

## **ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНОГО ПУЗЫРЯ НА ОРИЕНТАЦИЮ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА**

А.Л. МАРГАРЯН<sup>1\*</sup>, Н.Г. АКОПЯН<sup>1</sup>, В.К. АБРААМЯН<sup>1</sup>, Г.М. СТЕПАНЯН<sup>1</sup>,  
В.В. БЕЛЯЕВ<sup>2,3</sup>, М.В. ЕРМАКОВА<sup>2</sup>, В.И. МАЩЕНКО<sup>2</sup>, В.А. ЖАЧКИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

<sup>2</sup>Московский государственный областной университет, Москва, Россия

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

\*e-mail: marhakob@ysu.am

(Поступила в редакцию 24 августа 2022 г.)

Ориентированные жидкокристаллические ячейки в скрещенных поляризаторах имеют однородный вид без приложения электрического поля. Но при приложении напряжения может наблюдаться мозаичная текстура с участками различной ориентации молекул ЖК. Плавное и последовательное передвижение образовавшегося в процессе изготовления ячейки воздушного пузыря позволило получить однородную ориентационную картину. Показано, что поверхностное натяжение пузыря сравнимо с силой сцепления молекул ЖК с ориентирующим покрытием.

### **1. Введение**

Ориентирование молекул жидкого кристалла (ЖК) является одной из основных технологических операций при изготовлении оптических элементов на основе ЖК. Традиционные методы ориентирования [1-3] основаны на нанесении поверхностно-активного вещества, затирке или косом напылении ориентирующего слоя. Натирка, даже хорошо контролируемая, создает дефекты, которые становятся серьезной проблемой по мере уменьшения размера пикселя. Одним из примеров являются многодоменные вертикально ориентированные нематические ЖК-дисплеи [2]. Многие другие ЖК технологии требуют прецизионного ориентирования директора ЖК молекул. Огромное количество работ направлено на разработку жидкокристаллических технологий, не требующих натирки ориентирующего покрытия. Было предложено два бесконтактных метода. В одном используются ионные пучки [3], в другом – лазерное излучение (метод фотоориентирования (photoalignment)) [1,4]. Оба метода позволяют получить качество ориентирования лучшее, чем при механической затирке. Однако метод, использующий ионный пучок, требует высокого вакуума и является дорогостоящим, а методы фотоориентирования, не требующие вакуума, менее затратны.

Следующей важной технологической задачей является заполнение ячеек жидкокристаллическим веществом. При заполнении ЖК ячейки по ее апертуре

может сформироваться неоднородно ориентированная структура. Это может быть связано с разнонаправленностью потока ЖК в ячейке и с тем, что угол наклона молекул, формируемый в потоке ЖК, может не соответствовать граничным условиям ориентации на поверхности подложек ячейки или на их ориентирующих покрытиях. На ориентирование директора ЖК могут повлиять и такие внешние факторы, как частицы пыли или АСМ-зонд [5,6].

Ориентированные ЖК-ячейки имеют однородный вид без приложения напряжения. Но при подаче напряжения может наблюдаться мозаичная текстура с участками различной ориентации. Одним из способов решения такой проблемы является многократное переключение напряжения. В данной работе рассмотрен эффект, который можно использовать как альтернативный метод достижения однородного ориентирования ЖК. Описано, как образовавшийся во время заполнения ячейки воздушный пузырь, при последовательном плавном перемещении улучшает ориентирование молекул ЖК по всей площади ячейки. Показано, что поверхностное натяжение пузыря сравнимо с силой сцепления молекул ЖК с поверхностью подложки.

## 2. Эксперимент

Для изготовления ЖК ячейки использованы две кварцевые подложки диаметром 25 мм и толщиной 3 мм, покрытые графеном в качестве прозрачного проводящего покрытия. На внутренние поверхности подложек методом центрифугирования нанесен слой фотоориентируемого полимера, и планарная ориентация записана с помощью поляризованного лазерного излучения на длине волны 325 нм. В качестве спейсера использована полиэтиленовая пленка толщиной 100 мкм, на которую наложен контактный слой в виде медной фольги толщиной 50 мкм. В результате толщина ячейки составила 150 мкм. Ячейка заполнена жидким кристаллом марки LC-BYIPS-P0 производства Instec Inc. Схема ячейки приведена на рис.1.

