

07

## **Мультистабильность в пленке капсулированного полимером холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом**

© А.П. Гардымова, В.Я. Зырянов, В.А. Лойко

Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики  
и радиоэлектроники, Красноярск, Россия  
Институт физики им. Л.В. Киренского, Красноярский научный центр СО  
РАН, Красноярск, Россия  
Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия  
Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
E-mail: zyg@iph.krasn.ru

*Поступило в Редакцию 22 апреля 2011 г.*

Обнаружен эффект памяти в пленках капсулированного полимером холестерического жидкого кристалла, обусловленный модификацией поверхностного сцепления ионным сурфактантом под действием электрического поля. Подобраны параметры электрических сигналов, позволяющих переключать композитную пленку между стабильными состояниями с различным светопропусканием.

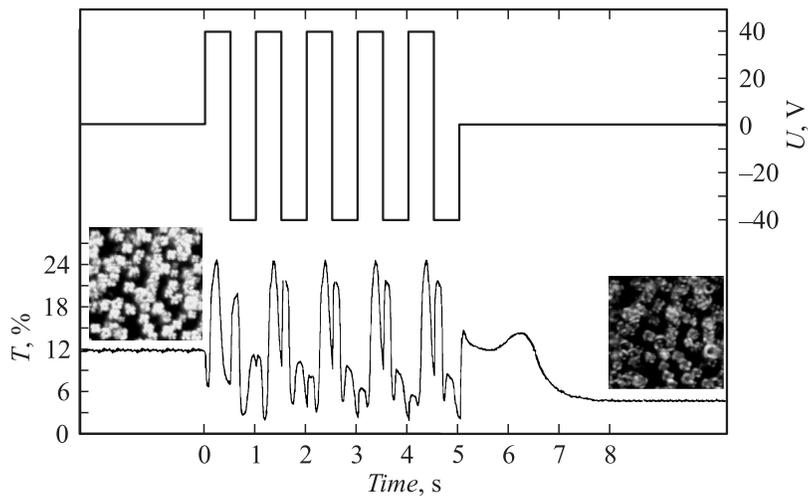
В настоящее время интенсивно развиваются технологии, направленные на снижение потребления энергии, приходящейся на дисплейный модуль. Наиболее эффективным решением данной проблемы является использование эффекта бистабильности, позволяющего сохранять заданное оптическое состояние в отсутствие электрического поля. В этом плане большое внимание привлечено к холестерическим жидким кристаллам (ХЖК), в которых возможны различные варианты реализации бистабильных оптических состояний [1–7]. Наиболее известный эффект, нашедший практическое применение в дисплейных устройствах, обусловлен переключением ХЖК между стабильными планарной структурой и структурой фокально-конических доменов [1,2,7]. При этом шаг холестерической спирали  $P$  должен быть намного меньше размера полости  $D$ , заполненной жидким кристаллом. Планарная структура холе-

стера selectively отражает циркулярно поляризованную компоненту света, а доменная структура интенсивно рассеивает излучение. Если ХЖК расположить на светопоглощающей подложке, то такая ячейка в одном состоянии отражает свет определенной длины волны, а в другом состоянии будет черной. Данный эффект работает как в плоских слоях ХЖК, так и в каплях холестерика, диспергированного в полимерной пленке [1,2]. Последний случай представляет особый интерес, поскольку позволяет создать гибкий бистабильный дисплей отражательного типа [7], но малый шаг холестерической спирали приводит к большому значению управляющего напряжения. Эффект памяти характерен и для пленок капсулированного полимером холестерического жидкого кристалла (КПХЖК) с шагом геликоида, соразмерным диаметру капель ( $P \cong D$ ) [8], однако для сохранения записанной информации требуется напряжение поддержки [9].

Данная работа нацелена на изучение альтернативной возможности материала КПХЖК для бистабильных оптоэлектронных устройств, а также дисплеев с энергозависимым хранением информации.

