

Научная статья
УДК 538.9:544.25
DOI 10.18101/2306-2363-2024-3-48-52

О ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТАХ В ПОЛИМЕРНО-ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

© Чимытов Тимур Андреевич

кандидат физико-математических наук, доцент,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а;
Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
tchimyrov@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена экспериментальному исследованию морфологии нематических жидких кристаллов, внедренных в пористые полимерные матрицы. Работа начинается с обсуждения принципов функционирования систем, в которых ЖК демонстрируют эффект электромеханической памяти, а также значимость взаимодействия топологических дефектов с пористой средой. Проведенное исследование морфологии ПДЖК пленок показало, что при соотношении ЖК:ПВА = 1:1 жидкость капсулируется в изолированных полостях со средним размером 5 мкм. С увеличением доли ЖК в матрице наблюдается образование взаимосвязанных структур на масштабе десятков микрон, что ведет к росту концентрации точечных дефектов с зарядовым числом +1. Авторы делают вывод о том, что данный рост концентрации дефектов является следствием как увеличения объема жидкого кристалла, так и усложнения формы пор в полимерной матрице. Результаты исследования подчеркивают значимость понимания морфологии и поведения топологических зарядов в жидкокристаллических системах для разработки новых материалов с управляемыми оптическими свойствами.

Ключевые слова: жидкий кристалл, пористость, полимер, топологический дефект, топологический заряд, морфология.

Для цитирования

Чимытов Т. А. О топологических дефектах в полимерно-дисперсных жидкокристаллических пленках // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2024. Вып. 3. С. 48–52.

Введение

Нематические жидкие кристаллы (ЖК) в порах микронного размера, встроенные в полимерные матрицы, имеют перспективу топологически различных метастабильных состояний. Эти системы объединяют ряд практически полезных свойств, таких как возможность управления ЖК внешним полем, механическая прочность полимера. Кроме того, было замечено, что некоторые из этих систем демонстрируют эффект электромеханической памяти, когда коэффициент пропускания света не возвращается к своему исходному значению после снятия электрического поля [1]. Это означает, что ориентационный порядок в системе частично фиксируется и запоминается. Такая мультистабильность в конечном итоге обусловлена взаимодействием пористого материала с линиями топологических дефектов, развивающимися внутри ограниченного ЖК [2]. Контроль линий дефектов и их взаимодействий имеют решающее значение для создания ма-

териалов, оптические свойства которых управляются электричеством, но самопроизвольно сохраняются. В связи с этим исследование морфологии топологических зарядов в жидкокристаллических средах вызывает как научный, так и практический интерес.

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование морфологии пористых пленок, заполненных молекулами ЖК.

Экспериментальное оборудование

В качестве материалов для изготовления образцов с пористым материалом — полимерно-дисперсной жидкокристаллической (ПДЖК) пленкой — использовался раствор полимера поливинилацетата (ПВА) и нематический жидкий кристалл марки 5 ЦБ. Раствор ПВА состоял из 13% мас. доли ПВА, а в качестве растворителя ацетон и бензол в равных долях. Раствор ПВА перемешивали с ЖК (для лучшего результата использовалась ультразвуковая ванна), затем полученную смесь наносили на стекло с токопроводящим покрытием с помощью центрифугирования в планетарной мельнице (с частотой оборотов ≈ 3000 об/мин). После нанесения смеси образцы высыхали около 20 минут в помещении при комнатной температуре. Испарение растворителя ПВА из смеси приводит к разделению фаз ЖК — ПВА и образуется пористая среда, заполненная молекулами ЖК. После полного высыхания пленку покрывали вторым стеклом с токопроводящим покрытием, в качестве спейсеров использовалась тефлоновая пленка толщиной 17 мкм. Образцы в таком виде запекались в печи при температуре 120 °С в течение 5 минут. После этого образцы были готовы к измерениям (рис. 1 и 2).

