

07

## **Электрооптические характеристики полимер-диспергированной жидкокристаллической пленки, управляемой ионно-сурфактантным методом**

© М.Н. Крахалев, В.А. Лойко, В.Я. Зырянов

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

*Поступило в Редакцию 24 августа 2010 г.*

Исследованы электрооптические характеристики композитной пленки на основе полимера, нематического жидкого кристалла и ионного сурфактанта. Для эффекта ионной модификации поверхностного сцепления обнаружены пороговый характер процесса переориентации капель нематика и соответственно зависимости амплитуды модуляции светопропускания от напряженности электрического поля. Определены динамические параметры оптического отклика.

Капсулированные полимером жидкие кристаллы (КПЖК) считаются в настоящее время одним из перспективных материалов для применений в новой области оптоэлектронной техники, связанной с созданием гибких электрооптических устройств, включая дисплеи [1]. Данный материал представляет собой полимерную пленку с диспергированными в ней каплями жидкого кристалла. КПЖК пленки привлекают к себе внимание исследователей благодаря удачному сочетанию в них преимуществ, характерных как для полимеров, так и для жидких кристаллов (ЖК): гибкости, механической прочности, простой технологии изготовления, низкому управляющему напряжению и малому энергопотреблению.

В работе [2] был предложен и реализован новый метод управления ориентационной структурой капель жидких кристаллов, основанный на

модификации поверхностного сцепления ионообразующими сурфактантами под действием электрического поля. Развитие данного подхода может привести к созданию принципиально новых материалов ЖК, способных существенно расширить функциональные возможности оптоэлектронной техники. В задачу настоящей работы входило исследование электрооптических характеристик пленки КПЖК, управляемой ионно-сурфактантным методом.

В качестве полимерной матрицы использовался поливиниловый спирт (PVA), пластифицированный глицерином (G1). Нематический ЖК 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5CB), допированный катионным сурфактантом цетилтриметиламмонийбромидом (СТАВ), капсулировался в полимерной матрице с использованием известной методики эмульгирования [3]. Весовое соотношение компонентов PVA:G1:5CB:СТАВ составляло 9.3:3.7:1:0.02 по весу. Указанной концентрации СТАВ достаточно для задания нормальных граничных условий, и, как следствие, внутри капля нематика в исходном состоянии формируется радиальное распределение поля директора. Такие условия характерны для использования инверсного режима ионной модификации межфазной границы [4].

Капли ЖК имели средний размер 2–3  $\mu\text{m}$  в плоскости пленки, толщина которой составляла 16  $\mu\text{m}$ . Образец изготавливался на стеклянной подложке, на одной стороне которой были сформированы электроды в виде двух полосок на расстоянии 1 mm друг от друга. Таким образом, в зазоре между электродами приложенное поле было направлено преимущественно вдоль плоскости пленки КПЖК. На электроды подавались монополярные электрические импульсы прямоугольной формы с варьируемой длительностью и амплитудой. Визуальные наблюдения текстуры капель ЖК проводились с использованием поляризационного микроскопа POLAM P-113.

