

06

## **Формирование полимерного ориентирующего покрытия в жидкокристаллических ячейках с использованием магнитного поля**

© А.М. Паршин, В.А. Гуняков, В.Я. Зырянов, В.Ф. Шабанов

Институт физики им. Л.В. Киренского,  
Красноярский научный центр СО РАН  
Сибирский федеральный университет, Красноярск  
E-mail: parshin@iph.krasn.ru

Поступило в Редакцию 2 октября 2007 г.

Представлен метод получения планарно ориентированных слоев жидких кристаллов (ЖК) в плоскопараллельных ячейках, основанный на использовании растворной технологии формирования границы раздела ЖК–полимер в магнитном поле. Определена азимутальная энергия сцепления ЖК с поверхностью полимера посредством измерения зависимости угла ориентации директора нематика на подложке от напряженности магнитного поля. Ориентация жидкого кристалла стабильна, а анизотропия поверхностного сцепления сравнима с анизотропией, присущей широко распространенным способам приготовления ориентирующей полимерной пленки посредством ее натирания.

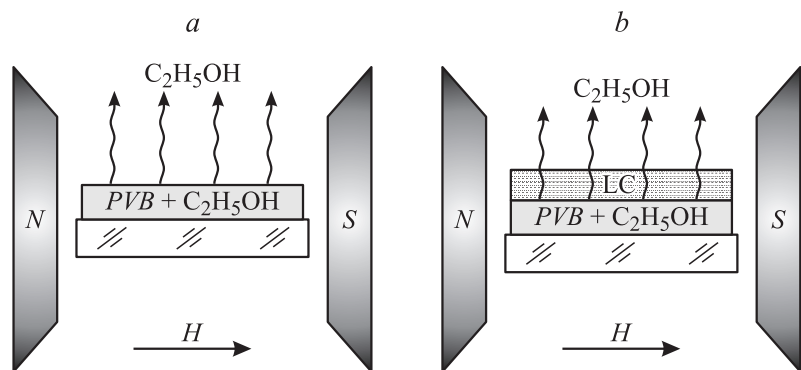
PACS: 61.30.Gd, 61.30.Hn

Одной из базовых проблем в производстве оптоэлектронной техники (дисплеев, модуляторов света, оптических затворов и пр.) на основе жидких кристаллов (ЖК) является разработка методов формирования определенной ориентации директора ЖК в оптических ячейках. Для этого обычно на стеклянные подложки наносят полимерные покрытия, ось легкого ориентирования на которых может задаваться различными способами: механической обработкой, отверждением в поляризованном свете и т.д. [1]. Методы, связанные с воздействием магнитного поля, в современных ЖК-технологиях не применяются. Однако примеры успешного использования магнитного поля для получения ориентированных ЖК-композитов есть. Так, например, в [2] запатентован способ изготовления композитных пленок, представляющих собой одноосно

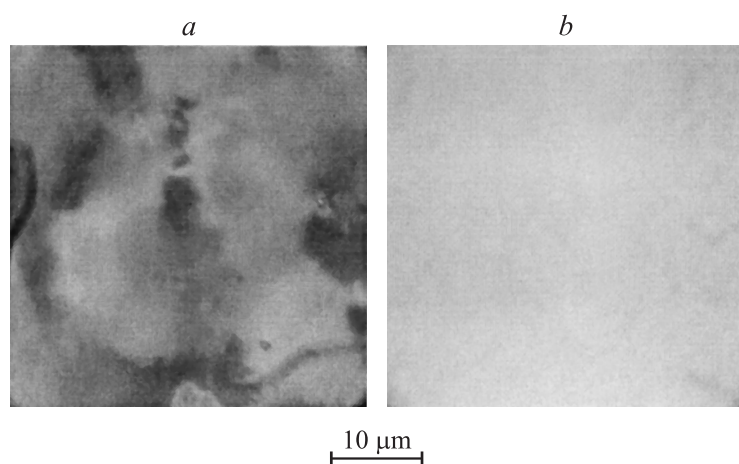
ориентированный ансамбль капель ЖК, капсулированных в полимерной матрице. Для этого пленка нагревалась до перехода полимера в пластичное состояние (ЖК при этом оставался в нематической фазе), а затем охлаждалась при воздействии магнитного поля, достаточного для ориентации капель нематика. После выключения поля ансамбль капель сохранял одноосно ориентированное состояние. Аналогичный результат был получен при диспергировании ЖК в фотоотверждаемом полимере [3], а также по растровой технологии в поливинилбутирале [4]. В случае [3] процесс фазового разделения однородного раствора ЖК в преполимере с образованием капель нематика происходил при облучении ультрафиолетом и воздействии магнитного поля. Наблюдаемый эффект авторы [3] объяснили тем, что в начале отвердевания полимер достаточно пластичен, чтобы модифицировать свод структуру в соответствии с ориентацией ЖК и создать на поверхности ось легкого ориентирования. После выключения магнитного поля анизотропия поверхностного взаимодействия удерживает директор нематика вдоль этой оси. В работе [4] ЖК и полимер растворялись в общем растворителе, последующее испарение которого в присутствии магнитного поля приводит к образованию ориентированных в одном направлении капель ЖК.

