

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРИЕНТАЦИОННЫХ СТРУКТУР И ОПТИЧЕСКИХ
ТЕКСТУР ХОЛЕСТЕРИКА, ИНДУЦИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМОЙ
ИОННОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЦЕПЛЕНИЯ**

**В.С. Сутормин¹, И.В. Тимофеев^{1,2}, М.Н. Крахалев^{1,2}, О.О. Прищеп^{1,2},
В.Я. Зырянов¹**

¹Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск

² Сибирский федеральный университет, Красноярск

e-mail: sutormin@iph.krasn.ru

Исследована переориентация холестерического жидкого кристалла с большим шагом геликоида, индуцированная электроуправляемой ионной модификацией поверхностного сцепления. В исходном состоянии в жидкокристаллической ячейке реализовывалась гомеотропная ориентация директора. При воздействии постоянного электрического поля в ячейке формировалась закрученная гомеопланарная структура холестерика.

Холестерические жидкие кристаллы (ХЖК) имеют специфические оптические свойства, проявляющиеся вследствие спирального упорядочения директора [1], что делает ХЖК привлекательными для различных практических приложений, таких как дисплеи, модуляторы света, управляемые дифракционные решетки, жидкокристаллические лазеры и др. При этом работа данных устройств основана на изменении ориентационной структуры холестерика, которая, как правило, осуществляется непосредственным воздействием электрического поля на объем жидкого кристалла. В процессе переориентации директора в объеме ячейки условия сцепления ЖК на межфазной границе остаются неизменными.

Однако переориентация ЖК может быть осуществлена и посредством изменения поверхностного сцепления при воздействии внешних факторов, таких как температура, УФ-излучение или электрическое поле [2-4]. Исследование переориентации директора, вызванной модификацией поверхностного сцепления, интересно как с фундаментальной, так и с практической точки зрения, поскольку могут быть реализованы ориентационно-структурные переходы в ЖК, которые

невозможно получить с использованием эффекта Фредерикса. Нами разрабатывается метод электроуправляемой модификации поверхностного сцепления ЖК с использованием ионных сурфактантов, который был применен ранее для управления ориентационной структурой нематиков в каплях [5] и слоях [6]. Представленная работа посвящена развитию данного метода управления ориентацией ЖК применительно к ячейкам, заполненным холестериком с большим шагом геликоида.

Объектом исследования являлись плоские ЖК ячейки, состоящие из двух стеклянных подложек с прозрачными ИТО электродами на внутренних сторонах и слоя холестерического ЖК между ними. В качестве ориентирующего покрытия на электроды предварительно наносились полимерные пленки поливинилового спирта (ПВС), пластифицированные глицериновым компаундом (Гл) в весовом соотношении ПВС : Гл = 1 : 0.383. Нанесение полимерных пленок на подложки производилось методом центрифугирования, а ось легкого ориентирования задавалась механическим натиранием поверхности полимера. Толщина зазора d в ячейке задавалась тефлоновыми прокладками (спейсерами) и измерялась интерференционной методикой с использованием спектрометра. В качестве ХЖК использовался нематик 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ) допированный хиральной добавкой холестерилацетатом в весовом соотношении от 1 : 0.0030 до 1 : 0.0155, соответственно. В нематик предварительно добавлялся катионный сурфактант цетилтриметиламмоний бромид (ЦТАБ) в весовом соотношении 5ЦБ : ЦТАБ = 1 : 0.002. ЦТАБ, растворяясь в жидком кристалле, распадается на положительно заряженные поверхностно-активные ионы ЦТА⁺ и отрицательные ионы Br⁻. В используемых смесях шаг холестерика p варьировался в диапазоне от 10 до 51 мкм, а соотношение d/p имело значение от 0.16 до 0.85. Экспериментальное исследование образцов ЖК ячеек проводилось с помощью метода поляризационной микроскопии и электрооптических измерений.

