

06

## **Перспективы использования прозрачных проводящих покрытий с фуллеренами и нанотрубками для дисплейных элементов нового поколения**

© П.Я. Васильев, Н.В. Каманина

ФГУП „ГОИ им. С.И. Вавилова“, Санкт-Петербург  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)  
Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО)  
E-mail: nvkamanina@hotmail.com; kamanin@ffm.ioffe.ru

*В окончательной редакции 28 февраля 2007 г.*

В качестве нового перспективного пути повышения быстродействия жидкокристаллических структур при условии достижения приемлемого контраста предложено использовать проводящие покрытия на основе фуллеренов и нанотрубок. Улучшена ориентация молекул жидкого кристалла на поверхности раздела твердое тело–мезофаза без непосредственного использования ориентирующих слоев, увеличена прозрачность системы, снижено напряжение питания, увеличена лазерная прочность и однородность новых покрытий в сравнении с ранее используемыми системами на основе окислов индия и олова. Дискутируется, что данные настоящего исследования могут быть применены при создании дисплейных элементов нового поколения. Результаты работы полезны при использовании жидкокристаллических пространственно-временных модуляторов света в сложных лазерных устройствах, где повышение лазерной прочности является одним из основных требований.

PACS: 42.70.Df, 77.84.Nh, 78.30.Na

Известно, что при реализации большинства дисплейных технологий в качестве матричной электрооптической среды используются нематические жидкие кристаллы. Нематики достаточно дешевы, легко управляемы, выдерживают существенные внешние механические и световые нагрузки, кроме того, спектральный и динамический режимы их работы могут быть легко оптимизированы при сенсбилизации

различными фоточувствительными добавками, например красителями, фуллеренами или нанотрубками [1–7]. Одной из важных проблем, с которой сталкивается исследователь при изучении и разработке новых устройств на основе нематических жидких кристаллов, является проблема получения высокого быстродействия. Стандартными путями повышения быстродействия являются: применение импульсного, а не постоянного напряжения питания, повышение амплитуды напряжения питания, выбор задержки между импульсом засветки структуры и импульсом питания, снижение толщины электрооптического слоя, выбор сенситизатора, влияющего на процессы поглощения и подвижность носителей заряда, выбор специальных ориентирующих покрытий, определяющих поверхностную энергию связи молекул жидкого кристалла и снижающих время релаксации мезофазы. Недавно нами было предложено использовать обработку прозрачных проводящих покрытий на основе окислов индия и олова поверхностной электромагнитной волной [8], что приводило к реализации времен переключения жидкокристаллического элемента на уровне 1–1.5 ms.

В настоящей работе продолжено изучение процессов переключения нематических жидких кристаллов из состояния с максимальным двулучепреломлением в состояние с минимальной его величиной при использовании в качестве ориентирующего и проводящего слоя прозрачных покрытий на основе фуллеренов и нанотрубок.

Использовались чистые или сенситизированные фуллеренсодержащим комплексом с переносом заряда нематические жидкокристаллические смеси, преимущественно из класса цианобифенилов с положительной величиной оптической и диэлектрической анизотропии. Применялись ЖК-1282, ЖК-1289, 5CB, E7 (BDH), а также использовался TN LC, применяемый в дешевых дисплейных технологиях и имеющий время релаксации на уровне 8–16 ms [9]. Толщина создаваемой жидкокристаллической ячейки задавалась тефлоновыми прокладками и составляла 5–10  $\mu\text{m}$ . Рабочая апертура модулятора составляла 10–35 mm. Начальная ориентация ЖК — планарная, использовался S-эффект. Прозрачные проводящие покрытия были получены методом лазерного напыления фуллеренов или нанотрубок; частично данные покрытия обрабатывались поверхностной электромагнитной волной. Однако заметим, что при применении нанообъектов (фуллеренов или нанотрубок) дополнительная обработка поверхностной электромагнитной волной не является принципиальной, поскольку процессы самоорга-

