

ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА И РЕЛАКСАЦИИ НЕМАТИКА, ДОПИРОВАННОГО КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ CdSe/ZnS

© 2015 Д.П. Щербинин, Е.А. Коншина, И.Ф. Галин

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Поступила в редакцию 05.02.2015

Работа посвящена изучению электрооптических свойств НЖК легированных CdSe / ZnS полупроводниковых квантовых точек с концентрацией в диапазоне 0,5-1,5 мг/мл. Мы показали тенденцию уменьшения времени оптического отклика и порогового напряжения эффекта Фредерикса с увеличением концентрации квантовых точек.

Ключевые слова: жидкие кристаллы, квантовые точки, электрооптические эффекты, оптический отклик.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из новых подходов к улучшению электрооптических свойств жидких кристаллов (ЖК) является допирование их наночастицами. Исследование динамики процессов отклика и релаксации жидких кристаллов, допированных наночастицами представляет интерес как для фундаментальных, так и прикладных исследований в области физики конденсированного состояния, а также практического использования нанокомпозитных сред в фотонных устройствах. Добавление наночастиц изменяет параметр ориентационного порядка жидкого кристалла, который влияет на диэлектрическую анизотропию и коэффициенты упругости. Допирование ЖК на основе 4-циано-4'-пентилбифенила наночастицами CdS средним размером 3,5 нм и концентрацией 0,1 и 0,2 вес. % приводило к уменьшению параметра ориентационного порядка и времени оптического отклика твист-ячеек. Однако при этом наблюдалось увеличение времени релаксации ЖК в исходное состояние [1]. Замедление процесса релаксации обусловлено понижением коэффициента упругости жидкого кристалла при добавлении КТ [1]. Значительное уменьшение времени оптического отклика до 200 мкс наблюдалось в твист-ячейке с толщиной слоя ЖК, равной 8 мкм, и содержанием 1 мг/мл квантовых точек (КТ) CdSe/ZnS. Ускорению процесса переключения способствует уменьшение порогового напряжения эффекта Фредерикса при допировании ЖК наночасти-

цами. Вместе с тем с увеличением содержания полупроводниковых квантовых точек CdSe/ZnS в нематике с положительной диэлектрической анизотропией наблюдалось понижение фазовой задержки, что связано с увеличением начального угла наклона директора ЖК [2].

Оптический отклик нематического жидкого кристалла сопровождается модуляцией интенсивности и фазы оптического сигнала. Время отклика определяется динамикой процесса переориентации *директора* в слое жидкого кристалла [3]. Ускорению процесса переориентации молекул нематика способствуют увеличение начального угла наклона директора и уменьшение энергии сцепления ЖК с поверхностью [4]. На время оптического отклика ЖК устройств существенное влияние оказывают параметры электрического поля. Наиболее эффективное воздействие на переориентацию ЖК молекул оказывает приложение постоянного потенциала электрического поля. [5, 6] Для направленного создания нанокомпозитных сред на основе жидких кристаллов, допированных наночастицами, актуальным является проведение исследований динамики процесса переориентации молекул нематика и влияние на него концентрации наночастиц. Целью этой работы было исследование динамики отклика и релаксации ЖК ячеек с нематическим жидким кристаллом, допированных полупроводниковыми квантовыми точками CdSe/ZnS и влияния на время переключения концентрации наночастиц.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Способ изготовления ЖК ячеек

Все исследования проводились на плоскопараллельных ячейках с фиксированным зазором, состоящих из двух стеклянных подложек, на поверхность которых были нанесены слои

Щербинин Дмитрий Павлович, инженер центра "Информационные и оптические технологии".

E-mail: shcherbinin.dmitrij@gmail.com

Коншина Елена Анатольевна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник центра "Информационные и оптические технологии".

E-mail: eakonshina@mail.ru

Галин Ильдар Фирдавиевич, инженер центра "Информационные и оптические технологии".

E-mail: ildar.f.galin@gmail.com

Таблица 1. Параметры ЖК ячеек

№ ЖК ячейки	Толщина НЖК, мкм	Концентрация КТ, мг/мл
1	14,5	0
2	13,2	0,5
3	13,4	1
4	13,6	1,5

прозрачного проводящего электрода на основе окислов индия и олова. Для создания гомогенной ориентации ЖК в качестве ориентирующего слоя использовался натертый полиимид. Толщину зазора ЖК ячеек контролировали путем измерения емкости пустой ячейки. В работе использовали ЖК-1282 (НИОПИК) с оптической анизотропией $\Delta n = 0,17$ на длине волны 632,8 нм и диэлектрической анизотропией $\Delta \epsilon = 9,9$ на частоте 1 кГц. Полупроводниковые КТ CdSe/ZnS типа ядро-оболочка размером 3.5 нм использовали для допирования ЖК. Навески КТ 0.05, 0.1 и 0.15 мг/мл добавлялись в нематическую мезофазу ЖК. Перед заполнением ячеек суспензия ЖК с КТ перемешивались в ультразвуковой ванне около 1 часа. В табл. 1 приведены данные о толщине слоя ЖК и концентрация КТ исследуемых ЖК ячеек.