На рисунке 1 представлена схема ориентационно-структурного перехода в ЖК ячейке на основе холестерика, допированного ионным сурфактантом, при воздействии постоянного электрического поля. Адсорбция поверхностно-активных катионов, находящихся в ЖК, приводит к тому, что при достаточной концентрации они формируют слои на верхней и нижней подложке ячейки, которые экранируют планарное ориентирующее действие полимерных покрытий и задают нормальные

(гомеотропные) условия сцепления для жидкого кристалла. Формирование однородной гомеотропной или закрученной структуры в слое холестерика с жесткими нормальными условиями сцепления зависит от соотношения толщины слоя ЖК к шагу холестерика d/p . Пороговое значение перехода $(d/p)_{\text{пор}}$ определяется следующим выражением [7]:

$$(d/p)_{\text{пор}} = K_{33}/(2K_{22}) \quad (1)$$

где K_{33} и K_{22} – упругие модули продольного изгиба и кручения, соответственно. Для случая $d/p < (d/p)_{\text{пор}}$ в ЖК ячейке с жесткими нормальными условиями сцепления холестерическая спираль полностью раскручена, а при $d/p > (d/p)_{\text{пор}}$ формируется закрученная ориентационная структура. Для типичных материалов пороговое значение $(d/p)_{\text{пор}}$ имеет значение около 1 [8]. В исследуемых образцах ЖК ячеек $d/p < 1$, вследствие этого в исходном состоянии холестерическая спираль полностью раскручена (рис. 1а).

При воздействии постоянного электрического поля ионы смещаются к соответствующим электродам, и на подложке с электродом-анодом происходит уменьшение концентрации поверхностно-активных катионов. В результате на данной подложке восстанавливаются планарные условия сцепления, характерные для ориентирующего покрытия, и в ЖК ячейке происходит переход к закрученной гибридной (гомеопланарной) конфигурации директора (рис. 1б). Данный ориентационно-структурный переход приводит к изменению оптической текстуры ЖК ячейки, расположенной между скрещенными поляризаторами (рис. 2). Соотношение d/p в представленной ячейке составляло 0.4. В отсутствие внешнего электрического поля оптическая текстура слоя ЖК в скрещенных поляризаторах представляла однородную темную область (рис. 2а) вне зависимости от угла поворота образца на столике микроскопа, что свидетельствовало о формировании в ячейке гомеотропной ориентации директора (рис. 1а). Данная оптическая текстура сохранялась до величины постоянного напряжения $U = 2.3$ В, при котором начиналось увеличение светопропускания. В диапазоне управляющих напряжений $2.3 \leq U \leq 3.4$ В оптическая текстура ячейки представляла однородную светлую область (рис. 2б). При этом вращение образца на столике микроскопа относительно скрещенных поляризаторов не приводило к темной оптической текстуре. Данный факт демонстрируют оптические текстуры на рис. 2б и рис. 2в, где угол α между

направлением натирания и поляризатором составлял 45° и 0° , соответственно. Это свидетельствовало о формировании в ячейке закрученной конфигурации директора (рис. 1б). Кроме того, при $\alpha = 0^\circ$ (рис. 2в) вращение анализатора также не позволяло получить темную оптическую текстуру. Это показывает, что в данном случае свет после прохождения слоя с гибридно-упорядоченным холестериком перестает быть линейно-поляризованным. При достижении $U = 3.5$ В в ЖК ячейке начинали формироваться домены, которые отчетливо видны при $U = 3.7$ В (рис. 2г).

Такие же изменения оптической текстуры при приблизительно тех же управляющих напряжениях наблюдались в ЖК ячейках с соотношениями $d/p = 0.16$ и 0.85 . Следует отметить, что наблюдаемые изменения оптической текстуры не могут быть вызваны действием эффекта Фредерикса, поскольку в эксперименте использовался ЖК с положительной диэлектрической анизотропией. В этом случае эффект Фредерикса мог бы привести только к стабилизации исходной гомеотропной конфигурации директора.

На рисунке 3 представлена осциллограмма оптического отклика ЖК ячейки на прямоугольный импульс электрического поля амплитудой 2.8 В и длительностью 10 с. В данном случае ЖК ячейка располагалась между скрещенными поляризаторами так, чтобы направление натирки подложек совпадало с поляризацией падающего света ($\alpha = 0^\circ$). Величина светопропускания определялась как $T = I_t/I_0$, где I_0 – интенсивность излучения, прошедшего первый поляризатор, I_t – его интенсивность после второго поляризатора. В исходном состоянии светопропускание системы близко к нулю, что обусловлено гомеотропной ориентацией директора. При подаче электрического импульса происходило увеличение светопропускания системы, вызванное формированием в ЖК ячейке структуры гибридно-упорядоченного холестерика, при этом светопропускание в насыщении достигало значения 59%. Время включения τ_{on} , определенное как интервал между началом действия электрического импульса и увеличением светопропускания до 90% от величины в насыщении, составляло 0.3 с. Время выключения τ_{off} , определенное как промежуток времени между окончанием действия электрического импульса и уменьшением светопропускания до 10% от величины в насыщении, составляло 1.21 с. В диапазоне управляющих напряжений $2.6 \leq U \leq 3.2$ В время включения τ_{on} оставалось

практически неизменным, а время выключения τ_{off} возросло с 0.51 до 1.75 с. Для случая $\alpha = 45^\circ$ τ_{on} имело значение около 0.13 с, а τ_{off} возросло с 0.59 до 1.75 с.