Целью данной работы является исследование возможности использования магнитного поля для формирования полимерных покрытий, задающих однородную ориентацию жидких кристаллов в плоскопараллельных ячейках.

ЖК-ячейки приготавливались с применением растровой технологии, схематически показанной на рис. 1. В качестве полимерного ориентанта использовался поливинилбутираль (PVB). Как известно [1], данный полимер ориентирует планарно ЖК производные алкилцианобифенилов. Поливинилбутираль растворялся в этиловом спирте в концентрации 2% и методом полива наносился на стеклянные подложки. В первом варианте (рис. 1, *a*) растворитель испарялся до полного отверждения полимера в присутствии магнитного поля  $H^* = 2 \cdot 10^6$  А/м, направленного параллельно плоскости подложек. Две приготовленные таким образом подложки складывались в плоскопараллельную ячейку, которая затем заполнялась нематическим ЖК 4-н-пентил-4'-цианобифенилом (5СВ). Анализ текстурных картин, характерных для такой ячейки (рис. 2, *a*), показывает, что слой ЖК здесь распадается на множество доменов с планарной (или близкой к планарной) ориентацией ди-



**Рис. 1.** Формирование полимерного ориентирующего слоя для ЖК-ячеек: *a* — процесс испарения растворителя  $C_2H_5OH$  из полимера PVB происходит в магнитном поле  $H^*$ ; *b* — растворитель испаряется в присутствии магнитного поля, проходя через слой жидкого кристалла LC.



**Рис. 2.** *a* — микротекстура неоднородного слоя нематика 5CB в ячейке, приготовленной по методу, показанному на рис. 1, *a*; *b* — однородно ориентированный слой нематика в ячейке, приготовленной по методу, показанному на рис. 1, *b*.

ректора. Корреляция азимутальной ориентации директора в ансамбле доменов отсутствует, что позволяет сделать вывод о неэффективности вышеописанного способа формирования полимерного покрытия для получения однородно ориентированного слоя ЖК.

Во втором варианте полимер отверждался до гелеобразного состояния, затем на него наносился слой ЖК 5СВ (рис. 1, *b*). На следующей стадии растворитель полностью испарялся, проходя через слой ЖК, в присутствии магнитного поля  $H^* = 2 \cdot 10^6$  А/м. В начале этого процесса макромолекулы полимера достаточно подвижны, чтобы ориентированные внешним полем молекулы нематика могли их переориентировать также вдоль поля. После выключения поля слой нематика оставался однородно ориентированным вдоль заданного направления (рис. 2, *b*). Ориентация ЖК стабильна в течение нескольких месяцев наблюдений.

Для оптического зондирования в нематическую матрицу вводился дихроичный краситель КД-10, изоморфный ЖК, в количестве 0.3 wt.%. Известно, что введение молекул красителя в таком малом количестве не изменяет существенно свойства ЖК-матрицы, но обуславливает появление полосы поглощения в видимой области спектра. В этом случае за изменением директора нематика можно проследить по изменению поляризованных компонент оптического пропускания света.