2.2. Измерение электрооптических характеристик ЖК ячеек

При проведении экспериментов по измерению электрооптических характеристик ЖК ячеек была использована классическая оптическая схема. Ячейка с ЖК размещалась между двумя скрещенными поляризаторами. В качестве источника излучения использовался полупроводниковый лазерный диод с длиной волны 0,65 мкм. Исследования особенностей оптического отклика и релаксации ЖК ячеек проводились с помощью многокомпонентной модульной системы управления на основе LTR34, позволяю-

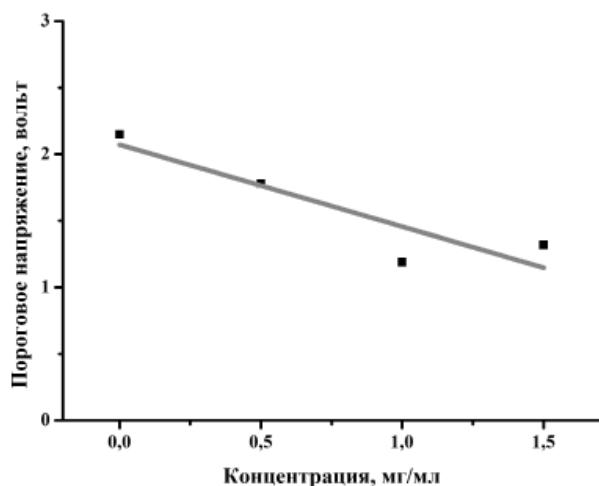


Рис. 1. Изменение порогового напряжения ЖК ячеек в результате допирования КТ CdSe/ZnS

щей гибко изменять параметры электрического поля. С помощью компьютерной программы проводились автоматический ввод/вывод и обработки аналоговых и цифровых данных, а также управления оптическим откликом ЖК устройств [8]. Измерения динамических характеристик ЖК ячеек проводилось при приложении переменного электрического поля в форме прямоугольного импульса 30 В и частотой 1 кГц. Временные зависимости оптического отклика и релаксации регистрировались с помощью компьютерной программы для тестирования ЖК ячеек [9]. Погрешности измерения определяются погрешностью осциллографа и не превышают по нашим оценкам 10%.

2.3. Влияние допирования квантовыми точками CdSe/ZnS на оптический отклик и релаксацию нематического жидкого кристалла

Увеличение концентрации КТ в ЖК ячейках приводило к снижению порогового напряжения, как видно из зависимости на рис. 1. Значения порогового напряжения получены путем экстраполяции зависимостей фазовой задержки от эффективного напряжения, приложенного к ЖК ячейкам [7]. Изменение величины порога связано с уменьшением параметра порядка, который влияет на коэффициент упругости и диэлектрическую анизотропию жидкого кристалла, в соответствии с формулой

$$U_{th} = \pi \sqrt{K_{11}} / \sqrt{\epsilon_i \Delta \epsilon}, \quad (1)$$

где K_{11} – коэффициент упругости поперечной деформации, $\Delta \epsilon$ – диэлектрическая анизотропия ЖК и ϵ_0 диэлектрическая проницаемость вакуума.

Оценка начального угла наклона директора в ЖК ячейках, по изменению максимального значения фазовой задержки показала, что при вариации концентрации от 0,5 до 1,5 мг/мл угол изменялся на ~8 градусов. Зависимость максимальной фазовой задержки измеренной с помощью классической оптической схемы, в которой ЖК ячейка размещена между поляризатором и скрещенным с ним анализатором, показана на рис. 2. Зависимость угла преднаклона директора ЖК представлена на рис. 3.

