

Краткие сообщения
УДК 532.783

ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМАЯ ИОННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЦЕПЛЕНИЯ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

В. С. Сутормин^{1,2*}, М. Н. Крахалев^{1,2}, А. П. Гардымова², О. О. Прищепа¹, И. В. Тимофеев^{1,2},
А. В. Шабанов¹, В. Я. Зырянов¹

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

²*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

ИНФОРМАЦИЯ

История статьи:

Поступила 29.09.2021

Одобрена 25.10.2021

Принята 29.10.2021

Ключевые слова:

жидкий кристалл,
нематик,
холестерик,
ионный сурфактант,
поверхностное сцепление,
граничные условия,
ориентационная структура,
электрооптика,
мультистабильность

АННОТАЦИЯ

Представлен краткий обзор работ по электроуправляемой модификации поверхностного сцепления в жидких кристаллах, допированных ионными сурфактантами. Обсуждаются наиболее важные результаты исследований по управлению ориентационной структурой и оптическими свойствами жидких кристаллов с использованием ионно-сурфактантного метода.

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.1.89

Для цитирования:

Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Гардымова 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.

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

© Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Гардымова А. П., Прищепа О. О., Тимофеев И. В., Шабанов А. В., Зырянов В. Я., 2022

Brief messages**ELECTRICALLY CONTROLLED IONIC MODIFICATION OF SURFACE ANCHORING IN LIQUID CRYSTAL MATERIALS**

V. S. Sutormin^{1,2*}, M. N. Krakhalev^{1,2}, A. P. Gardymova², O. O. Prishchepa¹, I. V. Timofeev^{1,2},
A. V. Shabanov¹, V. Ya. Zyryanov¹

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

²*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

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

Received 29 September 2021

Approved 25 October 2021

Accepted 29 October 2021

A brief review of studies on the electrically controlled modification of surface anchoring in liquid crystals doped with ionic surfactants is presented. The most important research results concerning the control of the orientational structure and optical properties of liquid crystals by the ionic-surfactant method are discussed.

Key words:

liquid crystal,
nematic,
cholesteric,
ionic surfactant,
surface anchoring,
boundary conditions,
orientational structure,
electrooptics,
multistability

DOI:

10.18083/LCAppl.2022.1.89

For citation:

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. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2022, **22** (1), 89–93 (in Russ.).

*Corresponding author: sutormin@iph.krasn.ru

© Sutormin V. S., Krakhalev M. N., Gardymova A. P., Prishchepa O. O., Timofeev I. V., Shabanov A. V., Zyryanov V. Ya., 2022

Введение

На сегодняшний день подавляющее большинство жидкокристаллических устройств работает на эффекте Фредерикса, где изменение ориентационной структуры жидкого кристалла (ЖК) в объеме осуществляется непосредственным воздействием внешних факторов (электрического или магнитного полей). Однако существует иной способ изменения конфигурации директора путем модификации внешним воздействием поверхностного сцепления ЖК на ограничивающей поверхности. Переориентация ЖК в приповерхностном слое приводит к изменению директора во всем объеме. Данный способ управления ЖК может представлять интерес для оптоэлектронных устройств, работающих на поверхностных явлениях. Нами был предложен и реализован метод электрически индуцированной ионной модификации поверхностного сцепления для управления ЖК-материалами [1]. Данный метод заключается в варьировании поверхностной плотности ионов сурфактанта при воздействии постоянного электрического поля.