Для исследований были изготовлены образцы пленок КПХЖК методом эмульгирования жидкого кристалла в водном растворе поливинилового спирта (PVA), пластифицированного глицерином (Gl), с последующим испарением растворителя [10,11]. В качестве ХЖК использовалась смесь нематического жидкого кристалла 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ) с добавкой 1.5% по весу холестерилацетата (ХЗ). До приготовления эмульсии в смеси ЖК растворялся ионообразующий сурфактант цетилтриметиламмоний бромид (ЦТАБ). Соотношение компонентов ХЖК:ПВС:Гл:ЦТАБ составляло 1:19:6:0.1 по весу. Как известно [11], на поверхности поливинилового спирта, в том числе и пластифицированного глицерином, жидкий кристалл ориентируется тангенциально. Сурфактант ЦТАБ в жидком кристалле распадается на анионы бром  $\text{Br}^-$  и поверхностно-активные катионы цетилтриметиламмоний  $\text{ЦТА}^+$ . Ионы  $\text{ЦТА}^+$ , адсорбируясь на поверхности полимера, при указанной концентрации формируют наноразмерный слой, который изменяет поверхностное сцепление на гомеотропное [12].

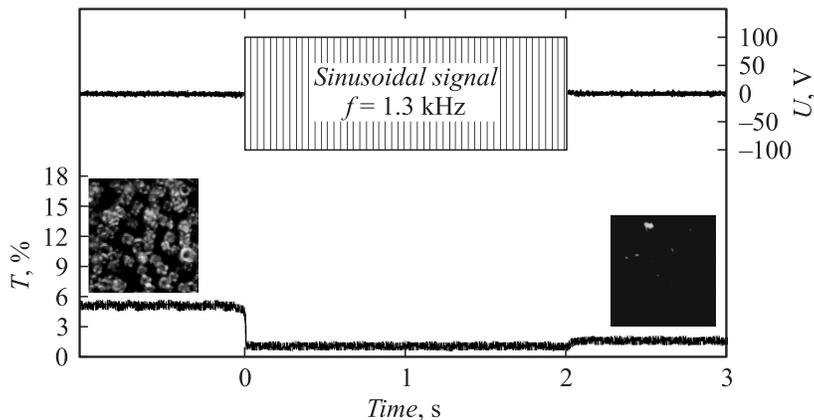
Исследования морфологии композитной пленки и оптических текстур капель ХЖК проводились с использованием поляризационного микроскопа Axio Imager A1m (Carl Zeiss), оснащенного видеокамерой. На вставках рис. 1–3 показаны фотографии фрагмента исследуемой пленки КПХЖК в различных состояниях, сделанные в геометрии



**Рис. 1.** Осциллограммы управляющего электрического поля  $U$  (вверху) и светопропускания пленки КПХЖК  $T$  (внизу) при ее переключении из исходного состояния с твист-радиальной структурой капель в стабильное промежуточное состояние. На вставках слева и справа показаны фотографии фрагмента пленки в равновесных состояниях: соответственно до и после воздействия поля. Фотографии здесь и далее сделаны в геометрии скрещенных поляризаторов, ориентированных параллельно графическим осям.

скрещенных поляризаторов. В такой же геометрии измерялся оптический отклик композитной пленки на приложенное электрическое поле. Для этого образец пленки КПХЖК помещался между двумя стеклянными подложками с прозрачными ITO-электродами, полученная ячейка-сэндвич располагалась между скрещенными поляризаторами. На электроды подавался знакопеременный электрический сигнал прямоугольной или синусоидальной формы. Луч полупроводникового лазера ( $\lambda = 658 \text{ nm}$ ) проходил через оптическую ячейку и детектировался фотодиодом, сигнал от которого анализировался с использованием цифрового осциллографа.