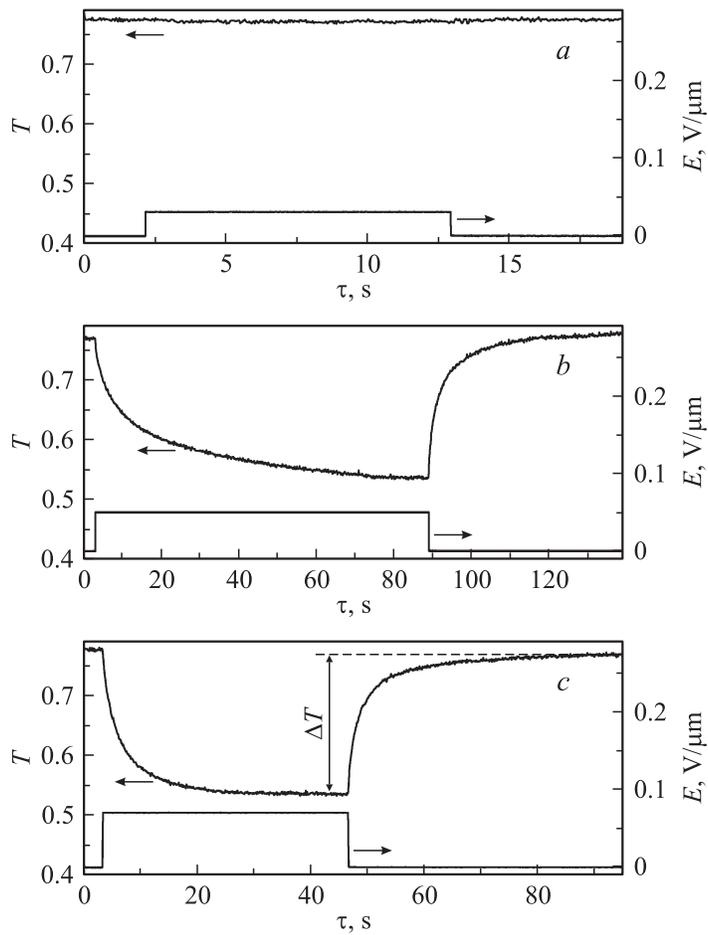
Для исследования электрооптических характеристик применялся полупроводниковый лазер Mitsubishi ML 101J21-01 с длиной волны  $\lambda = 658 \text{ nm}$ , излучение которого проходило последовательно через поляризатор, образец, диафрагму и попадало на фотоприемник. Диаметр поперечного сечения лазерного луча составлял 0.8 mm. Рассеянное излучение задерживалось диафрагмой, что позволяло регистрировать только прямо проходящий свет. Ячейка с образцом располагалась так, чтобы электрическое поле было направлено перпендикулярно лучу и плоскости поляризации света.

В исходном состоянии капля нематика в геометрии скрещенных поляризаторов наблюдались текстуры мальтийского креста, характерные для радиальной конфигурации директора с точечным дефектом в центре капля. Структура капля оставалась практически неизменной при воздействии электрического поля величиной до  $0.03 \text{ V}/\mu\text{m}$ . При дальнейшем увеличении поля часть межфазной границы, находящаяся ближе к аноду, освобождается от поверхностно-активных ионов цетилтриметиламмония ( $\text{СТА}^+$ ), вследствие чего на данном участке поверхности капля ЖК восстанавливаются тангенциальные граничные условия, характерные для используемого полимера. В результате этого конфигурация директора трансформируется так, что в каплях резко увеличивается доля поверхности, сильно рассеивающей излучение. Как следствие, такие ориентационно-структурные превращения капля нематика проявляются в макроскопическом оптическом отклике.

На рис. 1 приведены осциллограммы оптического отклика пленки КПЖК на импульсы электрического поля различной амплитуды. Светопропускание пленки  $T$  в прямом направлении для нормально падающего излучения составляет  $0.77$  в отсутствие электрического поля и остается таковым вплоть до  $E = 0.03 \text{ V}/\mu\text{m}$  (рис. 1, *a*). Приложение электрического поля напряженностью  $E = 0.04 \text{ V}/\mu\text{m}$  приводит к уменьшению светопропускания, которое в используемой схеме измерений логично объясняется усилением рассеяния света нематическими каплями при изменении из ориентационной структуры. После выключения поля светопропускание пленки возвращалось к начальному уровню примерно за  $11 \text{ s}$ .

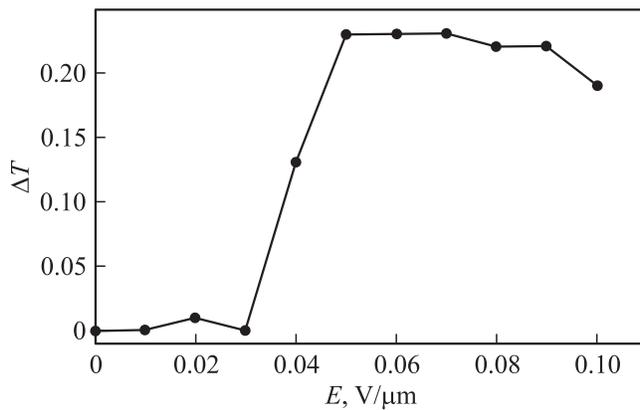
Зависимость изменения светопропускания  $\Delta T \sim E$  выходит на насыщение при  $E = 0.05 \text{ V}/\mu\text{m}$  (рис. 1, *b*), достигая значения  $0.23$  (рис. 2). Такая величина  $\Delta T$  сохраняется до  $E = 0.07 \text{ V}/\mu\text{m}$  (рис. 1, *c*), а при большей напряженности поля начинает уменьшаться.