Ионная модификация поверхностного сцепления в каплях ЖК

Были исследованы образцы капсулированного полимером жидкого кристалла, изготовленные на основе нематика, допированного катионным сурфактантом и/или анионным сурфактантом, задающими при определенной концентрации гомео-

тропное поверхностное сцепление. Используемый полимер задавал планарные граничные условия. Таким образом, ориентация ЖК на межфазной границе определялась конкурирующим действием полимера и ионного сурфактанта. Варьирование поверхностной плотности ионов сурфактанта путем приложения к образцам постоянного электрического поля позволяло изменять баланс между этими двумя факторами. Таким образом удалось реализовать прямую моду ионной модификации поверхностного сцепления [2, 3], где исходная конфигурация директора определялась полимерной пленкой (рис. 1, *a*), и инверсную моду [4, 5], где исходная ориентационная структура ЖК задавалась ионами сурфактанта (рис. 1, *b*). Было проведено исследование динамики процесса переориентации директора, вызванной изменением граничных условий [6]. Кроме того, было продемонстрировано, что использование смеси катионного и анионного сурфактантов дает возможность одновременной модификации поверхностного сцепления на обеих частях капли вблизи анода и катода [7].

Исследования ионной модификации поверхностного сцепления в каплях хирального нематика (холестерика) позволили реализовать бистабильное переключение между различными конфигурациями директора [8]. Так, варьирование формы и величины приложенного электрического импульса приводило к переключению между стабильными радиальной и аксиальной ориентационными структурами через промежуточные метастабильные конфигурации.

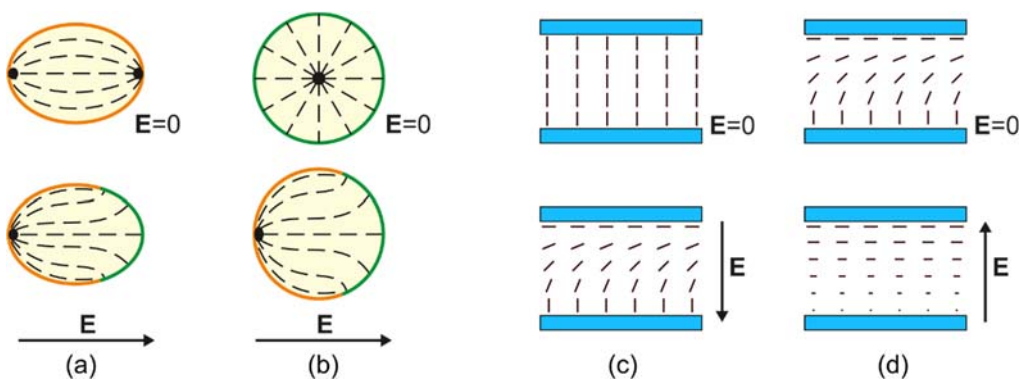


Рис. 1. Схема изменения конфигурации директора, вызванного электроуправляемой ионной модификацией поверхностного сцепления в каплях (*a*), (*b*) и слоях нематика (*c*), (*d*). Верхний ряд – электрическое поле выключено. Нижний ряд – приложено постоянное электрическое поле E

Fig. 1. The scheme of change in director configuration induced by the electrically controlled ionic modification of surface anchoring in the nematic droplets (*a*), (*b*) and nematic layers (*c*), (*d*). Top row – electric field is switched off. Bottom row – the electric field E is switched on

Ионная модификация поверхностного сцепления в слоях ЖК

Были исследованы образцы ЖК-ячеек, состоящие из двух стеклянных подложек с ИТО электродами и слоя ЖК, допированного ионным сурфактантом, между ними. Подложки покрывались полимером, задающим планарное поверхностное сцепление. Таким образом, как и в случае с композитным материалом, ориентация ЖК на подложках определялась конкурирующим действием полимера и сурфактанта. Были реализованы и исследованы переходы от гомеотропной конфигурации директора к гибридной гомеопланарной ориентационной структуре (рис. 1, *c*) [9, 10] и от гибридной гомеопланарной конфигурации директора к твист-структуре (рис. 1, *d*) [11]. Кроме того, было продемонстрировано, что ионно-сурфактантный метод позволяет управлять ЖК с диэлектрической анизотропией близкой к нулю [12]. Для ячеек, заполненных холестерическим ЖК, были реализованы и исследованы переходы от гомеотропной конфигурации директора к структуре однородного гибридно-упорядоченного холестерика [13] и от закрученной конфигурации директора к структуре модулированного гибридно-упорядоченного холестерика [14].

