

03;04

Влияние полупроводниковых квантовых точек CdSe/ZnS на динамические свойства нематической жидкокристаллической среды

© Н.А. Шурпо, М.С. Вакштейн, Н.В. Каманина

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова,
Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики
Научно-исследовательский институт прикладной акустики,
Московская область, Дубна
Санкт-Петербургский государственный технический университет „ЛЭТИ“
E-mail: nvkamanina@mail.ru

Поступило в Редакцию 27 октября 2009 г.

Кратко рассмотрен вопрос о влиянии квантовых точек на нематическую жидкокристаллическую мезофазу. В данной работе впервые изучено влияние нанобъектов в виде полупроводниковых квантовых точек CdSe/ZnS на временные характеристики жидких кристаллов из класса цианобифенилов. Установлено значительное сокращение времени переориентации жидкокристаллических молекул из планарного в гомеотропное положение при сенсбилизации среды данного вида нанобъектами.

В настоящее время жидкие кристаллы в силу сочетания уникальных электрооптических и ориентационных свойств широко используются в разных областях науки и техники [1]. Однако наиболее распространенные нематические ЖК-системы обладают достаточно большой инерционностью, что несколько сдерживает их для применения в системах коррекции фазовых aberrаций, скоростного переключения и конверсии лазерного излучения. Для повышения быстродействия нематических ЖК наряду с оптимизацией конструкторского решения и схем управления применяется наноструктурирование различного вида нанобъектами, такими, например, как фуллерены и нанотрубки [2–7]. Введение указанных нанобъектов позволяет изменить параметр поряд-

ка ЖК, переводя нематик в квазисмектическое состояние с понижением температуры фазового перехода от 61 до 48°C, увеличением параметра порядка [6] и локальной поляризуемости единицы объема среды [2,7].

В данной работе продолжено исследование по улучшению быстрого действия нематической ЖК-среды при расширении класса нанообъектов за счет введения в ЖК квантовых точек (КТ) на основе структуры CdSe/ZnS.

Исследование ЖК-ячейки толщиной 4–10 μm , собранные в S-конфигурации. В качестве прозрачных электродов использовались окислы SnO₂ и In₂O₃. Ориентирующий слой обеспечивал планарную укладку молекул ЖК. В качестве ЖК использовались стандартные нематики с положительной величиной оптической диэлектрической анизотропии. В объем ЖК были введены донорно-акцепторные комплексы; в качестве органического донора использовалась полимерная полиимидная матрица (донорный фрагмент — трифениламин), а в качестве акцептора — КТ CdSe/ZnS размером наночастиц $d \sim 4.5\text{--}6 \text{ nm}$, значением сродства к электрону на уровне 4.63 eV. Синтез КТ проводился в высококипящем органическом растворителе, с применением длинноцепочечных аминов и жирных органических кислот в качестве стабилизаторов поверхности наночастиц [8]. Полученные в процессе синтеза КТ обладали гидрофобными свойствами в связи с наличием адсорбционного слоя неполярных углеводородов на поверхности. Соотношение вводимого комплекса к ЖК было 1:10. К сформированным ЖК-ячейкам прикладывалось напряжение питания в форме прямоугольных импульсов с амплитудой 12–25 V, длительностью от 1 до 7 ms и частотой следования импульса 0.5–25 Hz. Регистрировалось изменение пропускания через ячейку излучения He–Ne-лазера с длиной волны $\lambda = 633 \text{ nm}$. Динамические характеристики (времена включения и выключения) определялись по реакции ЖК-мезофазы (нарастанию электрооптического отклика от уровня 0.1 до уровня 0.9) и по релаксации сенсibilизированной среды (спаду электрооптического отклика от его максимального значения до уровня 0.1). На рис. 1 представлены зависимости времени включения и выключения исследованных ЖК-структур с КТ от параметров управляющего воздействия. На рис. 2 показана возможная модель переноса заряда в системе органический донор–КТ, которая была введена в ЖК-матрицу.

