

Физика

Краткое сообщение

УДК 532.783

ОРИЕНТАЦИОННЫЙ ПЕРЕХОД В СЛОЕ НЕМАТИКА С ГОМЕОТРОПНО-КОНИЧЕСКИМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ, ИНДУЦИРОВАННЫЙ ИОННОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЦЕПЛЕНИЯ

Виталий Сергеевич Сутормин^{1,2*}, Михаил Николаевич Крахалев^{1,2}, Оксана Олеговна Прищепа¹,
Виктор Яковлевич 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

АНОТАЦИЯ

История статьи:

Поступила 28.06.2022

Одобрена 25.07.2022

Принята 29.07.2022

Ключевые слова:

нематик,
ионный сурфактант,
поверхностное сцепление,
конические граничные
условия,
конфигурация директора,
оптическая текстура

Исследована трансформация ориентационной структуры в слое нематика с гомеотропно-коническими граничными условиями, индуцированная электроуправляемой ионной модификацией поверхностного сцепления. Обнаружено, что изменение азимутального угла директора на подложке с коническим сцеплением возможно осуществить путем модификации граничных условий на второй подложке.

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.3.105

Для цитирования:

Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Прищепа О. О., Зырянов В. Я. Ориентационный переход в слое нематика с гомеотропно-коническими граничными условиями, индуцированный ионной модификацией поверхностного сцепления // Жидк. крист. и их практич. использ. 2022. Т. 22, № 3. С. 105–110.

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

© Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Прищепа О. О., Зырянов В. Я., 2022

Physics

Brief Communication

ORIENTATIONAL TRANSITION IN NEMATIC LAYER WITH HOMEOTROPIC-CONICAL BOUNDARY CONDITIONS INDUCED BY IONIC MODIFICATION OF SURFACE ANCHORING

Vitaly S. Sutormin^{1,2*}, Mikhail N. Krakhalev^{1,2}, Oxana O. Prishchepa¹, Victor Ya. Zyryanov¹

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

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

ARTICLE INFO:

ABSTRACT

Article history:

Received 28 June 2022

Approved 25 July 2022

Accepted 29 July 2022

The transformation of the orientational structure induced by the electrically controlled ionic modification of surface anchoring in the nematic layer with homeotropic-conical boundary conditions has been considered. It has been found that the change in the azimuthal angle of director at the substrate with conical anchoring can be realized by modification of boundary conditions at the second substrate.

Key words:

nematic,
ionic surfactant,
surface anchoring,
conical boundary conditions,
director configuration,
optical texture

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.3.105

For citation:

Sutormin V. S., Krakhalev M. N., Prishchepa O. O., Zyryanov V. Ya. Orientational transition in nematic layer with homeotropic-conical boundary conditions induced by ionic modification of surface anchoring. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2022, **22** (3), 105–110 (in Russ.).

*Corresponding author: sutormin@iph.krasn.ru

© Sutormin V. S., Krakhalev M. N., Prishchepa O. O., Zyryanov V. Ya., 2022

Введение

На сегодняшний день жидкокристаллические ячейки нашли широкое применение в различных оптоэлектронных устройствах. Оптические свойства таких ячеек зависят от реализующейся ориентационной структуры жидкого кристалла (ЖК), которая в свою очередь определяется главным образом условиями сцепления ЖК на подложках. При наклонном сцеплении возможна ситуация, когда полярный угол директора на межфазной границе имеет фиксированное значение, однако его азимутальная ориентация вырождена. В таком случае говорят о коническом сцеплении [1] и ЖК системы с такими граничными условиями имеют дополнительную степень свободы, связанную с возможностью азимутального поворота директора на межфазной границе. Данная особенность, к примеру, может быть использована для разработки электроуправляемого вращателя поляризации света [2]. Исследование модификации граничных условий в ЖК системах с коническим сцеплением интересно в плане реализации новых ориентационно-структурных переходов. В данной работе рассмотрены ориентационно-структурные превращения, происходящие в слое нематика в присутствии одновременно электроуправляемой ионной модификации поверхностного сцепления [3] на одной подложке и свободного азимутального поворота директора на другой подложке с коническими граничными условиями [4].