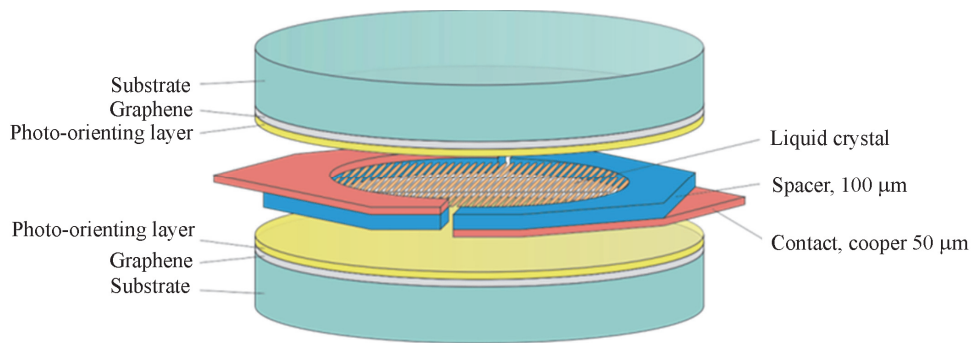


Рис.1. Схема ЖК ячейки.

При заполнении ячейки образовался воздушный пузырь диаметром около 2 мм (рис.2а). Без подачи напряжения ЖК ячейки имеют однородный вид

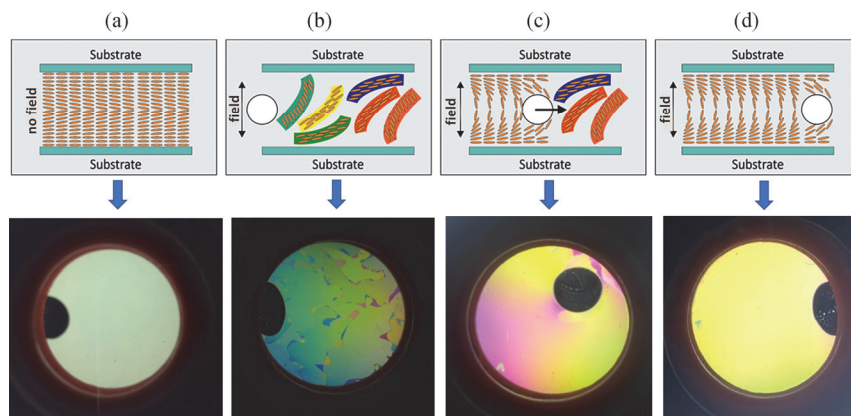


Рис.2. Схема распределения молекул ЖК и изображения ЖК ячейки: а – напряжение не приложено; b, c, d – напряжение приложено, улучшение ориентирования при перемещении пузыря.

(рис.2а). Но, когда к ячейке прикладывается напряжение для переориентирования молекул ЖК, картина меняется и наблюдается мозаичная текстура с участками различной ориентации (рис.2b), что является следствием локальных гидродинамических потоков. Это делает невозможным использование ячейки в качестве оптического элемента.

Как отмечено выше, в таких случаях проблема часто решается путем многократного переключения напряжения.

Случайно образовавшийся в процессе заполнения ячейки ЖК материалом воздушный пузырь (рис.2) стал основой для предложения иного способа решения данной задачи. Мы заметили, что при перемещении пузыря под действием силы тяжести вышеупомянутые участки с различной ориентацией разрушаются, и, благодаря потоку ЖК, его директор приобретает новую ориентацию уже в новых условиях - в присутствии электрического поля и фотоориентированного слоя (рис.2с). Таким образом, перемещением воздушного пузыря по всей апертуре при последовательном и непрерывном вращении ячейки, можно добиться однородного ориентирования молекул ЖК по всей площади ячейки (рис.2d). При этом ячейка должна оставаться под напряжением.

Ниже приведены фотографии ячейки, помещенной в корпус со скрещенными поляризаторами, в исходном состоянии при приложении напряжения (рис.3а) и с однородным ориентированием молекул ЖК по всей площади ячейки после последовательного перемещения воздушного пузыря (рис.3b). Следует отметить, что в данном случае это переориентированное статическое состояние. Уже в таком состоянии изменение приложенного напряжения приводит к равномерному изменению ориентации по всей площади ячейки.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о возможности коррекции с помощью воздушного пузыря мозаичной текстуры ориентационной картины молекул ЖК. Это позволит обеспечить оптическую однородность ЖК-элементов большой площади.

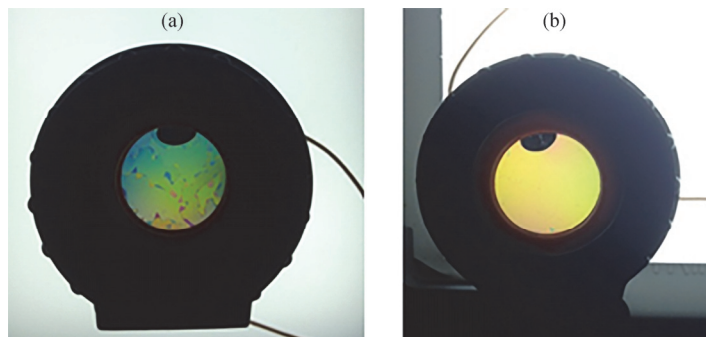


Рис.3. Ячейка в корпусе со скрещенными поляризаторами: а – исходное состояние при приложении напряжения, б – конечное состояние с однородным ориентированием.