Понижение порога должно способствовать уменьшению времени оптического отклика ЖК ячеек допированных КТ в соответствии с формулой

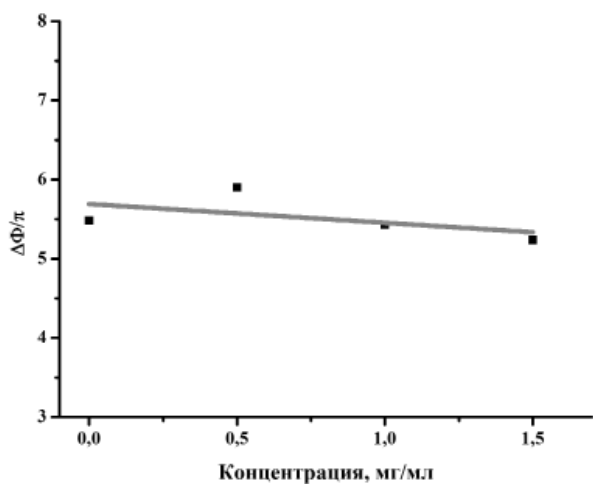


Рис. 2. Изменение фазовой задержки ЖК ячеек в результате допирования КТ CdSe/ZnS

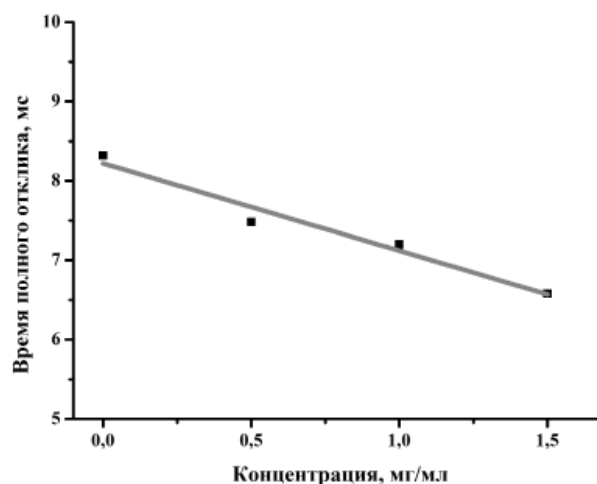


Рис. 4. Изменение времени полного отклика ЖК ячеек в результате допирования КТ CdSe/ZnS

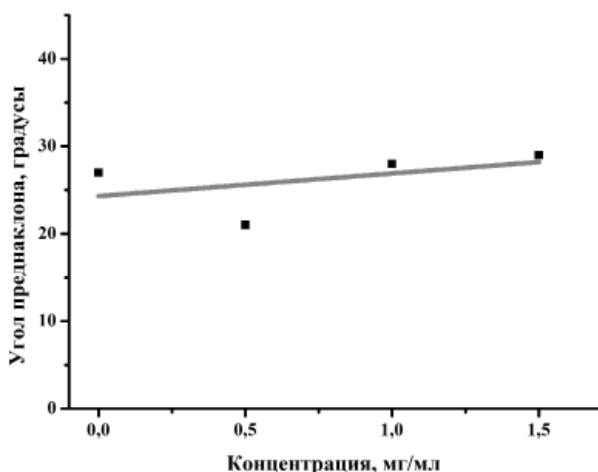


Рис. 3. Изменение угла преднаклона директора ЖК ячеек в результате допирования КТ CdSe/ZnS

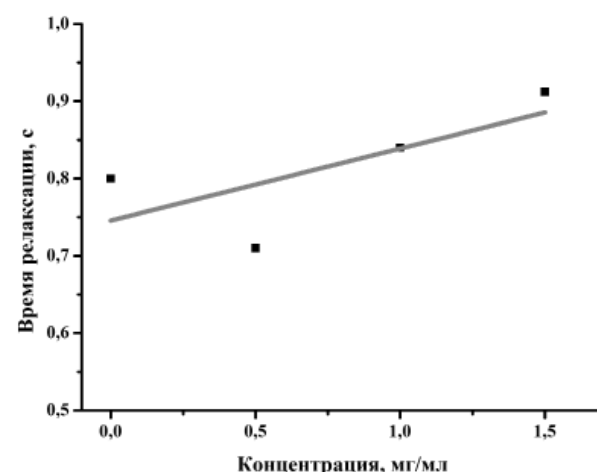


Рис. 5. Изменение времени оптической релаксации ЖК ячеек в результате допирования КТ CdSe/ZnS

$$\tau_a = \frac{\gamma_1}{\epsilon_0 \Delta \epsilon(f_i)} \frac{d^2}{(U^2 - U_h^2)}, \quad (2)$$

где γ_1 – вязкость и d – толщина слоя ЖК. Экспериментальная зависимость времени полного отклика от концентрации КТ на рис. 4 свидетельствует о тенденции к уменьшению времени отклика ЖК ячейки с увеличением её от 0,5 до 1,5 мг/мл.