Эксперимент

Объектом исследования являлись ЖК-ячейки, состоящие из двух стеклянных подложек с ITO электродами на внутренних сторонах и слоя нематика между ними. В качестве ЖК использовалась нематическая смесь *LN-396* (Белорусский государственный технологический университет), которая допировалась катионным сурфактантом *цетилтрииметиламмоний бромидом*

(СТАВ) в весовом соотношении *LN-396* : СТАВ = 1 : 0,007. Толщина слоя ЖК составляла 5 мкм. На электроды методом центрифugирования наносились ориентирующие полимерные пленки. Одна из подложек покрывалась поливиниловым спиртом (*PVA*) с добавкой глицеринового компаунда (*Gl*) в весовом соотношении *PVA* : *Gl* = 1 : 0,485, а другая – полизобутил метакрилатом (*PiBMA*). После нанесения пленка *PVA+Gl* односторонне натиралась для задания оси легкого ориентирования, в то время как пленка *PiBMA* не подвергалась дополнительной обработке. Изменение конфигурации директора при приложении к ячейке постоянного напряжения исследовалось методом поляризационной микроскопии.

Результаты и их обсуждение

В исходном состоянии, при наблюдении в геометрии скрещенных поляризаторов, ЖК-ячейка характеризовалась неоднородной по площади интенсивностью проходящего света (рис. 1, *a,b*). Приложение постоянного напряжения в случае, когда подложка, покрытая пленкой *PVA+Gl*, являлась электродом-анодом, вызывало трансформацию наблюданной оптической текстуры. Данное изменение носило пороговый характер и начиналось с напряжения 2,2 В, а при 2,5 В формировалась однородная текстура (рис. 1, *c,d*), максимально затемняющаяся при направлении натирки *R* пленки *PVA+Gl*, совпадающим с направлением одного из поляризаторов (рис. 1, *c*), и имеющая максимальную яркость при угле между *R* и направлением поляризатора равном 45° (рис. 1, *d*). Выключение электрического поля приводило к обратному формированию неоднородной оптической текстуры, отличной от исходной. В случае обратной полярности приложенного постоянного напряжения, когда подложка с пленкой *PVA+Gl* являлась электродом-катодом, изменений оптической текстуры не наблюдалось.

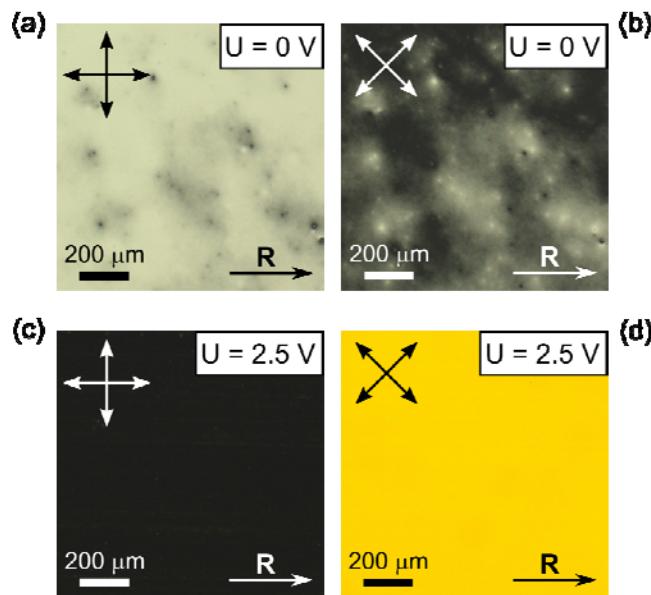


Рис. 1. Микрофотографии слоя ЖК в исходном состоянии (верхний ряд) и при приложении постоянного напряжения 2,5 В (нижний ряд), сделанные в геометрии скрещенных поляризаторов при угле между направлением поляризатора и направлением натирки R пленки $PVA+Gl$ 0° (a), (c) и 45° (b), (d). Двойными стрелками обозначены направления поляризаторов