### 3. Обсуждение результатов

Для объяснения наблюдаемого эффекта оценим влияние пузыря на поверхностный слой ЖК. При натирании под типичным давлением 100 Па [7] поверхности ячейки размером 10 мм×10 мм ( $10^{-4}$  м<sup>2</sup>) сила, действующая на поверхность, составляет  $10^{-2}$  Н, т. е. на площади 2×2 мм<sup>2</sup> она равна  $4\times 10^{-4}$  Н. При поверхностном натяжении  $0.6\times 10^{-1}$  Дж/м<sup>2</sup> =  $0.6\times 10^{-1}$  Н/м и размере пузыря 2 мм стенка пузыря действует на поверхность ориентирующего покрытия со слоем ЖК с силой  $1.2\times 10^{-4}$  Н. Эти значения находятся в соответствии со значениями давления газа в пузырях различных жидкостей [8].

Сравним эти значения с параметрами поверхностного взаимодействия ЖК и подложки. Суммарная энергия такого взаимодействия составляет порядка  $3\times 10^{-1}$  Дж/м<sup>2</sup> [9]. Это больше энергии поверхностного натяжения, т. е. слой у стенки ячейки не разрушается. Полярная энергия взаимодействия ЖК с поверхностью подложки, отвечающая за угол предварительного наклона ЖК, составляет примерно  $(3-5)\times 10^{-4}$  Дж/м<sup>2</sup>. Азимутальная энергия взаимодействия как ЖК, так и поверхности подложки отвечает за закручивание слоя ЖК, она составляет порядка  $(1-5)\times 10^{-5}$  Дж/м<sup>2</sup> [10–14]. В очень тонких ЖК ячейках (толщиной менее 2–3 мкм) эффективное значение энергии полярного взаимодействия увеличивается в 2–5 раз [15].

Таким образом, давление, создаваемое стенками пузырька на тонкий слой ЖК, приводит к возникновению силы, изменяющей исходную мозаичную ориентацию молекул ЖК. Воздействие пузыря приводит к однородной стабильной ориентации ЖК, заданной ориентирующим покрытием.

### 4. Заключение

При изготовлении оптических элементов на основе ЖК одной из основных операций является ориентирование директора ЖК. Сегодня применяются различные методы ориентирования, однако, ни один из них не позволяет получить

однородную ориентационную картину по всей площади ячейки.

Нами предложен метод улучшения ориентирования с помощью воздушного пузыря, образовавшегося при заполнении ячейки ЖК материалом. В частности, показано, что перемещение пузыря при непрерывном и плавном вращении ячейки разрушает исходную мозаичную структуру и позволяет получить однородное ориентирование молекул ЖК по всей площади ячейки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта No. 20-19-00201 (фотоориентация и оценки поверхностного взаимодействия) и Комитета по науке Республики Армения в рамках проекта No. 21T-1C211.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **V. Chigrinov, V. Kozenkov, H.-S. Kwok.** Photoalignment of Liquid Crystalline Materials: Physics and Applications, John Wiley & Sons Ltd, 2008.
2. **S.-C.A. Lien, R.A. John.** Liquid crystal displays having multi-domain cells, Patent US 5309264 A (1994).
3. **P.K. Son, J.H. Seo, J.C. Kim, T.-H. Yoon, J.H. Park.** “Ion Beam Alignment of Liquid Crystal on Amorphous SiO<sub>x</sub> Film”, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, **475**(1), 65-72 (2007).
4. **H.L. Margaryan, V.K. Abrahamyan, D.L. Hovhannisyan, N.H. Hakobyan, V.M. Aroutiounian, V.V. Belyaev, A.S. Solomatin.** “Recording of Geometric Phase Elements Based on Liquid Crystal Polymers”. *J. Contemp. Phys.*, **52**, 258–263 (2017).
5. **D.-S. Seo.** “Effect of working on the aligning capability of liquid crystals on the rubbed polymer surfaces”, *J. Contemp. Phys.*, **86**, 4046 (1999).
6. **J.-H. Kim, M. Yoneya, J. Yamamoto, H. Yokoyama.** “Nano-rubbing of a liquid crystal alignment layer by an atomic force microscope: a detailed characterization”. *Nanotechnology*, **13**, 133 (2002).
7. **G.Sh. Shmavonyan, C. Vázquez-Vázquez, M.A. López-Quintela.** “Single-step rubbing method for mass production of large-size and defect-free 2D materials”. *Transl. Mater. Res.*, **4**(2), 025001 (2017).
8. **P.A. Ryapolov, E.A. Sokolov, V.G. Bashtovoi, A.G. Reks, E.B. Postnikov.** “Equilibrium configurations in a magnetic fluid-based field mapping and gas pressure measuring system: Experiment and simulations”. *AIP Advances*, **11**, 015206 (2021).
9. **A.K. Dadivanyan, D.N. Chausov, O.V. Noa, V.V. Belyaev, V.G. Chigrinov, Y.M. Pashinina.** “Influence of the order parameter on the anchoring energy of liquid crystals”. *J. Exp. Theor. Phys.*, **115**, 1100–1104 (2012).
10. **D., Subacius, V.M., Pergamenschchik, O.D., Lavrentovich.** “Measurement of polar anchoring coefficient for nematic cell with high pretilt angle”. *Appl. Phys. Lett.*, **67**, 214-216 (1995).
11. **Al. Muravsky, An. Murauski, V.G. Mazaeva, V. Belyaev.** “Parameters on the LC alignment of organosilicon compound films”. *Journal of the Society for Information Display*, **13**(4), 349 (2005).
12. **M. Sobolevsky, V. Mazaeva, V. Kovalenko, V. Belyaev, A. Kalashnikov.** “Manufacture