Анализируя полученные зависимости, можно сказать, что введение нанодобавок в виде КТ CdSe/ZnS привело к существенному ускорению

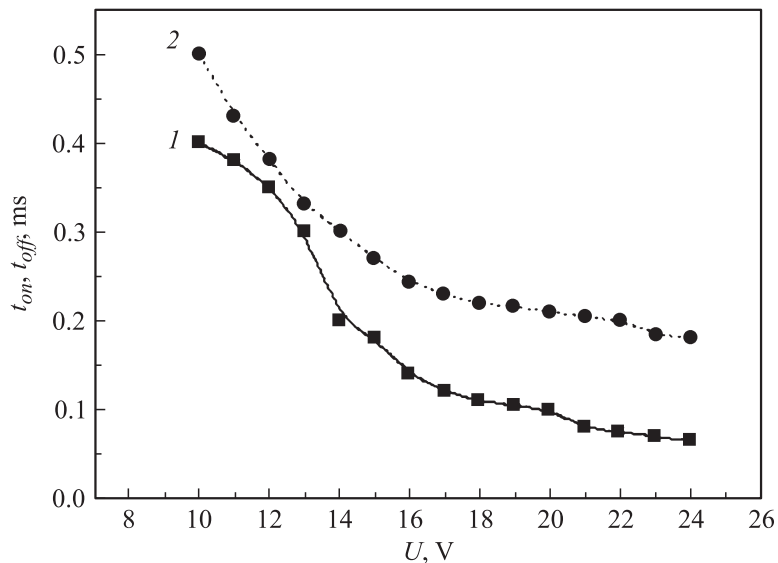


Рис. 1. Зависимость времени включения (1) и выключения (2) от амплитуды импульса питания для НЖК-системы на основе комплекса с КТ CdSe/ZnS.

переориентации молекул ЖК из планарного в гомеотропное положение при включении управляющего воздействия. Объяснение полученных результатов вполне логично укладывается в модель, предложенную в работе [7]. Основная идея процесса ускорения заключалась в создании большего дипольного момента в среде при введении наноструктур, что обусловлено увеличенным путем безбарьерного переноса заряда и высоким сродством к электрону вводимых нанобъектов. Структурирование ЖК нанобъектами приводило к увеличению локальной поляризации единицы объема среды (в этих средах существенно растет кубичная нелинейность), что вызывало появление быстрого отклика ЖК на управляющее воздействие. Итак, введение комплексов на основе КТ CdSe/ZnS в ЖК-мезофазу не противоречит данной модели и вполне укладывается в ряд полученных временных зависимостей, расширяя класс нанобъектов, используемых для модификации свойств ЖК и оптимизации временных характеристик. Предполагаемый механизм

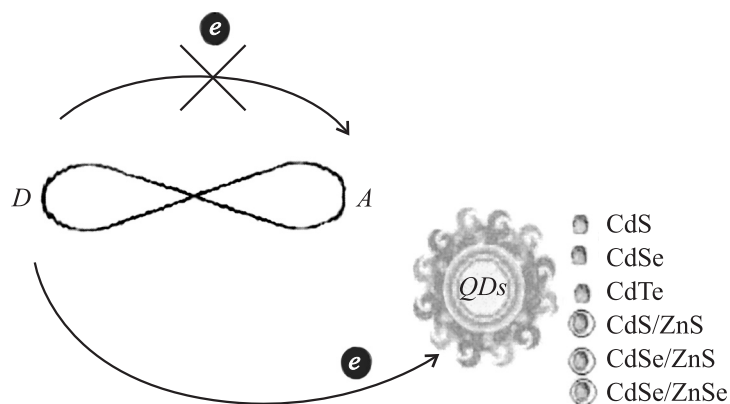


Рис. 2. Возможный переход носителей заряда с внутримолекулярного донора органической молекулы на КТ.

передачи энергии от донора органической молекулы к КТ показан на рис. 2.

