

Краткое сообщение

УДК 532.783

АЗИМУТАЛЬНЫЙ ПОВОРОТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИНЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ В СЛОЕ ХОЛЕСТЕРИКА С ПЛАНАРНО-КОНИЧЕСКИМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

О. О. Прищепа^{1*}, В. С. Сутормин^{1,2}, М. Н. Крахалев^{1,2}, А. А. Иваненко¹, А. Д. Шефер¹, В. Я. Зырянов¹

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

²*Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

ИНФОРМАЦИЯ

История статьи:

Поступила 1.07.2022

Одобрена 1.08.2022

Принята 8.08.2022

Ключевые слова:

холестерик,
линейный дефект,
периодическая структура,
дифракция,
поверхностное сцепление,
конические граничные
условия,
оптическая текстура

АННОТАЦИЯ

Исследован процесс формирования периодической структуры линейных дефектов в слое холестерика с планарно-коническими граничными условиями, происходящий под действием электрического поля при релаксации из гомеотропного состояния. Показано, что, прикладывая напряжение в диапазоне $0 \leq U \leq 1,8$ В, можно получить периодические структуры, ориентированные под различными азимутальными углами в пределах 90° , зависящими от величины поля.

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.3.111

Для цитирования:

Прищепа О. О., Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Иваненко А. А., Шефер А. Д., Зырянов В. Я. Азимутальный поворот периодической структуры линейных дефектов в слое холестерика с планарно-коническими граничными условиями // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2022. Т. 22, № 3. С. 111–115.

*Адрес для переписки: p_oksana@iph.krasn.ru

© Прищепа О. О., Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Иваненко А. А., Шефер А. Д., Зырянов В. Я., 2022

Brief Communication**AZIMUTHAL ROTATION OF PERIODIC STRUCTURE OF LINEAR DEFECTS
IN CHOLESTERIC LAYER UNDER PLANAR-CONICAL BOUNDARY CONDITIONS**

O. O. Prishchepa^{1*}, V. S. Sutormin^{1,2}, M. N. Krakhalev^{1,2}, A. A. Ivanenko¹, A. D. Shefer¹, V. Ya. Zyryanov¹

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

²*Institute of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

ARTICLE INFO:**ABSTRACT****Article history:**

Received 1 July 2022

Approved 1 August 2022

Accepted 8 August 2022

Electrically induced azimuthal rotation of periodic structure of linear defects formed within cholesteric layer under planar-conical boundary conditions during relaxation from homeotropic state has been studied. It has been shown that when applying a voltage in the range $0 \leq U \leq 1.8$ V, the periodic structures oriented at different azimuthal angles (within 90°) depending on the field values can be formed.

Key words:

cholesteric,
linear defect,
periodic structure,
diffraction,
surface anchoring,
conical boundary conditions,
optical texture

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.3.111

For citation:

Prishchepa O. O., Sutormin V. S., Krakhalev M. N., Ivanenko A. A., Shefer A. D., Zyryanov V. Ya. Azimuthal rotation of periodic structure of linear defects in cholesteric layer under planar-conical boundary conditions. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2022, **22** (3), 111–115 (in Russ.).

*Corresponding author: p_oksana@iph.krasn.ru

© Prishchepa O. O., Sutormin V. S., Krakhalev M. N., Ivanenko A. A., Shefer A. D., Zyryanov V. Ya., 2022

Введение

Холестерические жидкие кристаллы (ХЖК) являются весьма интересным объектом исследования благодаря их спиральной ориентационной структуре и могут применяться как дефлекторы светового пучка [1], управляемые зеркала [2], световые затворы [3], лазерные элементы [4] и элементы дифракционных решеток [5]. ХЖК может различным образом упорядочиваться в слоях или каплях в зависимости от шага холестерической спирали и его соотношения с размером занимаемой полости, а также от условий сцепления на границе раздела. ХЖК при планарных, гомеотропных и гомеопланарных граничных условиях достаточно хорошо изучены. Известно, что при гомеотропном сцеплении для ХЖК была реализована фазовая дифракционная решетка, которая характеризовалась большим углом дифракции и низким рабочим напряжением изменения дифракционной эффективности [6].