Fig. 1. Microphotographs of LC layer in the initial state (top row) and at the applied dc voltage of 2.5 V (bottom row). Photos were taken in the crossed polarizers at the angle between polarizer direction and rubbing direction R of $PVA+Gl$ film 0° (a), (c) and 45° (b), (d). The double arrows represent the polarizers direction

Схема ориентационного перехода, объясняющая наблюдаемые изменения в ЖК-ячейке при приложении постоянного электрического поля, представлена на рис. 2. Для $LN-396$ пленка $PVA+Gl$ задавала планарные условия сцепления, но добавка сурфактанта в ЖК приводила к тому, что поверхностно-активные катионы CTA^+ , адсорбируясь на данную пленку экранировали ее ориентирующее действие и задавали гомеотропные граничные условия. В то же время пленка $PiBMA$ задавала для используемого ЖК конические граничные условия с углом наклона директора 50° [4], и было обнаружено что, адсорбированные катионы CTA^+ не приводили к гомеотропной ориентации ЖК на данной пленке. Таким образом, в исходном состоянии в ячейке реализовывалась гибридная ориентация директора с гомеотропными граничными условиями на верхней подложке и коническим поверхностным сцеплением на нижней (рис. 2, a). При этом директор на пленке с коническим сцеплением имел неоднородную азимутальную ориентацию по площади подложки. Именно этим объясняется неоднородность оптических текстур наблюдавшихся в отсутствие электрического поля (рис. 1, a,b). Приложение

постоянного напряжения для случая, когда верхняя подложка являлась электродом-анодом, приводило к освобождению данной подложки от катионов CTA^+ и формированию на ней планарных граничных условий, характерных для пленки $PVA+Gl$. Данная трансформация поверхности сцепления индуцировала изменение граничных условий и на второй подложке, заключающееся в формировании азимутальной ориентации директора на пленке $PiBMA$ параллельно направлению R . Таким образом, в образце формировалась однородная по площади ячейки конфигурация директора с тангенциально-коническими граничными условиями (рис. 2, b). В геометрии скрещенных поляризаторов оптическая текстура слоя ЖК с такой конфигурацией директора представляет однородную область, яркость которой зависит от угла между R и направлением поляризатора (рис. 1, c,d). Обратная полярность приложенного постоянного напряжения индуцировала увеличение плотности катионов CTA^+ на подложке с пленкой $PVA+Gl$ и, соответственно, изменение граничных условий в ячейке, приводящее к трансформации конфигурации директора, не происходило.

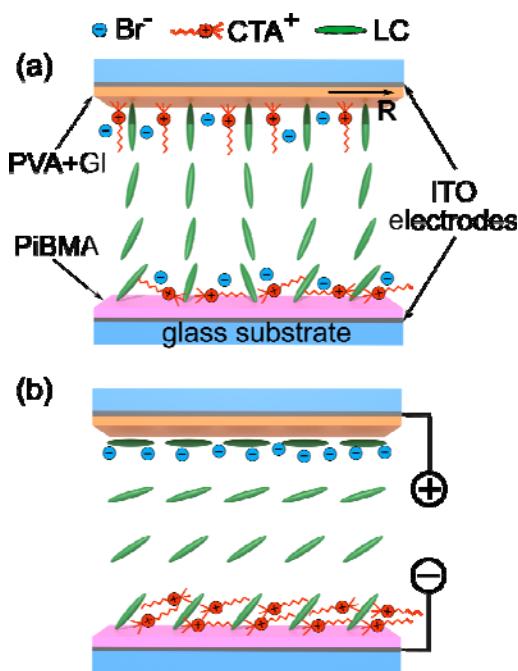


Рис. 2. Схема ориентационного перехода в ЖК-ячейке: *a* – электрическое поле выключено. На верхней подложке реализуются гомеотропные граничные условия, а на нижней – конические с неоднородной азимутальной ориентацией директора по площади подложки, *b* – приложенное постоянное напряжение индуцирует формирование тангенциального поверхностного сцепления на верхней подложке с ориентацией директора вдоль направления натирки *R*. Этот процесс приводит к однородной азимутальной ориентации директора на подложке с коническими граничными условиями также вдоль *R*

