаковки капель НЖК в полимере. Для исследованного ЭОМ два последних параметра составляли 1–2 мкм и  $3 \cdot 10^5$  мм<sup>-2</sup> соответственно. При использовании слоев соответствующей толщины с определенными размерами и плотностью упаковки капель в полимерной матрице можно достичь компромиссных значений разрешающей способности, контраста и чувствительности ОУТ исследованного типа.

Важным преимуществом слоев капсулированных полимером НЖК является высокое быстродействие по сравнению с гомогенными слоями НЖК равной толщины. Время цикла включение–выключение ячеек с капсулированным НЖК без фотопроводника практически не зависело от толщины слоя ЭОМ и при подаче импульса напряжения

составляло не более 5 мс. Однако в системе  $ZnSe$ -ЭОМ быстрое действие транспарантов ограничивалось большой постоянной времени структуры, а также за счет эффекта накопления заряда на границе раздела ФП-ЭОМ [4]. Времена выключения транспарантов при интенсивности записывающего света  $10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup> и величина постоянного питающего напряжения 40 В (при положительном смещении на слое  $ZnSe$ ) составляли 1.5-3 с.

Вместе с тем был обнаружен эффект дифференцирования светового импульса; подбором величины питающего напряжения можно было в несколько раз снизить величину стационарного контраста по сравнению с передним фронтом отклика ОУТ. При интенсивности записывающего излучения  $10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup> и напряжении питания 40 В длительность переднего фронта отклика транспаранта составляла 5-10 мс. Таким образом, используя указанный эффект, с помощью ОУТ типа ФП-капсулированный полимером НЖК можно реализовать режим динамической селекции изображений.

Указанные свойства исследованных транспарантов связаны с дифференцированием импульса напряжения в слое капсулированного НЖК (рис. 2). Этот процесс можно интерпретировать с помощью эквивалентной схемы капсулированного НЖК, представляющей собой для каждой отдельной микрокапли последовательное соединение параллельных  $RC$ -цепей, соответствующих капле НЖК и окружающим ее стенкам полимерной капсулы. При прохождении импульса напряжения оно распределяется в начальный момент времени между каплями НЖК и стенками капсулы обратно пропорционально величинам соответствующих емкостей, в то время как установившиеся (стационарные) значения напряжений определяются величинами активных сопротивлений капли НЖК и стенок капсулы. Отсюда видно также, что более выгодно использовать капсулированные НЖК в ОУТ, работающих при питании переменным напряжением, так как в этом случае контраст будет определяться своим пиковым значением.

К особенностям исследованного ЭОМ относится также меньшая зависимость емкости капсулированного НЖК от величины приложенного напряжения по сравнению с аналогичными по толщине слоями гомогенного НЖК, в котором реализуются полевые электрооптические эффекты. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что образующиеся внутри микрокапель биполярные структуры жидкого кристалла [2] ориентированы по отношению друг к другу случайным образом. Указанная особенность позволяет при расчетах параметров структур типа ФП-капсулированный НЖК пренебречь анизотропией нематического жидкого кристалла.

Результаты исследований характеристик ОУТ типа ФП-капсулированный полимером НЖК и обнаруженные особенности применявшегося ЭОМ свидетельствуют о возможности успешного использования капсулированных полимером НЖК в оптически управляемых транспарантах.

Меньшие по сравнению с известными полевыми электрооптическими эффектами в гомогенных НЖК контрасты могут быть существенно повышены с помощью пространственной фильтрации, а также путем добавления в ЭОМ плеохронных красителей [1].

- [1] F e r g a s o n J.L. - SID Int. Symp. Tech. Papers, 1985, v. 16, p. 68-70.  
 [2] D r z a i s P.S. - J. Appl. Phys., 1986, v. 60, N 6, p. 2142-2148.  
 [3] К и р ь я ш к и н а З.И., Н а з в а н о в В.Ф., Ф и л и п ч е н к о В.Я., Л е б е д и н а Г.А., Е л и с т р а т о в В.А. - Письма в ЖТФ, 1975, т. 1, в. 22, с. 1044-1048.  
 [4] Н а з в а н о в В.Ф., Н о в и к о в А.В. - Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, в. 1, с. 11-13.

Саратовский государственный  
 университет  
 им. Н.Г. Чернышевского

Поступило в Редакцию  
 19 июня 1987 г.  
 В окончательной редакции  
 с 6 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

## КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ СДВИГ ЭЛЕКТРОННОГО РЕЗОНАНСА В КОМПОЗИЦИОННЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ

А.И. У с о с к и н, В.А. К о р н и е н к о,  
 О.А. П о п о в а

Сдвиг частоты экситонного резонанса в композиционной сверхрешетке (СР) связывается как с изменением энергетического спектра полупроводника [1], так и с нелокальным электромагнитным взаимодействием [2]. Сдвиг может вызываться также изменением энергии связи экситона большого радиуса, становящегося двумерным в слоях СР [1-3].

В настоящей работе исследован сдвиг частоты, обусловленный иным механизмом, связанным с отличием „действующего“ электрического поля световой волны в полупроводнике от среднего макроскопического поля в СР.

1. Рассмотрим СР, образованную из чередующихся слоев диэлектрика и полупроводника, толщина которых много меньше длины световой волны. Пусть для диэлектрика частотная зависимость диэлектрической постоянной  $\epsilon_0$  отсутствует, а для полупроводника в районе экситонного пика имеет вид  $\epsilon_1 = \epsilon_f + (4\pi N e^2 / m) / (\omega_0^2 - \omega^2 + i\omega\gamma)$ , где  $N$ ,  $e$ ,  $m$  - эффективные значения концентрации, заряда и массы осцилляторов с резонансной частотой  $\omega_0$ ;  $\epsilon_f$  - не зависит от частоты. Если толщина слоев настолько мала, что можно пренебречь нелокальными эффектами [2], уравнение движения любого экситонного осциллятора в полупроводниковом слое может быть записано как

$$\ddot{x} + \gamma \dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{e}{m} E_f e^{i\omega t}. \quad (1)$$