Заключение

Ионно-сурфактантный метод реализует концептуально новый подход к управлению ориентационной структурой ЖК. Данный метод возможно использовать как для слоев ЖК, так и для капсулированных полимером жидких кристаллов. Ионная модификация поверхностного сцепления позволяет реализовать целый ряд ориентационно-структурных переходов в ЖК, которые невозможно получить с использованием эффекта Фредерикса. Кроме того, возможна электрически индуцированная перестройка ЖК с диэлектрической анизотропией, равной нулю. Таким образом, ионно-сурфактантный метод существенно расширяет возможности применения ЖК в оптоэлектронных устройствах.

Список источников / References

1. Krakhalev M., Sutormin V., Prishchepa O., Gardymova A., Shabanov A., Lee W., Zyryanov V. Liquid crystals doped with ionic surfactants for electrically induced anchoring transitions. *Unconventional liquid crystals and their applications* / ed. by W. Lee and S. Kumar. Berlin, Boston: De Gruyter, 2021, Ch. 7, 279–330. DOI: 10.1515/9783110584370-007.
2. Зырянов В. Я., Крахалев М. Н., Прищепка О. О., Шабанов А. В. Ориентационно-структурные превращения в каплях нематика, обусловленные ионной модификацией межфазной границы под действием электрического поля // *Письма в ЖЭТФ*. 2007. Т. 86, вып. 6. С. 440–445. [Zyryanov V.Ya., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Shabanov A.V. Orientational structure transformations caused by the electric-field-induced ionic modification of the interface in nematic droplets. *JETP Letters*, 2007, **86** (6), 383–388. DOI: 10.1134/S0021364007180087].
3. Zyryanov V.Ya., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O. Texture transformation in nematic droplets caused by ionic modification of boundary conditions. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2008, **489** (1), 273/[599]–279/[605]. DOI: 10.1080/15421400802219189.
4. Зырянов В. Я., Крахалев М. Н., Прищепка О. О., Шабанов А. В. Инверсная мода эффекта ионной модификации поверхностного сцепления в каплях нематика // *Письма в ЖЭТФ*. 2008. Т. 88, вып. 9. С. 688–692. [Zyryanov V.Ya., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Shabanov A.V. Inverse regime of ionic modification of surface anchoring in nematic droplets. *JETP Letters*, 2008, **88** (9), 597–601. DOI: 10.1134/S002136400821011X].
5. Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Inverse mode of ion-surfactant method of director reorientation inside nematic droplets. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2009, **512** (1), 152/[1998]–157/[2003]. DOI: 10.1080/15421400903050814.
6. Крахалев М. Н., Лойко В. А., Зырянов В. Я. Электрооптические характеристики полимер-диспергированной жидкокристаллической пленки, управляемой ионно-сурфактантным методом // *Письма в ЖТФ*. 2011. Т. 37, вып. 1. С. 72–77. [Krakhalev M.N., Loiko V.A., Zyryanov V.Ya. Electro-optical characteristics of polymer-dispersed liquid crystal film controlled by ionic-surfactant method. *Tech. Phys. Lett.*, 2011, **37** (1), 34–36. DOI: 10.1134/S1063785011010056].
7. Krakhalev M.N., Sutormin V.S., Prishchepa O.O., Kuz'menok N.M., Mikhalyonok S.G., Bezborodov V.S., Zyryanov V.Ya. Anionic-cationic surfactant mixture providing the electrically controlled homeotropic surface anchoring of liquid crystals. *J. Mol. Liq.*, 2019, **282**, 57–62. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.02.132.
8. Гардымова А. П., Зырянов В. Я., Лойко В. А. Мультистабильность в пленке капсулированного полимером холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом // *Письма в ЖТФ*. 2011. Т. 37, вып. 17. С. 35–41. [Gardymova A.P.,

