



УДК 620.1.72:532.783

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННОЕ ДОПИРОВАНИЕ НЕМАТИКА
В ОКРЕСТНОСТИ МИКРОКОНТАКТА****ELECTRICALLY INDUCED DOPING OF NEMATIC IN VICINITY
OF MICROCONTACT****С.И. Кучеев, Е.И. Омельченко, И.М. Усатый
S.I. Kucheev, E.I. Omelchenko, I.M. Usatii**

*Белгородский национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: kucheev@bsu.edu.ru*

Аннотация. Анализ деформации поля директора нематика в переменном электрическом поле, после предварительного действия постоянного электрического поля, позволяет утверждать, что в окрестности микроконтакта формируются, как минимум, два короткоживущих электрически индуцированных допанта, один из которых вызывает в исходном нематике отрицательную анизотропию диэлектрической проницаемости, тогда как второй тушит восприимчивость нематика к электрическому полю, причем время жизни последнего меньше, чем у первого. Очерчена идея методики разделения дефектов пленки окиси кремния на два типа по особенностям картины деформации нематика в переменном электрическом поле.

Resume. The analysis of the deformation of director of the nematic under alternating electric field after prior action of a constant electric field suggests that in the vicinity of the point contact at least two short-lived electrically induced dopants are formed, one of which brings about in the initial nematic a negative anisotropy of the dielectric constant, while the second quenches a susceptibility of nematic to the electric field, the lifetime of the latter is less than the first. The method of selection of silicon oxide film defects into the two types based on the specific picture of a deformation of a nematic under an alternating electric field is suggested.

Ключевые слова: микроконтакт к жидкому кристаллу, электрически индуцированный допант, дефект окиси кремния.

Key words: microcontact to liquid crystal, electrically induced dopant, defect of silicon oxide.

Введение

Жидкие кристаллы (ЖК) представляют собой оптически анизотропные среды, широко используемые в приборах отображения оптической информации для амплитудной и/или фазовой модуляции света. Это обусловлено возможностью пространственной перестройки молекулярного упорядочения под действием внешних управляющих факторов, например, электрических, магнитных или световых полей [1, 2], причем во всех существующих сегодня ЖК-приборах изменение свойств ЖК-материала под влиянием внешних факторов рассматривается как негативный процесс и минимизируется. Одним из способов расширения спектра свойств ЖК-материалов и, как следствие, появления новых электрооптических эффектов, является допирование жидких кристаллов соответствующими примесями. На сегодня процесс допирования осуществляется за счет привнесения в ЖК-материал примесей извне, и одним из главных требований как к допантам, так и к ЖК-материалам, является их стабильность. Однако, если допанты генерируются за счет самих молекул ЖК-материала в процессе реализации электрооптического эффекта, имеют ограниченное время своего влияния на исходный ЖК-материала, могут выполнять функции активатора и ингибитора определенных характеристик соответствующего электрооптического эффекта, такой принцип допирования открыл бы возможность создания ЖК-приборов, функционирующих на основе механизмов самоорганизации. Предлагаемая работа показывает, что активные примеси, вызывающие ограниченные во времени изменения электрооптических свойства ЖК-материала могут образовываться при прохождении электрического тока в процессе реализации электрооптического эффекта, проявляя признаки активатора и ингибитора.

Эксперименты проводились с жидкокристаллическими ячейками, конструкция которых описана в ряде публикаций [3, 4], и представляет собой систему электродов типа точечный электрод (далее микроконтакт) – плоский электрод (прозрачная пленка окиси индия).