В работе впервые описан ориентационно-структурный переход в слое холестерического жидкого кристалла с большим шагом геликоида, вызванный электроуправляемой ионной модификацией поверхностного сцепления. Показано, что постоянное электрическое поле индуцирует в ЖК ячейке переход от гомеотропной конфигурации директора к закрученной гибридной структуре. При этом процесс переориентации имеет пороговый характер и в определенном диапазоне управляющих напряжений проходит без возникновения электрогидродинамических неустойчивостей. Время включения для исследованных ЖК ячеек имело значение порядка десятых долей секунды, а время выключения – порядка секунды.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Красноярского края (грант 16-42-240704 р_а). В.С. Сутормин благодарен РФФИ за поддержку исследований по грантам № 16-32-60036 мол_а_дк и № 16-32-00164 мол_а.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Blinov L.M., Chigrinov V.G.* Electrooptics Effects in Liquid Crystal Materials. New York, Springer; 1994, 464 p.
2. *Ryschenkow G., Kleman M.* // J. Chem. Phys. 1976. V. 64. № 1. P. 404.
3. *Ichimura K., Suzuki Y., Seki T., Hosoki A., Aoki K.* // Langmuir. 1988. V. 4. Iss. 5. P. 1214.
4. *Komitov L., Helgee B., Felix J., Matharu A.* // Appl. Phys. Lett. 2005. V. 86. Iss. 2. P. 023502.
5. *Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепина О.О., Шабанов А.В.* // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т. 86. Вып. 6. С. 440.
6. *Сутормин В.С., Крахалев М.Н., Прищепина О.О., Зырянов В.Я.* // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 96. Вып. 8. С. 562.
7. *Зельдович Б.Я., Табирян Н.В.* // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 34. Вып. 8. С. 428.
8. *Oswald P., Baudry J., Pirkl S.* // Phys. Rep. 2000. V. 337. Iss. 1-2. P. 67.

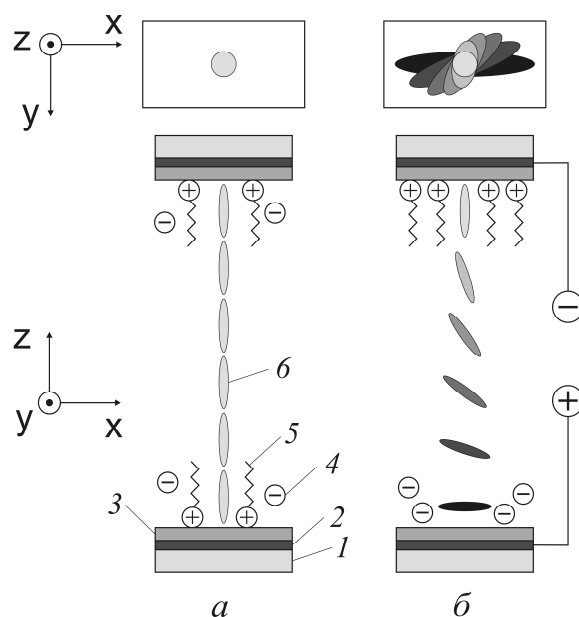


Рис. 1. Схема ориентационно-структурного перехода, индуцированного постоянным электрическим полем, в ЖК ячейке, заполненной холестериком с добавкой ионного сурфактанта. 1 – стеклянная подложка, 2 – ITO, 3 – полимерная пленка, 4 – ионы Br^- , 5 – ионы CTA^+ , 6 – ЖК. а) гомеотропно ориентированный слой ЖК в отсутствие электрического поля. б) гибридно-упорядоченный слой холестерика, формирующийся вследствие изменения поверхностного сцепления от гомеотропного к планарному на подложке с электродом-анодом. Конфигурация директора в ЖК ячейке представлена в плоскости x - y (верхний ряд) и в плоскости x - z (нижний ряд).