В данной работе нами исследуются слои ХЖК с гибридными планарно-коническими граничными условиями, при которых формируется периодическая структура линейных дефектов, представляющая собой фазовую дифракционную решетку. Такая решетка, вследствие азимутального вырождения директора на границе с коническим поверхностным сцеплением, может быть повернута на некоторый угол при приложении низкого управляющего напряжения [7], что делает их привлекательными для практических приложений. Целью работы является получение однородной периодической структуры ХЖК с возможностью поворота решетки на угол до 90° .

Эксперимент

Объектом исследования являлись ХЖК-ячейки, состоящие из двух стеклянных подложек с ITO электродами на внутренних сторонах и слоя холестерика между ними. На одной из подложек ITO слой представлял собой чередующиеся параллельные полосы шириной 530 мкм , расположенные на расстоянии 75 мкм друг от друга. В качестве холестерика использовалась нематическая смесь LN-396 (Белорусский государственный технологический университет), допированная $2,73 \%$ холестерилацетата (*Sigma Aldrich*) по весу. Толщина d слоя ХЖК составляла $4,5 \text{ мкм}$, а собственный шаг спирали холестерика p_0 был равен $5,28 \text{ мкм}$. Отношение $d/p_0 = 0,85$. На

электроды методом центрифугирования наносилились ориентирующие полимерные пленки. Подложка с ITO слоем в виде полос покрывалась поливиниловым спиртом (*PVA*), а со сплошным ITO – полиизобутил метакрилатом (*PiBMA*). После нанесения пленка *PVA* однонаправленно натиралась для задания оси легкого ориентирования, в то время как пленка *PiBMA* не подвергалась дополнительной обработке. Изменение конфигурации директора при приложении к ячейке переменного электрического поля исследовалось методом поляризационной микроскопии.

Результаты и их обсуждение

В исходном состоянии до воздействия электрического поля оптическая текстура слоя ХЖК в изготовленных ячейках при наблюдении в скрещенных поляризаторах микроскопа представляла собой области, в которых линейные дефекты ориентированы под разными углами γ к направлению натирки пленки *PVA* R (рис. 1, *a*).

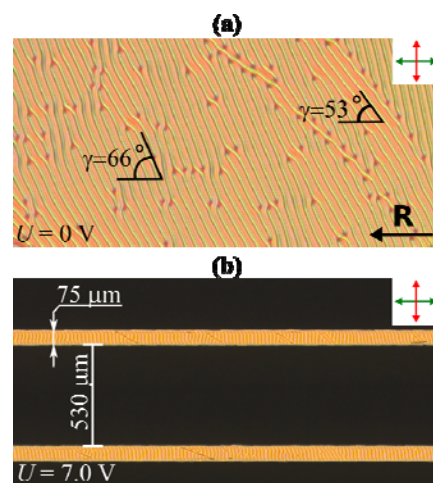


Рис. 1. Микрофотографии ХЖК-слоя в скрещенных поляризаторах при планарно-конических граничных условиях в исходном состоянии (*a*) и при $U = 7,0 \text{ В}$ (*b*). Красная и зеленая стрелки показывают ориентацию анализатора и поляризатора, соответственно. Направление натирки пленки *PVA* R показано черной одинарной стрелкой. γ – угол между линейными дефектами и направлением натирки R

Fig. 1. Microphotographs of ChLC layer under planar-conical boundary conditions in the initial state (*a*) and at $U = 7.0 \text{ V}$ (*b*), taken in crossed polarizers. The red and green arrows show the analyzer and polarizer orientation, respectively. The *PVA* film rubbing direction R is shown by the single black arrow. γ is the angle between the linear defects and the rubbing direction R

Структурное упорядочение директора в области линейных дефектов детально рассмотрено в [7]. Прикладывая к подложкам переменное (1 кГц) электрическое напряжение $U = 7,0$ В, можно переориентировать ХЖК вдоль поля, вследствие чего в скрещенных поляризаторах в зоне перекрытия электродов будет наблюдаться однородная темная область (гомеотропная ориентация) (рис. 1, *b*).