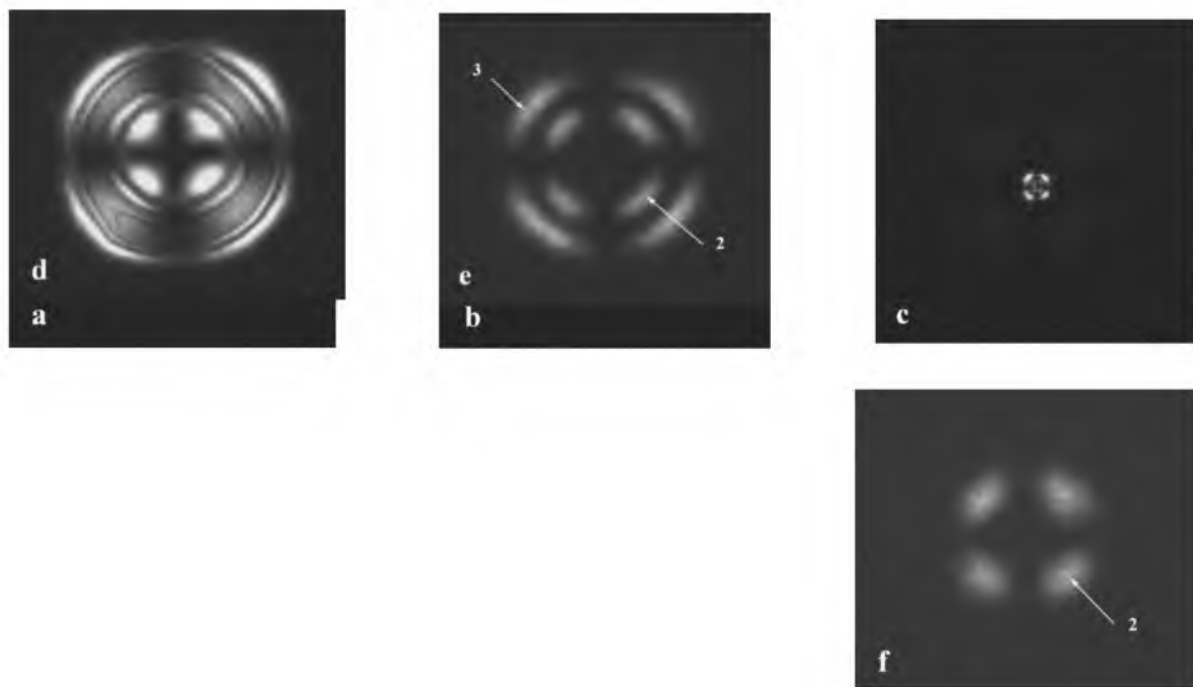


Рис. 1. Поляризационные изображения деформации гомеотропно ориентированного нематика 5CB в окрестности соответствующего микроконтакта. (a, b, c) – дефект пленки SiO₂ первого и (d, e, f) второго типа соответственно. Время действия переменного напряжения (6 В, частота 100 Гц) после переключения с постоянного, сек: a ~ 1, b – 100, c – 600, e ~ 1, f – 180. d – деформация слоя нематика в окрестности дефекта SiO₂ второго типа при действии постоянного напряжения 5 В. Толщина жк слоя 40 мкм

Fig. 1. Polarization image deformation homeotropically oriented nematic 5CB in the vicinity of the corresponding microcontact. (a, b, c) the first SiO₂ film -defect and (d, e, f) of the second type, respectively. Time of action of alternating voltage (6 V, 100 Hz) after switching from DC, seconds: a ~ 1, b – 100, c – 600, e ~ 1, f – 180. d – deformation of a nematic liquid crystal layer in the vicinity of the defect SiO₂ second type by the action of a DC voltage of 5 V. The thickness of the LC layer 40 microns

Рассмотрим поведение слоя гомеотропно ориентированного нематика под действием переменного напряжения после предварительного действия на ячейку постоянного напряжения с отрицательной полярностью по отношению к микроконтакту. После переключения с постоянного на переменное напряжение в окрестности микроконтакта наблюдается деформация поля директора нематика. В зависимости от типа дефекта пленки окиси кремния, а предварительные результаты данной работы позволяют разделить их на два типа (далее, условно, первый и второй тип соответственно), можно наблюдать три (рис. 1a) или две (рис. 1e) кольцевые области деформации нематика, разделенные участками гомеотропной ориентации. Отметим, что такое поведение нематика не соответствует механизму диэлектрического взаимодействия директора с внешним электрическим полем [1]. Из-за того что нематик 5CB обладает положительной анизотропией диэлектрической проницаемостью, переменное электрическое поле, создаваемое плоскими электродами (кремниевая подложка и прозрачный электрод), обязано стабилизировать исходную ориентацию нематика, но не деформировать её. Без предварительного действия на ячейку постоянного напряжения или после действия постоянного напряжения, но с полярностью + U относительно микроэлектрода, стабилизация гомеотропной ориентации в переменном поле действительно имеет место, за исключением центральной области для первого типа дефектов пленки SiO₂.