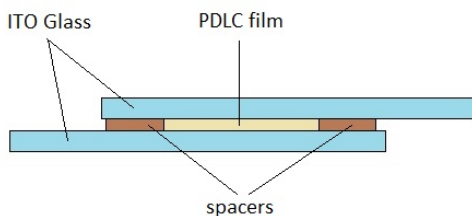


Рис. 1. Схематичное изображение образцов ячеек с ПДЖК пленкой

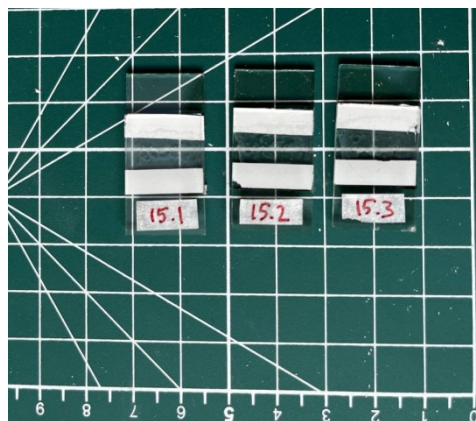


Рис. 2. Фотография готовых образцов ячеек с ПДЖК пленкой

Для изучения морфологии ПДЖК-пленок был использован сканирующий электронный микроскоп NEOSCOPE II JCM-6000 и поляризационный микроскоп ЛОМО МИКМЕД-6.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 показано изображения ПДЖК пленок, полученных с помощью поляризационного микроскопа при различных соотношениях ПВА и ЖК. Светлые области соответствуют полимеру ПВА, а темные — ЖК. В области полимера наблюдается несвязанная пористая структура, при которой капли ЖК изолированы друг от друга в полимерной матрице. Средний размер этих капель около 5 мкм (рис. 4). Таким образом, при концентрации ПВА: ЖК = 1:1 молекулы ЖК диспергируются преимущественно в порах микронного размера. При увеличении доли ЖК относительно ПВА в пленке наблюдаются взаимосвязанные структуры ЖК размером в десятки микрометров. При соотношении ПВА:ЖК = 1:3 в этих взаимосвязанных структурах наблюдается большое количество «снежинок», представляющих собой топологические дефекты.

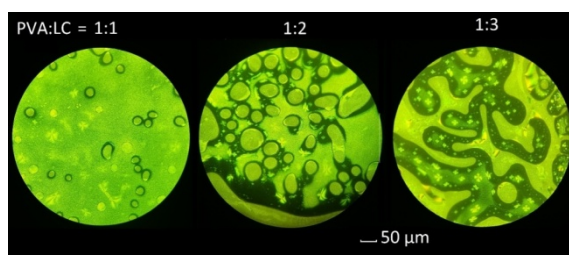


Рис. 3. Изображение ПДЖК пленок, полученное на поляризационном микроскопе

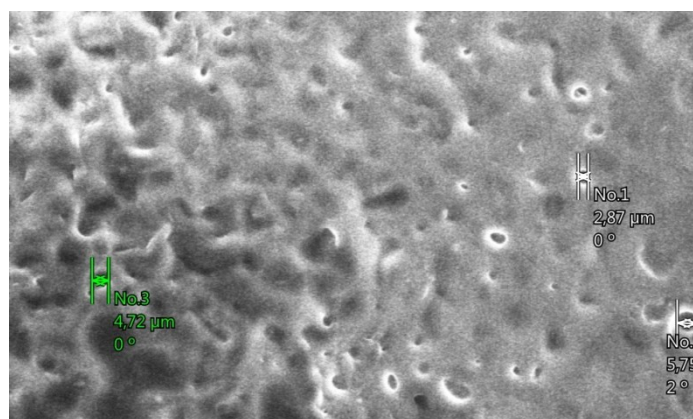


Рис. 4. Изображение ПДЖК пленок, полученное на электронном сканирующем микроскопе

В качестве характеристики точечных топологических дефектов вводят понятие топологического заряда q , определяемого по формуле [3]:

$$q = \frac{1}{2\pi} \oint_L d\theta,$$

где θ — угол поворота директора молекул ЖК относительно выбранного направления, L — замкнутый контур (окружность) вокруг дефекта. Заряд при этом может иметь как положительный, так и отрицательный знак. На изображении (рис. 5), полученном при скрещенных поляризаторах, показаны характерные топологические дефекты, наблюдаемые в экспериментах. У всех дефектов имеются четыре темные полосы (полосы погашения), радиально исходящие из ядра дефекта. Очевидно, что в каждой такой полосе директор молекул ЖК ортогонален одной из двух плоскостей поляризации двух скрещенных поляризаторов, поэтому в случае четырех темных полос директор поворачивается на угол $4 \cdot \pi/2 = 2\pi$ при обходе вокруг ядра дефекта. Таким образом, согласно определению, можно заключить, что модуль топологического заряда q для всех наблюдаемых дефектов равен 1. Кроме того, в наших экспериментах все наблюдаемые дефекты при вращении поляризаторов вращаются в ту же сторону, что и поляризаторы. Это означает, что заряды имеют положительный знак.