Из этого однородного гомеотропного состояния, уменьшая величину приложенного поля, можно получить упорядоченную периодическую структуру, которая, по сути, представляет собой фазовую дифракционную решетку (рис. 2, *a-c*). Линейные дефекты появляются из участков, где электрическое поле не действует (рис. 1, *b*), постепенно заполняя пространство в зоне перекрытия электродов. При этом ориентация формирующейся решетки относительно направления натирки R зависит от величины напряжения, до которого происходит уменьшение от значения 7,0 В. Если $U = 0$ В, то линейные дефекты формируются под углом $\gamma = 87^\circ$ (рис. 2, *a*), в то время как при $U = 0,9$ В

решетка формируется под углом $\gamma = 70^\circ$ (рис. 2, *b*). Из состояния, когда директор ХЖК полностью ориентирован вдоль электрического поля (рис. 1, *b*), появление периодической структуры под действием поля происходит только в небольшом диапазоне напряжений $0 \leq U \leq 1,8$ В. При $U = 1,8$ В линии появляются значительно медленнее, по сравнению с процессом при $U = 0$ В, а их ориентация почти параллельна направлению R ($\gamma = -3^\circ$). Зависимость угла γ от напряжения электрического поля, прикладываемого в процессе роста линий (рис. 2, *e*), показывает возможность управления ориентацией дифракционной решетки, получаемой в ХЖК слое при планарно-конических граничных условиях за счет азимутального вырождения директора на границе с коническим сцеплением, в диапазоне углов $-3^\circ \leq \gamma \leq 87^\circ$. Дифракционная картина для света с длиной волны $\lambda = 633$ нм на полученных решетках, позволяет наблюдать дифракционные максимумы до 4 порядка (рис. 2, *d*) и вместе с решеткой может быть повернута на 90° .

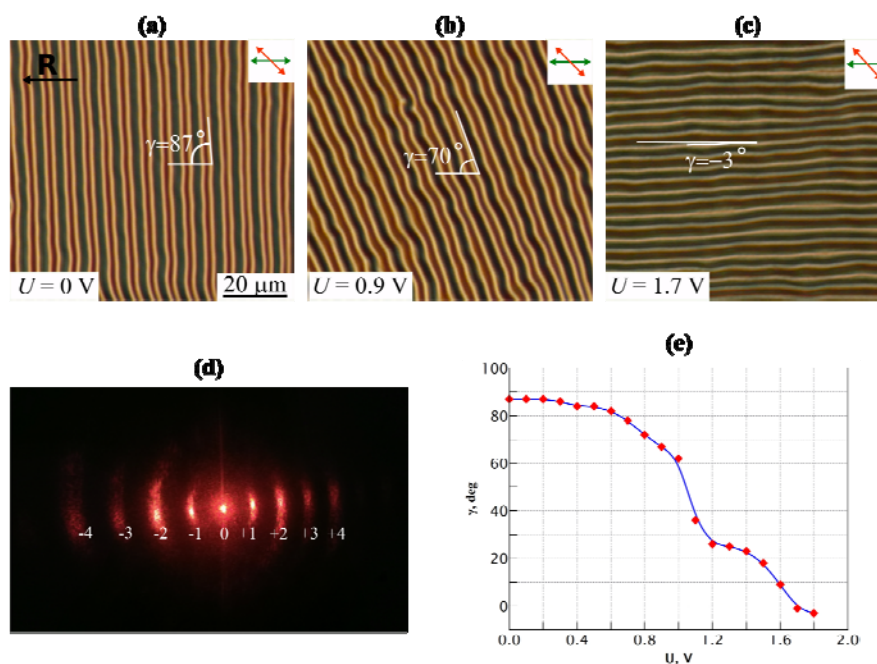


Рис. 2. Микрофотографии ХЖК-слоя, сделанные после формирования периодической структуры при $U = 0$ В (*a*), $U = 0,9$ В (*b*) и $U = 1,7$ В (*c*); угол между поляризатором и анализатором составляет 45° . Фотография дифракционной картины решетки, сформированной при $U = 0$ В (*d*). Зависимость угла γ между линейными дефектами и направлением натирки R (черная стрелка на рис. 2, *a*) от напряжения U (*e*)

Fig. 2. Microphotographs of ChLC layer taken after the formation of periodic structure at $U = 0$ В (*a*), $U = 0.9$ В (*b*) and $U = 1.7$ В (*c*); the angle between polarizer and analyzer is 45° . The diffraction pattern of grating formed at $U = 0$ В (*d*). The dependence of angle γ between linear defects and the rubbing direction R (shown by black arrow, in Fig. 2, *a*) on voltage U (*e*)