В окрестности микроконтакта, для случая дефектов SiO₂ первого типа, деформация гомеотропного нематика [1], (рис. 1a) при действии переменного напряжения имеет место всегда и с течением времени изменяется не существенно (рис. 1c). Исследование частотной зависимости деформации этой области (без предварительного действия постоянного напряжения) показало, что деформация наблюдается до частоты переменного напряжения 500–600 Гц. Это косвенно указывает на то, что деформация нематика в непосредственной близости от микроконтакта может быть обусловлена влиянием неоднородных электрических полей самого микроконтакта и ионных зарядов (соб-

ственных, не инжектированных) ЖК-материала, накапливающихся в его окрестности. Для второго типа дефектов SiO_2 деформация нематика в области микроконтакта в переменных электрических полях не наблюдается (рис. 1е) ни при каких условиях электрического возбуждения ЖК-ячейки. Учитывая выше изложенное, разделение дефектов диэлектрика SiO_2 на первый или второй тип можно проводить по наличию или отсутствию деформации в окрестности данного микроконтакта при действии на ячейку переменного напряжения без предварительного включения постоянного напряжения.

Кольцевые деформации 2, 3 (рис. 1а и 1е) слоя нематика обнаруживаются в окрестности микроконтактов обоих типов дефектов SiO_2 . Область деформации 3 (рис. 1а, 1е) достаточно быстро, в течении 2-3 десятков секунд исчезает (рис. 1б, 1ф). Для области 2 деформации нематика (рис. 1а, 1е) характерно следующее:

а) в первые несколько секунд после переключения с постоянного напряжения на переменное, яркость области деформации практически не изменяется, причем может наблюдаться даже её уменьшение по сравнению с первоначальным уровнем, но далее, всегда, имеет место её возрастание, и на максимум яркость выходит через 1–2 минуты (рис. 1б);

б) в течении последующих 10–20 минут, в зависимости от условий электрической «накачки» ячейки постоянным напряжением, эта область деформации возвращается в исходное состояние гомеотропной ориентации, при этом темп возврата в исходное состояние ориентации не зависит от факта действия на ячейку переменного напряжения или его отсутствия;

в) при выключенном переменном напряжении в любой момент времени наблюдается гомеотропная ориентация нематика без каких-либо её нарушений.

Рис. 2 демонстрирует типичные кривые распределения яркости деформированного нематика в окрестности микроконтакта, из которых следуют характерные размеры указанных выше трех областей деформации, характер их расширения и изменения яркости в разные моменты времени после переключения с постоянного на переменное напряжение.

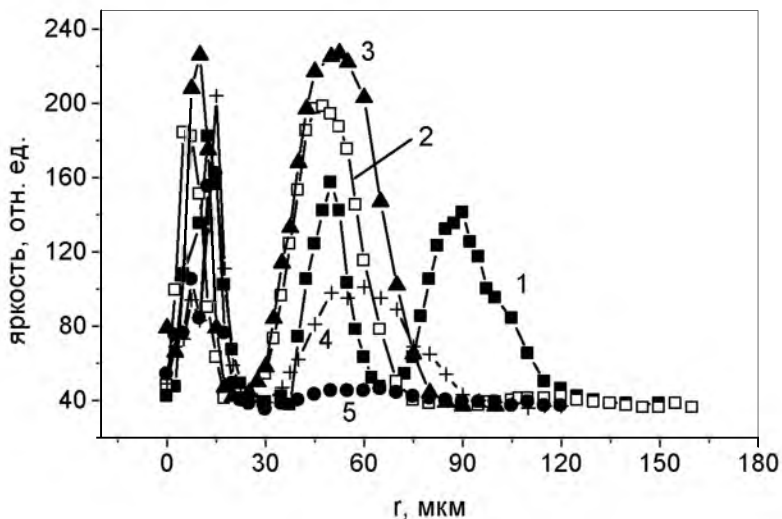


Рис. 2. Типичное распределение яркости деформированного нематика вдоль радиуса r (расстояние от микроконтакта) для первого типа дефекта пленки окиси кремния. Время после включения переменного напряжения (6В, 100 Гц), сек: 1–1, 2–20, 3–120, 4–300, 5–600. Толщина ЖК-слоя 40 мкм
Fig. 2. The typical distribution of brightness along the deformed nematic of radius r (the distance from the point contact) for the first type of silicon oxide film defect. Time after switching on the AC voltage (6V, 100 Hz), s: 1–1, 2–20, 3–120, 4–300, 5–600. The thickness of the LC layer 40 microns

Динамика деформации нематика, которая демонстрирует характерное время порядка минуты, а также имеющий место факт интервала времени с явно возрастающей интенсивностью деформации (кривые 1, 2, 3, рис. 2), позволяет исключить механизм данного электрооптического эффекта, который основывался бы на влиянии электрического поля ионного заряда, накопленного в течении действия постоянного напряжения или флексоэлектричестве [5]. Существенно также, что визуализация области 2 деформации нематика может наблюдаться для переменного напряжения с частотой больше чем 10^3 Гц вплоть до $3 \cdot 5 \cdot 10^3$ Гц, что исключает перенос ионных зарядов, их накопление, и, следовательно, формирование неоднородных электрических полей, способных переориентировать нематик.