Для исследования анизотропии поверхностного взаимодействия проведены измерения азимутальной энергии сцепления ЖК–полимер. С этой целью была изготовлена ЖК-ячейка по методу, показанному на рис. 1, *b*. Две идентичные подложки складывались друг с другом таким образом, чтобы выделенные направления, вдоль которых прикладывалось магнитное поле  $H^*$ , совпадали. Зазор между подложками, заполненный ЖК 5СВ, составлял  $30 \mu\text{m}$ . Собранный ячейка помещалась между полюсами электромагнита так, чтобы силовые линии переориентирующего магнитного поля  $H$  были направлены параллельно их поверхностям и перпендикулярно директору нематика  $\mathbf{n}$ . Поляризованное лазерное излучение с плоскостью поляризации, параллельной  $H^*$ , проходило через образец нормально подложкам. С помощью фотодиода регистрировалось изменение оптического пропускания света  $T(H)$  при медленном сканировании переориентирующего магнитного поля  $H$ .

Для определения азимутальной энергии  $W_\phi$  сцепления определялся угол  $\phi$ , отклонения директора нематика от оси легкого ориентирования на поверхности ЖК-ячейки в зависимости от переориентирующего

магнитного поля  $H$  по методике, описанной в [5], из выражения

$$T = T_{\parallel} \cos^2 \varphi_s + T_{\perp} \sin^2 \varphi_s, \quad (1)$$

где  $T_{\parallel}$ ,  $T_{\perp}$ ,  $T$  — оптические пропускания красителя в ориентирующей нематической матрице при поляризациях света параллельно ( $\parallel$ ), перпендикулярно ( $\perp$ ) и под углом  $\varphi_s$  к директору планарно ориентированного ЖК.

Чтобы получить выражение, связывающее угол  $\varphi_s$  и энергию сцепления  $W_{\varphi}$  для рассматриваемого случая, необходимо рассмотреть баланс объемного и поверхностного моментов кручения в жидкокристаллической ячейке. Направим ось  $z$  декартовой системы координат по нормали к полимерной поверхности, а ось  $x$  — параллельно прикладываемому магнитному полю  $H^*$ . Свободную энергию системы на единицу площади запишем как

$$F = \frac{1}{2} \int_0^d \left[ K_{22} \left( \frac{d\varphi}{dz} \right)^2 - \Delta\chi H^2 \sin^2 \varphi \right] dz + F_{S1} + F_{S2}, \quad (2)$$

где  $K_{22}$  — модуль упругости для деформации кручения;  $\Delta\chi$  — анизотропия магнитной восприимчивости;  $d$  — толщина слоя ЖК;  $\varphi$  — угол отклонения директора нематика от начальной ориентации в объеме ячейки;  $F_{S1}$ ,  $F_{S2}$  — компоненты поверхностной энергии нематика на границах с полимером, которые для идентичных подложек представим в виде

$$F_S = F_{S1} = F_{S2} = F_0 + \frac{1}{2} W_{\varphi} \cos^2 \varphi_s, \quad (3)$$

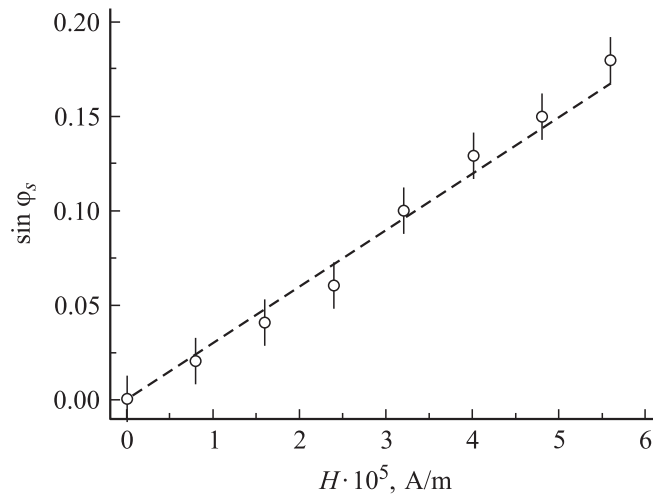
где  $F_0$  — изотропная часть компоненты поверхностной энергии.