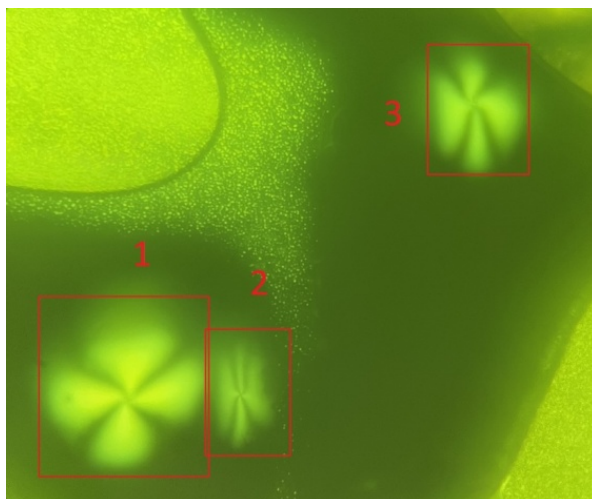


Рис. 5. Изображение топологических дефектов в ПДЖК пленке

Отметим, что дефектов с другим зарядом в ячейках не наблюдается. Увеличение концентрации самих дефектов с ростом доли ЖК в полимерной матрице связано, по-видимому, с усложнением самой структуры пористости, а значит, и усложнением тангенциальных условий на границе полимер-ЖК.

Заключение

В результате экспериментального исследования морфологии ПДЖК пленок показано, что при соотношении ЖК:ПВА = 1:1 жидкость капсулируется в изолированных полостях со средним размером 5 мкм. С ростом доли ЖК в полимерной матрице жидкость начинает образовывать взаимосвязанные структуры на масштабе в десятки микрон. При достаточно большой доле ЖК (ЖК:ПВА = 1:1) начинает возрастать концентрация точечных дефектов с зарядовым числом +1. Наличие таких дефектов, очевидно, связано с особенностями взаимодействия пористого полимерного материала с ЖК, поэтому повышение концентрации дефектов обусловлено как ростом объема жидкого кристалла в полимере, так и усложнением формы полостей (пористости) в полимере.

Литература

1. Yamaguchi R., Sato S. Memory effects of light transmission properties in Polymer-Dispersed-Liquid-Crystal (PDLC) films. *J. J Appl. Phys.* 1991; 30(4A): L616.
2. Serra F., Buscaglia M., Bellini T. The emergence of memory in liquid crystals. *Materials Today.* 2011; 14(10): 488–494.
3. Kleman M., Laverntovich O. D. Soft Matter Physics. An Introduction. *Springer Science & Business Media.* 2003: 659.

Статья поступила в редакцию 30.09.2024; одобрена после рецензирования 23.10.2024; принята к публикации 28.10.2024.

ON TOPOLOGICAL DEFECTS IN POLYMER-DISPERSED
LIQUID CRYSTAL FILMS

Timur A. Chimytov

Cand. Sci. (Phys. and Math.), A/Prof., Researcher,
Dorzhi Banzarov Buryat State University
24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia;
Institute for Physical Materials Science SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
tchimytov@gmail.com

Abstract. The article is devoted to an experimental study of the morphology of nematic liquid crystals embedded in porous polymer matrices. We have discussed the principles of operating systems in which LCs demonstrate the effect of electromechanical memory, as well as the importance of interaction of topological defects with a porous medium. The study of the morphology of polymer-dispersed-liquid-crystal (PDLC) films has shown that at a ratio of LC: polyvinyl acetate = 1:1, the liquid is encapsulated in isolated cavities with an average size of 5 μm . With an increase in the proportion of LC in the matrix we observe the formation of interconnected structures on a scale of tens of microns, which leads to an increase in the concentration of point defects with a charge number of +1. We have concluded that this increase in the concentration of defects is a consequence of both an increase in the volume of the liquid crystal and a complication of the pore shape in the polymer matrix. The results emphasize the importance of understanding the morphology and behavior of topological charges in liquid crystal systems for the development of new materials with controlled optical properties.

Keywords: liquid crystal, porosity, polymer, topological defect, topological charge, morphology.

For citation

Chimytov T. A. On Topological Defects in Polymer-Dispersed Liquid Crystal Films. *Bulletin of Buryat State University. Chemistry. Physics.* 2024; 3: 48–52 (In Russ.).

The article was submitted 30.09.2024; approved after reviewing 23.10.2024; accepted for publication 28.10.2024.