Аналогичные изменения прослеживаются на кривых зависимости динамических параметров оптического отклика от напряженности приложенного поля (рис. 3). Время включения  $\tau_{on}$  снижается вплоть до  $10 \text{ s}$  при величине поля  $E = 0.07 \text{ V}/\mu\text{m}$ . Уменьшение  $\tau_{on}$  объясняется диффузионным характером процесса перемещения ионов. Чем больше величина поля, тем больше скорость движения ионов, и, следовательно, тем меньше время требуется для разрушения экранирующего слоя ионных сурфактантов на поверхности капли ЖК. Однако такая тенденция сохраняется лишь до значения поля  $E = 0.07 \text{ V}/\mu\text{m}$ , при

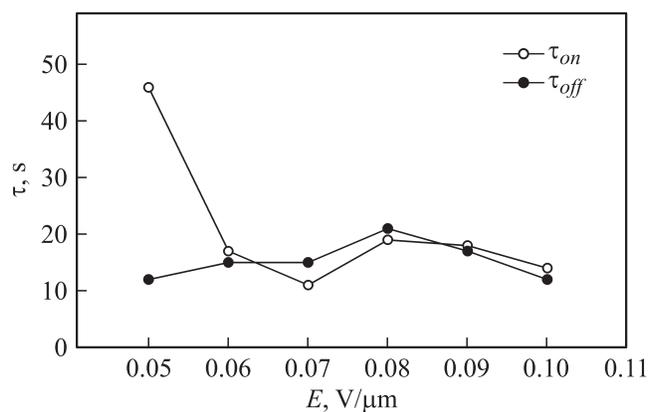


**Рис. 1.** Осциллограммы оптического отклика пленки КПЖК на импульсы электрического поля различной амплитуды: *a* —  $E = 0.03 \text{ V}/\mu\text{m}$ , *b* —  $E = 0.05 \text{ V}/\mu\text{m}$ , *c* —  $E = 0.07 \text{ V}/\mu\text{m}$ .

превышении которого величина  $\tau_{on}$  начинает возрастать, достигает локального максимума при  $E = 0.08 \text{ V}/\mu\text{m}$ , а затем вновь уменьшается. Выяснение причины такого поведения  $\tau_{on}$  требует отдельного рассмот-



**Рис. 2.** Зависимость амплитуды модуляции светопропускания композитной пленки от напряженности управляющего поля.



**Рис. 3.** Время отклика  $\tau_{on}$  и релаксации  $\tau_{off}$  пленки КПЖК в зависимости от величины поля.

рения. В то же время релаксационный процесс не имеет такой сильной зависимости от амплитуды приложенного импульса. Время релаксации  $\tau_{off}$  варьируется в пределах 10–20 с. В диапазоне до  $E = 0.08 \text{ V}/\mu\text{m}$  оно увеличивается, а затем начинает уменьшаться.

Таким образом, ионно-сурфактантный метод модификации поверхностного сцепления позволяет трансформировать ориентационную структуру жидких кристаллов и, следовательно, управлять макроскопическими оптическими свойствами полимерно-жидкокристаллических композитных пленок. Особенностью данного метода является использование постоянного электрического поля, после выключения которого материал ЖК возвращается в исходное состояние. Оптический отклик имеет резко пороговую зависимость от напряженности поля. Для исследованного образца процесс переориентации происходит достаточно медленно — минимальные значения времен реакции и релаксации составляют около 10 с. Однако не исключается возможность улучшения быстродействия за счет оптимизации состава и структуры материала. Несомненным достоинством используемого подхода является малая величина напряженности управляющего поля, которая примерно на порядок меньше значений, характерных для аналогичных по структуре пленок КПЖК [5], работающих на основе классического эффекта Фредерикса.

Работа выполнена при частичной поддержке российских федеральных грантов № П901, 02.740.11.0220; РФФИ № 08-03-01007; проектов СО РАН № 27.1, 110, 144.

## Список литературы

- [1] *Flexible flat panel displays* / Ed. G.P. Crawford. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005. 528 p.
- [2] Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепина О.О., Шабанов А.В. // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т. 86. С. 440–445.
- [3] *Drzaic P.S. Liquid crystal dispersions*. Singapore: World Scientific, 1995. 430 p.
- [4] Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепина О.О., Шабанов А.В. // Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 88. С. 688–692.
- [5] *Doane J.W.* // MRS Bulletin. 1991. V. 16. P. 22–28.