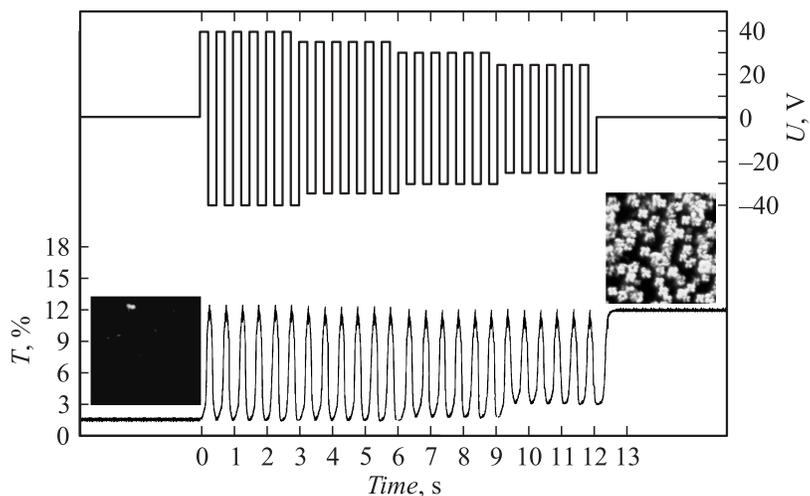
Толщина пленки составляла  $75 \mu\text{m}$ . Капли ХЖК в плоскости пленки имели круглую форму со средним размером  $9 \mu\text{m}$  и располагались в объеме пленки, не перекрывая друг друга, что позволяло идентифициро-



**Рис. 2.** Осциллограммы управляющего электрического поля и оптического отклика пленки КПХЖК при ее переключении из промежуточного состояния в стабильное состояние с однородной ориентацией директора ЖК в каплях. Управляющий сигнал имеет синусоидальную форму частотой 1.3 kHz. В остальном обозначения, расположение графиков и фотографий аналогичны рис. 1.

вать ориентационную структуру холестерика. В каплях ХЖК без добавки сурфактанта образовывалась закрученная биполярная конфигурация директора, соответствующая тангенциальному сцеплению. В каплях холестерика с концентрацией ЦТАБ около 10% формируется закрученная радиальная структура, характерная для гомеотропной (перпендикулярной) ориентации ЖК на поверхности полимерной матрицы. Оптические текстуры таких капель в скрещенных поляризаторах представляют собой фигуру изогнутого мальтийского креста (рис. 1, вставка слева). Поскольку через каплю проходит лишь часть падающего светового потока, а оптически изотропная полимерная матрица в скрещенных поляризаторах не пропускает свет, то суммарное светопропускание пленки КПХЖК в исходном состоянии составляет лишь 12% (рис. 1).

В результате воздействия электрического поля капли холестерика могут перейти в стабильное состояние с однородной ориентацией директора, направленного перпендикулярно плоскости пленки, либо в промежуточные стабильные структуры. В первом случае двулучепреломление ЖК не проявляется, и свет не проходит через такие



**Рис. 3.** Осциллограммы управляющего электрического поля и оптического отклика пленки КПХЖК при ее переключении из состояния с однородной ориентацией ЖК в исходное состояние с твист-радиальной структурой капель. Обозначения, расположение графиков и фотографий аналогичны рис. 1.

капли (рис. 2, вставка справа). Следует отметить, что часть капель (не превышающая 2% для исследованного образца) не переходит в однородное состояние, что определяет некоторую величину остаточного светопропускания (рис. 2, вставка справа). В промежуточных структурах директор ЖК в центральной части капель близок к нормали к плоскости пленки и имеет наклонную ориентацию в экваториальной области. Вследствие этого свет проходит лишь через боковые области капель, прилегающие к видимым границам (рис. 1, вставка справа). Таким образом, светопропускание исследованной пленки КПХЖК в стабильных состояниях варьируется в диапазоне 1.5–12%.

На рис. 1–3 представлены осциллограммы управляющих электрических сигналов (вверху) и соответствующих оптических откликов (внизу) при переключении композитной пленки в различные равновесные состояния. Из исходного состояния со светопропусканием 12% пленку КПХЖК можно переключить в стабильные промежуточные состояния, если воздействовать электрическим сигналом прямоугольной формы

частотой 1 Hz (рис. 1). Под действием импульсов поля и положительной, и отрицательной полярности в каплях ХЖК происходит сложный процесс трансформации ориентационной структуры, вклад в который в общем случае может быть обусловлен различными физическими явлениями: эффектом Фредерикса, модификацией граничных условий, а также электрогидродинамической неустойчивостью вследствие транспорта ионов. Переориентация капель холестерика проявляется в изменении светопропускания пленки, которое во время электрического сигнала варьируется в пределах 2.0–24.5%. После выключения поля капли ХЖК релаксируют в течение примерно 3 s к равновесному промежуточному состоянию. Результирующее светопропускание определяется параметрами электрического сигнала и может перестраиваться путем изменения количества импульсов, их амплитуды и длительности.