Мы полагаем, что механизм деформации нематика связан с изменениями ЖК-материала вследствие появления в нем нескольких видов электрически индуцированных примесей. Ионная инжекция в системе микроэлектрод – плоскость [6] способствует протеканию электрохимических реакций и комплексообразованию [7]. В этом случае, за поведение области 2 отвечают как минимум две примеси, условно, активатор деформации А и ингибитор В, причем время жизни последнего – меньше времени жизни активатора А. Деформация нематика в переменном электрическом поле обусловлена навязыванием примесью А исходному нематiku отрицательной анизотропии диэлектрической проницаемости, тогда как примесь В, которая представляет собой определённый молекулярный комплекс (как и активатор А), тушит восприимчивость нематика к электрическому полю. Распад ингибитора В сопровождается увеличением яркости и пространственного размера области 2 (кривые 1, 2, 3, 4, 5, рис. 2).

Примеси А и В разносятся по слою жидкого кристалла в окрестности микроконтакта с определённым пространственным распределением за счет потока ЖК-материала, который имеет место при действии постоянного напряжения [8]. Реалистичность такого процесса косвенно вытекает из наблюдаемой корреляции в распределении яркостей деформации нематика в постоянном, когда имеет место циркуляция ЖК-материала, и переменном электрических полях (рис. 1d и 1e) соответственно, а также из экспериментального факта, согласно которому область 2 деформации нематика может быть искусственно смещена по направлению течения ЖК-материала, которое может быть вызвано механической деформацией ЖК-ячейки.

Подтверждение, что формирование примесей, изменяющих свойства ЖК-материала, происходит при действии постоянного напряжения, видно из следующего эксперимента. В период действия постоянного напряжения на ЖК-ячейку с кремнием р-типа проводимости в качестве подложки, на некоторое время включается облучение фрагмента области деформации нематика сфокусированным излучением He-Ne (0,63 мкм) лазера, как показано на рис. 3а. После выключения лазерного облучения в течении 3–4 секунд в области, подвергшейся облучению видна локальная допереориентация нематика, в области которой директор отклоняется от нормали в большей степени (отмечено стрелкой на рис. 3б). Принимая во внимание механизм деформации нематика при действии постоянного напряжения [8], локальная допереориентация нематика, место которой коррелирует с распределением интенсивности излучения в лазерном пятне, очевидно, связана с процессами обеднения и локальной генерацией неравновесных носителей в приповерхностном слое кремния. Следствием этого является дополнительное увеличение падения напряжения на слое ЖК в области действия лазерного пятна. Поэтому, нематик с неизменёнными свойствами, в области лазерного пятна проявлял бы тенденцию к вертикальному выстраиванию молекул, однако эксперимент демонстрирует противоположное, что интерпретируется появлением в исходном ЖК-материале примесей индуцирующих отрицательную анизотропию диэлектрической проницаемости.

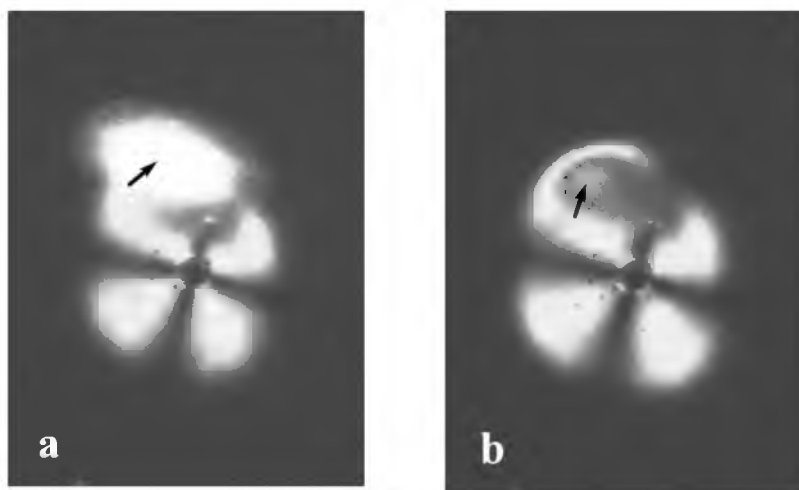


Рис. 3. Облучение лазерным излучением фрагмента области деформации нематика. Стрелка отмечает область максимальной интенсивности в лазерном пятне. b – Локальная допереориентация нематика в области (отмечено стрелкой) ранее действовавшего лазерного излучения. Толщина ЖК-слоя 20 мкм. Напряжение 4 В