and Physical Properties of Silicon-Organic Films for LC Alignment”. Molecular Crystals and Liquid Crystals Science and Technology. Section A. Molecular Crystals and Liquid Crystals, **329**(1), 293-304 (1999).

13. **V.G. Mazaeva, L.B. Skvortsova, S.N. Natsyuk, T.I. Shulyat'eva, M.B. Lotarev.** “Conditions of the Hydrolytic Condensation Reaction of Dialkyldichlorosilanes and Separation of Dialkyl Hydrolysates in the Preparation of Organosilicone Orientants for Liquid Crystals”. Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. (Liq. Cryst. and their Appl.), **16**(2), 3-45 (2016).
14. **A.I. Galeeva, E.Y. Rusakova, K.I. Sitdikova, S.A. Bogdanova, Y.G. Galyametdinov.** “Interphase interaction in the lyotropic liquid crystal – polymer orientant system”. Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. (Liq. Cryst. and their Appl.), **2**(40), 76-85 (2012).
15. **R.A. Alla.** “On the Control of Nematic Liquid Crystal Alignment”. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Physics, University of Gothenburg, Göteborg, Sweden, 2013. ISBN: 978-91-628-8685-1.

#### ՕՂԻ ՊՂՊՋԱԿԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԻ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ՎՐԱ

Հ.Լ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Ն.Հ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Վ.Կ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Գ.Մ.ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ,  
Վ.Վ. ԲԵԼՅԱԵՎ, Մ.Վ. ԵՐՄԱԿՈՎԱ, Վ.Ի. ՄԱՇՉԵՆԿՈ, Վ.Ա. ԺԱՉԿԻՆ

Կողմնորոշված հեղուկ բյուրեղային բջիջները (ՀԲ) խաչված բևեռացուցիչների միջև ունեն համասեռ տեսք՝ առանց էլեկտրական դաշտի կիրառման: Սակայն, երբ լարում է կիրառվում, հնարավոր է դիտել ՀԲ մոլեկուլների տարբեր կողմնորոշման տարածքներով խճանկարային հյուսվածք: Բջջի պատրաստման ընթացքում առաջացած օդային պղպջակի սահուն և կրկնողական շարժումը թույլ տվեց ստանալ համասեռ կողմնորոշվածությամբ պատկեր: Ցույց է տրված, որ պղպջակի մակերեսային լարվածությունը համեմատելի է ՀԲ մոլեկուլների և կողմնորոշիչ շերտի կաշման ուժի հետ:

#### EFFECT OF AIR BUBBLE ON LIQUID CRYSTAL ALIGNMENT

H.L. MARGARYAN, N.H. HAKOBYAN, V.K. ABRAHAMYAN, G.M. STEPANYAN,  
V.V. BELYAEV, M.V. ERMAKOVA, V.I. MASHCHENKO, V.A. ZHACHKIN

Oriented liquid crystal (LC) cells in crossed polarizers have a uniform appearance without applying voltage. But when a voltage is applied a mosaic texture with sections of different orientations of LC molecules can be observed. The smooth and consistent movement of the air bubble, formed at the LC cell making, allows obtaining a uniform orientation pattern. It is shown that the bubble's surface tension is comparable with the LC surface anchoring with orienting layer.