В заключение, проведено исследование влияния нанообъектов в виде полупроводниковых КТ CdSe/ZnS на временные характеристики жидких кристаллов. Предполагается, что изменение пути переноса заряда не на внутримолекулярный акцептор, а на межмолекулярную КТ с величиной сродства к электрону у КТ большей, чем у выбранной органической молекулы (1.14–1.44 eV у диимидного акцепторного фрагмента органической молекулы; 4.63 eV у используемых КТ), приводит к формированию дипольного момента и повышенной дипольной поляризуемости системы. Как было сказано ранее, подобным образом образуются различные комплексы в фуллеренсодержащих системах и структурах с нанотрубками [2–7], при этом значительно увеличивается быстродействие переключения лазерного излучения в ЖК, цикл включение–выключение формируется на уровне 0.5 ms и менее, вплоть до 200–250 μ s при амплитуде управляющего напряжения на уровне 23–25 V.

Заметим, что, проведя сравнение данных по временам переключения именно нематической ЖК-мезофазы, что при сенсбилизации ЖК различными красителями быстродействие получено на уровне 20, 5,

74, 10 ms соответственно авторами публикаций [9–12], а при создании капсулированной полимером ЖК-мезофазы, исследованной при записи дифракционных решеток, получены времена переключения от 0.2 до 3 ms [13].

В дальнейшем планируется провести масс-спектрометрические и ЯМР-исследования ЖК с КТ, а также оптимизировать схему питания с применением двухполярного импульсного электрического воздействия.

Результаты работы могут быть полезны для целей дисплейной и лазерной техники, а также для медицины.

Работа была выполнена в отделе „Фотофизика сред с нанобъектами“ ФГУП НПК „ГОИ им. С.И. Вавилова“. Частично работа финансировалась из средств НИР „Огранка-2“, а также гранта УМНИК № 10036.

Авторы благодарят сотрудников ГОИ им. С.И. Вавилова П.Я. Васильева и В.И. Студенова за нанесение проводящих контактов и проведенные спектральные измерения соответственно.

Список литературы

- [1] *Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В.* Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.
- [2] *Kamanina N.V.* // Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. 2002. V. 4. N 4. P. 571–574.
- [3] *Kamanina N.V., Voronin Yu.M., Kityk I.V., Danel A., Gondek E.* // Spectrochimica Acta. Part A. 2007. V. 66. P. 781–785.
- [4] *Kamanina N.V., Vasilyev P.Ya., Vangonen A.I., Studeonov V.I., Usanov Yu.E., Kajzar F., Attias A.-J.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2008. V. 485. P. 197[945]–206[954].
- [5] *Shurpo N.A., Kamanina N.V., Serov S.V., Shmidt A.V., Margaryan H.L.* // Diamond Relat. Mater. 2009. V. 18. N 5–8. P. 931–934.
- [6] *Kamanina H.B., Комолкин А.В., Евлампиева Н.П.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 11. С. 65–70.
- [7] *Каманина Н.В.* // УФН. 2005. Т. 175. № 4. С. 445–454.
- [8] *Новичков Р.В., Нодова Е.Л., Мартынов Я.Б., Вакштейн М.С.* // Тезисы VIII Международной научн. конф. „Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии“. Кисловодск, 14–19 сентября 2008 г. С. 458.
- [9] *Simoni F., Cipparrone G., Umeton C., Arabia G., Chidichimo G.* // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. P. 896–897.

- [10] *Cipparrone G., Mazzulla A., Nicoletta F.P., Lucchetti L., Simoni F.* // Opt. Commun. 1998. V. 150. P. 297–304.
- [11] *Wang Y.-J., Carlisle G.O.* // J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 2002. V. 13. P. 173–178.
- [12] *Miniewicz A., Parka J., Bartkiewicz S., Januszko A.* // Pure Appl. Opt. 1998. V. 7. P. 179–189.
- [13] *Неизвестный И.Г., Шабанов В.Ф.* Инновационный проект № 18. Разработка физических основ создания структурно упорядоченных жидкокристаллических композитов и управляющих их свойствами полупроводниковых элементов для оптоэлектронных устройств нового поколения. ИФП, ИТПМ, ИФ, СКТБ „Наука“ СО РАН.