Fig. 3. The irradiation region fragment nematic deformation laser radiation. The arrow marks the area of maximum intensity of the laser spot. b – Local dopereorientatsiya nematic in the region (marked by arrow) pre-existing laser.

LCD layer thickness 20 microns. Voltage 4

Таким образом, анализ деформации нематика в постоянных и переменных электрических полях в окрестности микроконтакта позволяет утверждать, что в результате протекания электриче-



ского ионного тока в ЖК-материале из класса цианобифенилов (5CB), формируются как минимум две короткоживущие примеси, изменяющие свойства исходного ЖК-материала. Первая примесь выполняет роль активатора деформации в переменном электрическом поле за счет изменения анизотропии диэлектрической проницаемости с положительной на отрицательную, тогда как вторая примесь тушит восприимчивость нематика к электрическому полю.

Список литературы

1. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л.М. Блинов. – М.: Наука, 1978. – 384 с.
Blinov L.M. Electro and magneto-optics of liquid crystal / L.M. Blinov. – М.: Nauka, 1978. – 384 p.
2. Yang D.K., Wu S.T. Fundamentals of Liquid Crystal Devices / D.K. Yang, S.T. Wu. – John Wiley&Sons, Ltd, 2006. – 378 p.
3. Gritsenko N.I. Long-term change of nematic alignment at defect of SiO₂ in LCoS, Proc. of Int. Conf. on Advanced Display Technologies / N.I. Gritsenko, S.I. Kucheev, P.M. Litvin. – Minsk, 2004. – P. 56-60.
4. Gritsenko N.I. A model for the space-nonuniform electric field in nematic liquid crystal over dielectric defect/ N.I.Gritsenko, S.I.Kucheev, N.V. Moshel // Mol.Cryst.Liq.Cryst.- 1990. – V. 193. – P. 43-46.
5. Невская Г.Е. Электрофизика структуры ЖК-Д-полупроводник / Г.Е. Невская, В.Г. Чигринов, И.В. Тихомиров, С.Ф. Дзенис, Г.А. Береснев // Известия АН СССР. Сер.физ. – 1989. – Т. 53. – №10. – С. 2044–2058.
Nevskaya G.E. Electrophysics of LC-D-semiconductor structure / G.E. Nevskaya, V.G. Chigrinov, I.V. Tikhomirov, S.F. Dzenis, G.A. Beresnev / Ivestiya AN SSSR. iss. phys. – 1989. – V. 53. – № 10. – P. 2044–2058.
6. Ламперт М. Инжекционные токи в твердых телах / М. Ламперт, П. Марк; пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 416 с.
Lampert M. Injection currents in solid / M. Lampert, P. Mark; translated from Eng. – М.: Mir, 1973. – 416 p.
7. Жакин А.И. Ионная электропроводность и комплексообразование в жидких диэлектриках / А.И. Жакин // Успехи физических наук. – Т.173. – № 1. – С. 51-68.
Zhakin A.I. Ionic conductivity and complexation in liquid dielectrics / A.I. Zhakin / Uspekhi physics nauk. – V. 173. – № 1. – P. 51-68.
8. Кучеев С.И. Визуализация потока нематика в окрестности дефекта диэлектрика в структуре Si/SiO₂/нематик/электрод / С.И. Кучеев, Н.В. Малай, Ю.С. Тучина // Научные ведомости БелГУ. Серия Математика. Физика. – № 5 (176). – 2014. – № 34. – С. 191–195.
Kucheev S.I. Visualization of flow of nematic in the vicinity of dielectric defect in Si/SiO₂/nematic/electrode structure / S.I. Kucheev, N.V. Malai, Yu.S. Tuchina // Nauchnie vedomosti BelGU, Ser. Mathematics. Physics. – № 5 (176). – 2014. – № 34. – P. 191–195.