- Zyryanov V.Ya., Loiko V.A. Multistability in polymer-dispersed cholesteric liquid crystal film doped with ionic surfactant. *Tech. Phys. Lett.*, 2011, **37** (9), 805–808. DOI: 10.1134/S1063785011090094].
9. Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Прищепа О. О., Зырянов В. Я. Электроуправляемый локальный переход Фредерикса в слое нематического жидкого кристалла // *Письма в ЖЭТФ*. 2012. Т. 96, вып. 8. С. 562–567. [Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Electrically controlled local Fréedericksz transition in a layer of a nematic liquid crystal. *JETP Letters*, 2012, **96** (8), 511–516. DOI: 10.1134/S0021364012200131].
10. Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Зырянов В. Я. Динамика отклика электрооптической ячейки на основе слоя нематика с управляемым поверхностным сцеплением // *Письма в ЖТФ*. 2013. Т. 39, вып. 13. С. 1–8. [Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Zyryanov V.Ya. The dynamics of the response of an electro-optic cell based on a nematic layer with controlled surface anchoring. *Tech. Phys. Lett.*, 2013, **39** (7), 583–586. DOI: 10.1134/S1063785013070134].
11. Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Lee W., Zyryanov V.Ya. Electro-optical response of an ionic-surfactant-doped nematic cell with homeoplanar-twisted configuration transition. *Opt. Mater. Express*, 2014, **4** (4), 810–815. DOI: 10.1364/OME.4.000810.
12. Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Electrically induced anchoring transition in nematics with small or zero dielectric anisotropy. *Liq. Cryst.*, 2017, **44** (3), 577–581. DOI: 10.1080/02678292.2016.1225840.
13. Sutormin V.S., Timofeev I.V., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Orientational transition in the cholesteric layer induced by electrically controlled ionic modification of the surface anchoring. *Liq. Cryst.*, 2017, **44** (3), 484–489. DOI: 10.1080/02678292.2016.1218557.
14. Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Electrically induced anchoring transition in cholesteric liquid crystal cells with different confinement ratios. *Liq. Cryst.*, 2018, **45** (8), 1129–1136. DOI: 10.1080/02678292.2017.1416504.
- ³Гардымова А. П. – исследование эффекта бистабильного переключения.
- ⁴Прищепа О. О. – исследование эффекта электроуправляемой ионной модификации поверхностного сцепления в каплях ЖК.
- ⁵Тимофеев И. В. – расчет конфигурации директора и оптических характеристик слоев ЖК.
- ⁶Шабанов А. В. – расчет конфигурации директора и оптических текстур капель ЖК.
- ⁷Зырянов В. Я. – научное руководство; концепция исследования; написание исходного текста статьи.

Contributions of the authors:

¹Sutormin V.S. – study of the effect of electrically controlled ionic modification of surface anchoring in the layers of LC; writing the source text of the article.

²Krakhalev M.N. – study of the effect of electrically controlled ionic modification of surface anchoring in liquid crystal droplets.

³Gardymova A.P. – study of the effect of bistable switching.

⁴Prishchepa O.O. – investigation of the effect of electrically controlled ionic modification of surface anchoring in liquid crystal droplets.

⁵Timofeev I.V. – calculation of the director configuration and optical characteristics of the LC layers.

⁶Shabanov A.V. – calculation of the director configuration and optical textures of liquid crystal droplets.

⁷Zyryanov V.Ya. – scientific leadership; research concept; writing the source 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/0000-0003-4139-4555>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-2433-2571>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-6558-5607>

⁶<https://orcid.org/0000-0002-2389-4698>

⁷<https://orcid.org/0000-0001-7373-3342>

Вклад авторов:

¹Сутормин В. С. – исследование эффекта электроуправляемой ионной модификации поверхностного сцепления в слоях ЖК; написание исходного текста статьи.

²Крахалев М. Н. – исследование эффекта электроуправляемой ионной модификации поверхностного сцепления в каплях ЖК.

Поступила 29.09.2021, одобрена 25.10.2021, принята 29.10.2021
Received 29.09.2021, approved 25.10.2021, accepted 29.10.2021