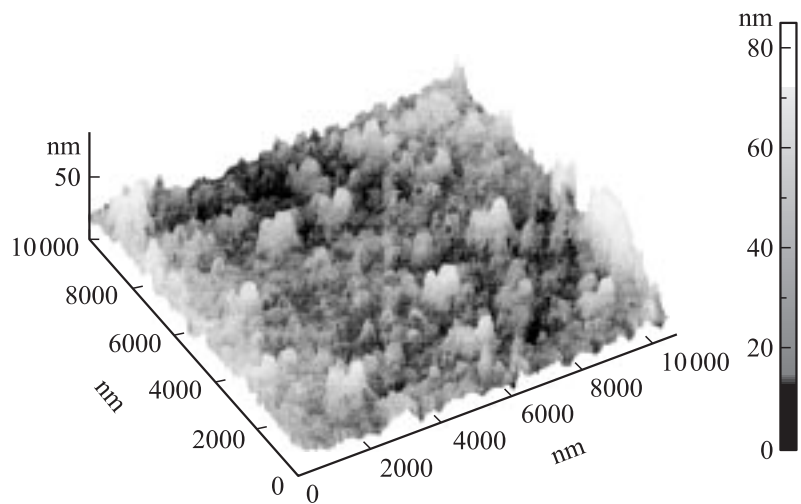
низации наноструктур уже позволяют реализовать рельеф поверхности с заданным направлением и структурой бороздок, что проявляется, например, при упорядочении ЖК в квазисмектические слои, показанные в работе [10]. Вновь образованный проводящий слой выполнял две функции, а именно: одновременно ориентирующего и проводящего покрытия. Измерения временных параметров жидкокристаллических ячеек в условиях реализации эффекта Фредерикса проводились по традиционной методике. Облучение ячейки проводилось He–N-лазером или светодиодами видимого диапазона спектра. Ячейка располагалась между двумя скрещенными поляроидами, для варьирования интенсивности засветки использовались калиброванные светофильтры. Диаметр пятна на структуре составлял 3 mm, максимальная мощность облучения составляла 10 mW, осуществлялся режим работы „на просвет“. Для питания ячейки использовалось напряжение питания в форме прямоугольных импульсов с параметрами импульса: амплитуда ( $A$ ) 4–20 V, длительность ( $\tau$ ) от 1 до 10 ms и частота следования ( $1/T$ ) от 0.5 до 100 Hz. Электрооптический отклик регистрировался после анализатора, стоящего за ячейкой, с помощью фотодиода и записывался на осциллографе Tekstronix TDS 220 в ждущем режиме. Время включения определялось как время нарастания электрооптического отклика от уровня 0.1 до уровня 0.9 его максимального значения. Время включения определялось как время затухания электрооптического отклика от его максимального значения до уровня 0.1. При случайной выборке изученных ячеек были получены временные характеристики и контраст, представленные в таблице.

Таким образом, видно, что временами переключения жидкокристаллической мезофазы возможно эффективно управлять не только за счет выбора условий засветки или питания, а также специальной обработки поверхности раздела твердое тело–жидкокристаллическая мезофаза, но и при использовании проводящих покрытий на основе фуллеренов и нанотрубок. Рельеф поверхности при применении углеродных нанотрубок в качестве ориентирующего и проводящего покрытия показан на рис. 1, а изменение проводящей поверхности после обработки поверхностной электромагнитной волной (ПЭВ) показано на рис. 2 (там же показан край подложки, не обработанной ПЭВ). Заметим, что в результате использования нанобъектов для создания проводящих контактов удалось существенно повысить прозрачность проводящих слоев. Действительно, пропускание новых покрытий, например на

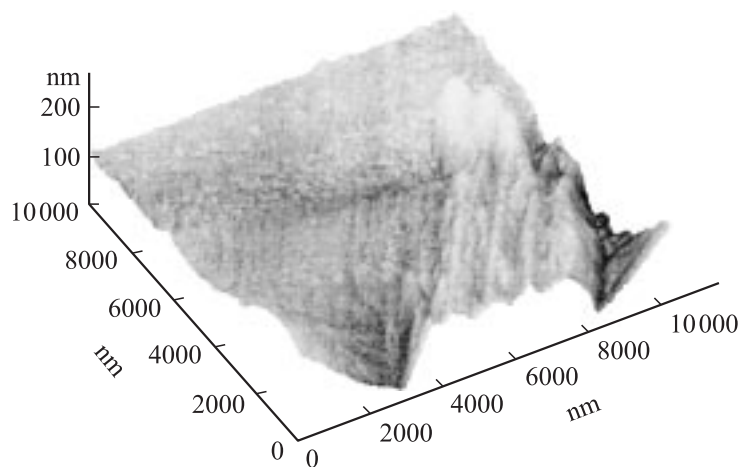
Тип жидкокристаллической структуры	Толщина слоя, $\mu\text{m}$	Амплитуда напряжения, V	Время включения, ms	Время выключения, ms	Контраст
E7	10	7–12	0.3	7	1 : 70
TN LC	10	4–9	0.2–0.25	5–8	1 : 60
TN LC + фуллеренсодержащий комплекс	10	4–9	0.025–0.03	0.5	1 : 70
E7	10	15–20	0.45	1.5	1 : 70
ЖК-1289 + фуллеренсодержащий комплекс	10	15	0.025–0.03	0.5	1 : 70
TN LC + фуллеренсодержащий комплекс	5	7–20	0.06–0.07	0.25–0.3	1 : 75
TN LC	5	8–15	0.65–0.7	2.5–3	1 : 80