Fig. 2. Scheme of orientational transition in the LC cell. *a* – Electric field is switched off. The homeotropic boundary conditions are realized at the top substrate whereas the conical boundary conditions with inhomogeneous azimuthal orientation of director over the substrate area is formed at the bottom substrate; *b* – Applied dc voltage induces the formation of tangential surface anchoring at the top substrate with the orientation of director along the rubbing direction *R*. This process leads to the uniform azimuthal orientation of director also along *R* at the substrate with conical boundary conditions

Выводы

Проведено исследование трансформации ориентационной структуры ЖК в слое нематика с гомеотропно-коническими граничными условиями, индуцированной электроуправляемой ионной

модификацией поверхностного сцепления. В исходном состоянии директор на подложке с коническими граничными условиями имел неоднородную азимутальную ориентацию. Обнаружено, что модификация поверхностного сцепления от гомеотропного к однородному планарному на одной подложке приводила к снятию азимутального вырождения директора на второй подложке с коническим сцеплением. Таким образом, нами продемонстрирована возможность управления азимутальной ориентацией директора на подложке с коническим сцеплением путем модификации граничных условий на другой подложке.

Благодарности: В.С. Сутормин, М.Н. Крахалев и О.О. Прищепа благодарят за поддержку грант РФФИ, Правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 20-42-240007.

Acknowledgments: V.S. Sutormin, M.N. Krakhalev and O.O. Prishchepa acknowledge financial support from the Russian Foundation for Basic Research, the Government of the Krasnoyarsk Territory and the Krasnoyarsk Regional Science Foundation within the framework of the scientific project No. 20-42-240007.

Список источников / References

1. Jerome B. Surface effects and anchoring in liquid crystals. *Rep. Prog. Phys.*, 1991, **54**, 391–451.
DOI: 10.1088/0034-4885/54/3/002.
2. Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Timofeev I.V., Bikbaev R.G., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Cholesteric layers with tangential-conical surface anchoring for an electrically controlled polarization rotator. *Opt. Mater. Express*, 2021, **11** (5), 1527–1536.
DOI: 10.1364/OME.425130.
3. Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Гардыкова А. П., Прищепа О. О., Тимофеев И. В., Шабанов А. В., Зырянов В. Я. Электроуправляемая ионная модификация поверхностного сцепления в жидкокристаллических материалах // Жидк. крист. и их практич. использ. 2022. Т. 22, № 1. С. 89–93. [Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Gardymova A.P., Prishchepa O.O., Timofeev I.V., Shabanov A.V., Zyryanov V.Ya. Electrically controlled ionic modification of surface anchoring in liquid crystal materials. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z = Liq. Cryst. and their Appl.* 2022, **22** (1), 89–93. (in Russ.).
DOI: 10.18083/LCAppl.2022.1.89].

4. Krakhalev M.N., Bikbaev R.G., Sutormin V.S., Timofeev I.V., Zyryanov V.Ya. Nematic and cholesteric liquid crystal structures in cells with tangential-conical boundary conditions. *Crystals*, 2019, 9 (5), 249. DOI: 10.3390/cryst9050249.

Вклад авторов:

¹*Сутормин В. С.* – проведение исследований, написание текста статьи.

²*Крахалев М. Н.* – проведение исследований, редактирование текста статьи.

³*Прищепа О. О.* – проведение исследований, редактирование текста статьи.

⁴*Зырянов В.Я.* – научное руководство, концепция исследования, редактирование текста статьи.

Contribution of the authors:

¹*Sutormin V.S.* – conducting research, writing the text of the article.

²*Krakhalev M.N.* – conducting research, editing the text of the article.

³*Prishchepa O.O.* – conducting research, editing the text of the article.

⁴*Zyryanov 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/0000-0003-4695-5569>

²<https://orcid.org/0000-0003-3519-9497>

³<https://orcid.org/0000-0003-2433-2571>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-7373-3342>

Поступила 28.06.2022; одобрена 25.07.2022; принята 29.07.2022.

Received 28.06.2022; approved 25.07.2022; accepted 29.07.2022.