Вместе с тем добавление КТ привело к замедлению процесса релаксации ЖК. Зависимость времени естественной релаксации от концентрации квантовых точек показана на рис. 5. Время естественной релаксации нематика зависит от вязкости и коэффициента упругости K_{33} в соответствии с формулой

$$\tau_{off} = \gamma_1 d^2 / \pi^2 K_{33}. \quad (3)$$

Увеличение концентрации КТ должно приводить к уменьшению параметра ориентационного порядка и понижению упругости нематика, что вызывает увеличение времени релаксации. Кроме того, введение в ЖК матрицу различных примесей, в том числе и квантовых точек, может

увеличивать концентрацию объемного заряда, накапливаемого на межфазных границах ЖК ячейки, что так же способствует увеличению времени релаксации.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы провели экспериментальные исследования оптических и динамических характеристик ЖК ячеек с гомогенно ориентированным натертым полиимидом нематическим жидким кристаллом, допированным полупроводниковыми квантовыми точками CdSe/ZnS. Полученные зависимости свидетельствуют о том, что с увеличением концентрации КТ до 1,5 мг/мл наблюдается понижение порогового напряжения, связанное с изменением параметра порядка и анизотропных и вязкоупругих свойств ЖК матрицы. При этом наблюдалось увеличение угла преднаклона директора до 8°. Показано, что при увеличении концентрации квантовых точек до 1,5 мг/мл время оптического отклика уменьшалось в 1,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kinkead B., Hegmann T.* Effects of size, capping agent and concentration of CdSe and CdTe quantum dots doped into a nematic liquid crystal on the optical and electro-optic properties of the final colloidal liquid crystal mixture. // *J. of Material Chemistry*, 2010, v. 20, p. 448-458.
2. *Коншина Е.А., Гавриш Е.О., Орлова А.О., Артемьев М.В.* Влияние полупроводниковых квантовых точек на оптические и электрические характеристики жидкокристаллических ячеек // *Письма в ЖТФ*. 2011, т. 37, в. 21, с. 47-54.
3. *Wang H., Wu T. X., Zhu X., Wu S.-T.* Correlations between liquid crystal director reorientation and optical response time of a homeotropic cell // *J. of Appl. Phys.*, 2004, v. 95, No 10, p. 5502-08.
4. *Nie X., Xianyu H., Lu R., Wu T.X.* Pretilt Angle Effects on Liquid Crystal Response Time // *J. of Display Technology*, 2007, v. 3, No. 3, p. 280-83.
5. *Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П., Исаяев М.В., Костомаров Д.С.* Динамика спада оптического пропускания в ячейках с двухчастотным нематическим жидким кристаллом // *Письма в ЖТФ*, 2008. т. 34, № 9, с. 87-94.
6. *Golovin A. B., Shiyanovskii S. V., Lavrentovich O. D.* Fast switching dual-frequency liquid crystal optical retarder, driven by an amplitude and frequency modulated voltage // *Appl. Phys. Lett.*, 2003, v. 83, No. 19, p. 3864-3866
7. *Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П.* Определение угла наклона директора и фазовой задержки жидкокристаллических ячеек оптическими методами. // *Опт. журн.* 2006. Т.73. №12. С. 9-13.
8. Свидетельство о гос. регистрации №20116115197 от 9 сентября 2011г. Программа для управления параметрами электрического поля в ЖК устройствах.
9. Свидетельство о гос. регистрации № 2012611388 от 12.04.2012. Программа для тестирования оптических жидкокристаллических компонентов.

**FEATURES OF THE OPTICAL RESPONSE AND RELAXATION OF NEMATIC LC
DOPED WITH CdSe/ZnS QUANTUM DOTS**

© 2015 D.P. Shcherbinin, E.A. Konshina, I.F. Galin

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

This work is devoted to study electro-optical properties of the NLC doped CdSe/ZnS semiconductor quantum dots with a concentration in the range of 0.5-1.5 mg / ml. We showed the reducing tendency of the optical response times and the threshold voltage of the Fredericks effect with the increase of the quantum dots concentration.

Key words: liquid crystal, quantum dots, electro-optical effects, optical response

Dmitry Shcherbinin, Engineer of the Center "Information and Optical Technologies". E-mail: shcherbinin.dmitrij@gmail.com
Elena Konshina, Doctor of Physics and Mathematics, Leading Research Fellow of the center "Information and Optical Technologies". E-mail: eakonshina@mail.ru
Ildar Galin, Engineer of the Center "Information and Optical Technologies". E-mail: ildar.f.galin@gmail.com