Выводы

Исследован процесс азимутального поворота периодической структуры линейных дефектов в слое холестерика с планарно-коническими граничными условиями под действием электрического поля. В исходном состоянии в слое холестерика отсутствует однородная ориентация линейных дефектов. Показано, что при $U = 7,0$ В можно упорядочить директор сначала вдоль электрического поля, а затем, уменьшая приложенное напряжение до значений в диапазоне $0 \leq U \leq 1,8$ В, создать периодическую структуру линейных дефектов с различным углом γ наклона линий по отношению к направлению натирки, который можно варьировать в пределах 90° . Таким образом, мы показали возможность создания электроуправляемой фазовой дифракционной решетки, перспективной для использования в устройствах интегральной оптики в качестве дефлекторов, способной азимутально поворачивать световые лучи на угол 90° .

Список источников / References

1. Shang X., Meeus L., Cuypers D., De Smet H. Fast switching cholesteric liquid crystal optical beam deflector with polarization independence. *Sci. Rep.*, 2017, **7**, 6492. DOI:10.1038/S41598-017-06944-z.
2. Kim K.-H., Jin H.-J., Park K.-H., Lee J.-H., Kim J.C., Yoon T.-H. Long-pitch cholesteric liquid crystal cell for switchable achromatic reflection. *Opt. Express*, 2010, **18**, 16745–16750. DOI: 10.1364/OE.18.016745.
3. Kumar P., Kang S.-W., Lee S.-H. Advanced bistable cholesteric light shutter with dual frequency nematic liquid crystal. *Opt. Mater. Express*, 2012, **2**, 1121–1134. DOI: 10.1364/OME.2.001121.
4. Cao W., Munos A., Palfy-Muhoray P., Taheri B. Lasing in a three-dimensional photonic crystal of the liquid crystal blue phase II. *Nat. Mater.* 2002, **1**, 111–113. DOI: 10.1038/nmat727.
5. Subacius D., Shiyankovskii S.V., Bos P., Lavrentovich O.D. Cholesteric gratings with field-controlled period. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **71**, 3323. DOI: 10.1063/1.120325.
6. Sohn H.-J., Oh S.-W., Choi Y., Ji S.-M., Yoon T.-H. A switchable cholesteric phase grating with a low operating voltage. *Crystals*, 2021, **11**, 100. DOI: 10.3390/cryst11020100.

7. Prishchepa O.O., Krakhalev M.N., Rudyak V.Yu., Sutormin V.S., Zyryanov V.Ya. Electrically turning periodic structures in cholesteric layer with conical-planar boundary conditions. *Sci. Rep.*, 2021, **11**, 8409. DOI: 10.1038/s41598-021-87854-z.

Вклад авторов:

- ¹Прищепина О. О. – проведение исследований, написание текста статьи.
- ²Сутормин В. С. – проведение исследований, редактирование текста статьи.
- ³Крахаев М. Н. – проведение исследований, редактирование текста статьи.
- ⁴Иваненко А. А. – проведение исследований, редактирование текста статьи.
- ⁵Шефер А. Д. – проведение исследований, редактирование текста статьи.
- ⁶Зырянов В. Я. – научное руководство, концепция исследования, редактирование текста статьи.

Contribution of the authors:

- ¹Prishchepa O. O. – conducting research, writing the text of the article.
- ²Sutormin V. S. – conducting research, editing the text of the article.
- ³Krakhalev M. N. – conducting research, editing the text of the article.
- ⁴Ivanenko A. A. – conducting research, editing the text of the article.
- ⁵Shefer A. D. – conducting research, editing the text of the article.
- ⁶Zyryanov V. Ya. – scientific leadership, research concept, editing the text of the article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

¹<https://orcid.org/0000-0003-2433-2571>

²<https://orcid.org/0000-0003-4695-5569>

³<https://orcid.org/0000-0003-3519-9497>

⁶<https://orcid.org/0000-0001-7373-3342>

Поступила 1.07.2022; одобрена 1.08.2022; принята 8.08.2022.
Received 1.07.2022; approved 1.08.2022; accepted 8.08.2022.