Решением функционала (2) будет

$$\frac{d\varphi}{dz} = \sqrt{\frac{\Delta\chi}{K_{22}}} H \cos \varphi. \quad (4)$$

Уравнение равновесия моментов на границе ЖК–полимер для подложки, расположенной при  $z = 0$ , запишется в виде

$$K_{22} \left( \frac{d\varphi}{dz} \right)_0 - W_{\varphi} \sin \varphi_s \cos \varphi_s = 0. \quad (5)$$



**Рис. 3.** Зависимость синуса азимутального угла  $\varphi_s$ , отклонения директора нематика 5СВ от оси легкого ориентирования на поверхности подложки от переориентирующего магнитного поля  $H$ . Точки — эксперимент, пунктирная линия — расчет по формуле (6) при  $W_\varphi = 0.8 \cdot 10^{-5} \text{ J/m}^2$ .

Скомбинировав (4) и (5) при  $\varphi \rightarrow \varphi_s$ , получим уравнение моментов кручения на поверхности

$$\sqrt{K_{22}\Delta\chi}H - W_\varphi \sin \varphi_s = 0. \quad (6)$$

На рис. 3 представлены полученная из выражения (1) по экспериментально измеренным значениям оптического пропускания (точки) и теоретически рассчитанная из уравнения (6) (пунктирная линия) зависимости  $\sin \varphi_s$  от магнитного поля  $H$  для ЖК-ячейки. Определение  $\sin \varphi_s$  осуществлялось в магнитных полях до  $H < 6 \cdot 10^5 \text{ A/m}$ , при которых не нарушается адиабатическая теорема, так как магнитная когерентная длина на порядок меньше длины волны зондирующего лазерного излучения [6]. В пределах экспериментальной ошибки, при значениях  $K_{22} = 3.1 \cdot 10^{-12} \text{ Н}$ ,  $\Delta\chi = 1.19 \cdot 10^{-7}$ , принятых по данным работ [7,8], экспериментальная и теоретическая зависимости совпадают при значении  $W_\varphi = 0.8 \cdot 10^{-5} \text{ J/m}^2$ . Данное значение азимутальной энергии сцепления близко к значению  $W_\varphi = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ J/m}^2$ , полученному

для нематика 5СВ на поверхности поливинилового спирта, обработанной с помощью однонаправленного натирания [9].

Таким образом, в данной работе представлен новый способ получения однородно ориентированного слоя нематика в плоскопараллельной ячейке, приготовленной по растворяющей технологии в магнитном поле. Стабильность ориентации и величина азимутальной энергии сцепления сравнимы с известным методом натирания полимерных покрытий, обуславливая перспективность разработанного способа для практических применений.

Работа выполнена при поддержке грантов: РФФИ № 05-03-32852, НШ-6612.2006.3, РНП.2.1.1.1814, № 8.1 и 2.10.2 РАН, № 33 СО РАН.

## Список литературы

- [1] *Коньяр Ж.* Ориентация нематических жидких кристаллов и их смесей. Минск: Университетское, 1986. 104 с. (*Cognard J.* // *Alignment of nematic Liquid Crystals and Their Mixtures.* London, New York, Paris: Gordon and Breach Science Publishers, 1982).
- [2] *Patent 4.685.771 US, МКИ G02F 1/13.* // Liquid crystal display material comprising a liquid crystal dispersion in a thermoplastic resin // J. L. West, J.W. Doane, S. Zumer. Publ. 11.08.87.
- [3] *Margerum J.D., Lackner A.M., Ramos E., Lim K.-C., Smith W.H.* // *Liq. Cryst.* 1989. V. 5. P. 1477–1487.
- [4] *Назаров В.Г., Паршин А.М., Гуняков В.А., Зырянов В.Я., Шабанов В.Ф.* // *Оптический журнал.* 2005. Т. 72. С. 28–31.
- [5] *Гуняков В.А., Паршин А.М., Хрусталева Б.П., Шабанов В.Ф.* // *Оптический журнал.* 1997. Т. 64. С. 96–98.
- [6] *Barbero G., Miraldi E., Oldano S., Rastello M.L., Taverna Valabrega P.* // *J. Phys.* 1986. V. 47. P. 1411–1416.
- [7] *Bunning J.D., Faber T.I., Sherrell P.L.* // *J. Phys.* 1981. V. 42. P. 1175–1182.
- [8] *Bradshaw M.J., Raynes E.P., Bunning J.D., Faber T.E.* // *J. Phys.* 1985. V. 46. P. 1513–1520.
- [9] *Imura Ya., Kobayashi N., Kobayashi N.* // *Jpn. J. Appl. Phys. Pt. 2.* 1994. V. 33. P. L 434–L 436.