основе углеродных нанотрубок, составляет величину  $\sim 90\%$  в диапазоне длин волн 200–3000 nm.

В заключение, в целях дальнейшего поиска путей увеличения быстродействия нематических жидкокристаллических структур и устройств на их основе, проведено исследование времен включения, выключения и контраста жидкокристаллических ячеек при условии использования в качестве проводящих и одновременно ориентирующих покрытий, слоев из фуллеренов и углеродных нанотрубок. Установлены следующие преимущества использования предложенного технологического метода: 1) снижение времен релаксации жидкокристаллической мезофазы, что привело к снижению времен включения и выключения; 2) возможность ориентирования жидкокристаллических молекул без непосредственного ориентирующего слоя; 3) уменьшение общего числа слоев в сложной сэндвич-структуре ячейки; 4) уменьшение амплитуды напряжения питания; 5) повышение прозрачности проводящих слоев в сравнении с ранее используемыми покрытиями на основе окислов индия и олова; 6) уменьшение стоимости жидкокристаллических элементов в



**Рис. 1.** AFM-image проводящего покрытия на основе углеродных нанотрубок.



**Рис. 2.** AFM-image проводящего покрытия, обработанного поверхностной электромагнитной волной.

связи с отсутствием необходимости применения технологии нанесения ориентантов, его сушки и натирания; 7) увеличение лазерной прочности покрытий за счет большого числа связей С–С у слоев с нанобъектами, сравнимых по прочности с алмазоподобными пленками.

Результаты проведенного исследования могут быть полезны при разработке жидкокристаллических дисплейных элементов нового поколения, пригодны для использования в лазерных системах, где вопрос о повышении лазерной прочности конструктивных элементов выходит на одно из первых мест, а также могут быть полезны для целей поляризационной оптики.

Авторы благодарят Ю.М. Воронина (Санкт-Петербургский университет „ИТМО“) за помощь в получении снимков поверхности новых покрытий с помощью методов атомно-силовой микроскопии, а также выражают признательность А.К. Филиппову (ООО „Плазмас“, Санкт-Петербург) за предоставление нанотрубок.

Работа выполнена при частичной поддержке Федеральной целевой программы „Национальная технологическая база“ (проект „Лимитер“ 2003–2006 гг., рук. докт. физ.-мат. наук Н.В. Каманина).

## Список литературы

- [1] *Schadt M.* // *Liq. Cryst.* 1993. V. 14. P. 73–104.
- [2] *Vicari L.J.* // *Appl. Phys.* 1997. V. 81. P. 6612–6615.
- [3] *Kamanina N.V., Vasilenko N.A.* // *Opt. Quantum Electron.* 1997. V. 29. P. 1–9.
- [4] *Miniewicz A., Parka J., Bartkiewicz S., Januszko A.* // *Pure Appl. Opt.* 1998. V. 7. P. 179–189.
- [5] *Wang Y.-J., Carlisle G.O.* // *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 2002. V. 13. P. 173–178.
- [6] *Lucchetta D.E., Karapinar R., Manni A., Simoni F.* // *Appl. Phys.* 2002. V. 91. P. 6060–6065.
- [7] *Kamanina N.V., Zubitsova Yu.A., Shulev V.A., Mikhailova M.M., Denisjuk A.I., Butyanov S.V., Murashov S.V., Sapurina I.Yu.* // *Solid State Phenomena.* 2005. V. 106. P. 145–148.
- [8] *Васильев П.Я., Каманина Н.В.* // *Письма в ЖТФ.* 2007. Т. 33. В. 1. С. 17–22.
- [9] <http://www.nbprice.spb.ru/info/details/12665.htm>
- [10] *Каманина Н.В.* // *УФН.* 2005. Т. 175. № 4. С. 445–454.