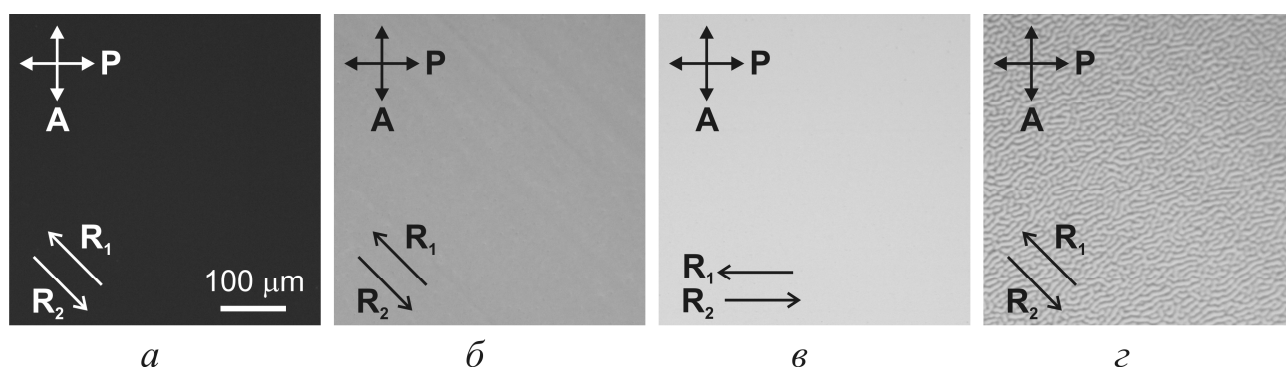


Рис. 2. Фотографии оптических текстур слоя холестерика, допированного ионным сурфактантом, сделанные при различных значениях управляющего напряжения U и углах α между направлением натирки нижней подложки (R_1) и поляризатором (P): а) $U = 0$ В, $\alpha = 45^\circ$; б) $U = 2.8$ В, $\alpha = 45^\circ$; в) $U = 2.8$ В, $\alpha = 0^\circ$; з) $U = 3.7$ В, $\alpha = 45^\circ$. Толщина слоя ЖК 8.1 мкм. Шаг холестерика 21 мкм. A , R_2 – направления анализатора и натирания верхней подложки, соответственно.

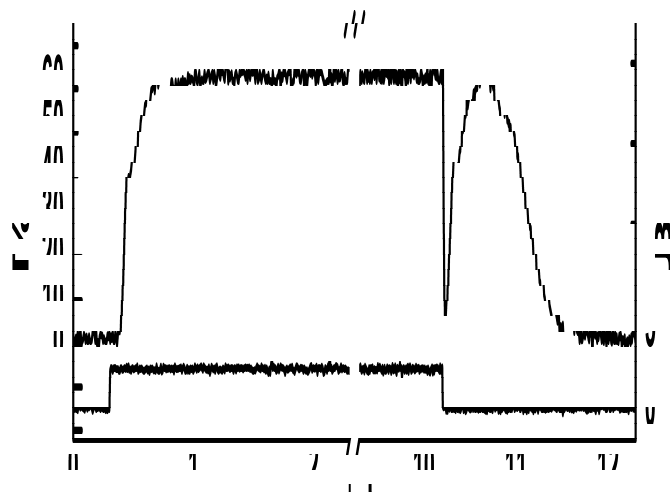


Рис. 3. Осциллограмма электрооптического отклика ЖК ячейки, заполненной холестериком с добавкой ионного сурфактанта, в скрещенных поляризаторах. Направление натирания подложек совпадает с поляризатором. Амплитуда приложенного электрического импульса 2.8 В. Отношение толщины слоя ЖК к шагу холестерика $d/p = 0.4$.

**TRANSFORMATION OF ORIENTATIONAL STRUCTURES AND OPTICAL
TEXTURES OF CHOLESTERIC INDUCED BY ELECTRICALLY CONTROLLED
IONIC MODIFICATION OF SURFACE ANCHORING**

V.S. Sutormin¹, I.V. Timofeev^{1,2}, M.N. Krakhalev^{1,2}, O.O. Prishchepa^{1,2},

V.Ya. Zyryanov¹

¹Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS

Akademgorodok 50, bld. 38, Krasnoyarsk, 660036 Russia

²Siberian Federal University

Svobodny pr. 79, Krasnoyarsk 660041, Russia

A reorientation of cholesteric liquid crystal with high helicoid pitch induced by the electrically controlled ionic modification of the surface anchoring has been studied. In initial state the homeotropic director orientation is realized within the liquid crystal cell. The applied steady voltage leads to the formation of the twisted homeoplanar structure of cholesteric.