Минимальное светопропускание в стабильном промежуточном состоянии, достигнутое для исследованных образцов при использовании прямоугольного электрического сигнала, составляет 4.5–5%. Светопропускание можно далее снизить до 1.5%, но для этого необходимо после прямоугольного сигнала воздействовать сигналом синусоидальной формы с частотой  $f = 1.3 \text{ kHz}$  в течение 2 s (рис. 2). Такое воздействие приводит к однородной ориентации директора ЖК в каплях и почти полному затемнению наблюдаемой оптической картины (рис. 2, вставка справа). Небольшая часть капель (около 1% от общего количества) после перехода в однородную конфигурацию может со временем, в течение первых ста часов релаксировать в промежуточную структуру. После этого система окончательно стабилизируется.

Как промежуточную, так и однородную структуру капель ХЖК можно вернуть в исходную, воздействуя последовательно прямоугольными импульсами переменного электрического поля частотой 2 Hz. Например, для возвращения капель в исходное состояние с твист-радиальной конфигурацией директора и соответствующей величиной светопропускания можно использовать показанную на рис. 3 последовательность сигналов с постепенно снижающейся (от 40 до 25 V) амплитудой.

Таким образом, использование ионных сурфактантов, модифицирующих граничные условия под действием электрического поля, позволяет получить ряд стабильных структурных и оптических состояний пленки КПХЖК в случае слабо закрученного (шаг геликоида соразмерен величине капель) ХЖК. Разработанный материал перспективен для

создания электрооптических устройств, не требующих высокого быстродействия (электронных книг, оптических затворов, умных окон и т.п.), но обеспечивающих энергонезависимое сохранение записанной информации или заданной величины светопропускания. Дополнительные преимущества данного материала обусловлены его гибкостью, механической прочностью, простой технологией изготовления. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию как состава и структуры материала, так и параметров управляющего сигнала с целью улучшения светотехнических характеристик перспективных оптоэлектронных устройств, в частности уменьшения времени записи информации, а также повышения контраста и светопропускания.

Работа выполнена при частичной поддержке за счет средств гранта № П901 ФЦП „Кадры России“ и проектов СО РАН № 110, 144.

## Список литературы

- [1] *Crawford G.P., Zumer S.* Liquid Crystals in Complex Geometries. London: Taylor & Francis, 1996. 584 p.
- [2] *Yang D.-K., Huang X.-Y., Zhu Y.-M.* // Annu. Rev. Mater. Sci. 1997. V. 27. P. 117–146.
- [3] *Crawford G.P.* Flexible flant panel displays. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005. 528 p.
- [4] *Greubel W.* // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 25. P. 5–7.
- [5] *Berreman D.W., Heffner W.R.* // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. P. 3032–3039.
- [6] *Hsu J.-S., Liang B.-J., Chen S.-H.* // Appl. Phys. Lett. 2004. V. 85. P. 5511–5513.
- [7] *Yang D.-K.* // J. Display Technology. 2006. V. 2. N 1. P. 32–37.
- [8] *Зырянов В.Я., Сморгон С.Л., Жуйков В.А., Шабанов В.Ф.* // Письма в ЖЭТФ. 1994. Т. 59. В. 8. С. 520–522.
- [9] *Зырянов В.Я., Жуйков В.А., Сморгон С.Л., Шабанов В.Ф.* // ЖТФ. 1996. Т. 66. В. 8. С. 99–106.
- [10] *Жаркова Г.М., Сонин А.С.* Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: Наука, 1994. 214 с.
- [11] *Drzaic P.S.* Liquid crystal dispersions. Singapore: World Scientific, 1995. 430 p.
- [12] *Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепина О.О., Шабанов А.В.* // Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 88. В. 9. С. 688–692.