

07

О возможности получения гомеотропной ориентации нематических жидкокристаллических элементов при использовании наноструктур

© Н.В. Каманина, П.Я. Васильев

ФГУП НПК „ГОИ им. С.И. Вавилова“, Санкт-Петербург

E-mail: nvkamanina@mail.ru

Поступило в Редакцию 15 декабря 2008 г.

Кратко рассмотрен вопрос о получении гомеотропной ориентации в тонко-пленочных нематических жидкокристаллических ячейках при использовании углеродных нанотрубок. Результаты работы могут быть востребованы при разработке дисплейных оптических элементов в реализации вертикальной ориентации молекул жидких кристаллов (MVA-display technology).

PACS: 42.70.Df, 77.84.Nh

В настоящее время при работе электрооптических нематических жидкокристаллических (ЖК) ячеек, которые могут быть рассмотрены как переключатели лазерного излучения, пространственно-временные модуляторы света с электрической или оптической адресацией, или как аналоги дисплейных элементов [1–4], применяются в основном *S*- или *T*-конфигурации, которые реализуют планарную ориентацию молекул ЖК-мезофазы на поверхности ориентирующей подложки. Однако для ряда задач, где требуется изначальное „черное“ поле при прохождении света через структуру, необходимо создание именно гомеотропной ориентации молекул на подложке.

На рис. 1 показаны виды ориентации молекул ЖК на поверхности подложки. Продемонстрированы методы планарной (расположение молекул вдоль поверхности подложки, $\theta = 0^\circ$), гомеотропной (расположение молекул перпендикулярно поверхности подложки, $\theta = 90^\circ$) или косой (под определенным углом наклона директора, $0^\circ < \theta < 90^\circ$) ориентацией молекул ЖК. Для получения планарной ориентации [5–8] используются такие ориентирующие покрытия, как оксиды церия (CeO),

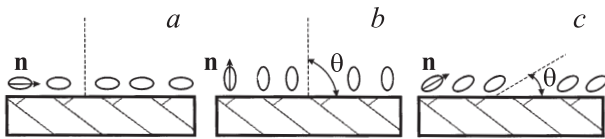


Рис. 1. Расположение молекул ЖК различных видов ориентации: *a* — планарной, *b* — гомеотропной, *c* — наклонной (косой).

кремния (SiO , SiO_2), германия (GeO), поливиниловый спирт, полиимидные покрытия; натирание стеклянной поверхности хлопчатобумажной тканью также приводит к планарной ориентации молекул ЖК. В случае гомеотропной ориентации [8] часто используются поверхностно-активные вещества, такие как лецитин, плавный кварц и другие; кроме того, используется новый метод — *nanoimprinting* для получения рельефа, дающего возможность гомеотропной ориентации ЖК-мезофазы [9]. Последний метод позволяет получить рельеф с хорошим оптическим качеством, однако при его реализации требуется использование токсичных веществ, в частности, кислот.

Важность определения типа ориентации вызвана тем обстоятельством, что энергия сцепления молекул ЖК с подложкой и условия ориентации значительно влияют на все физические свойства ЖК-мезофазы и электрооптические характеристики устройств на ее основе. Для примера, при рассмотрении плотности свободной поверхностной энергии F_s , тождественной по своему физическому смыслу межфазному поверхностному натяжению, в аппроксимации Рапини, связь между поверхностной энергией сцепления и геометрическим углом наклона директора ЖК к подложке определяется так [8]:

$$F_s = \frac{1}{2} W_s \sin^2 \theta. \quad (1)$$

Таким образом, получение различных видов ориентации молекул на подложке приводит к различным значениям энергии сцепления и к различным условиям выбора компромисса между вязкоупругими и диэлектрическими силами, приложенными к ЖК-мезофазе.

Рис. 1, *b* демонстрирует гомеотропную ориентацию молекул ЖК. В системе скрещенных поляризаторов, без подачи напряжения при вертикальном выстраивании молекул по отношению к анализатору света,

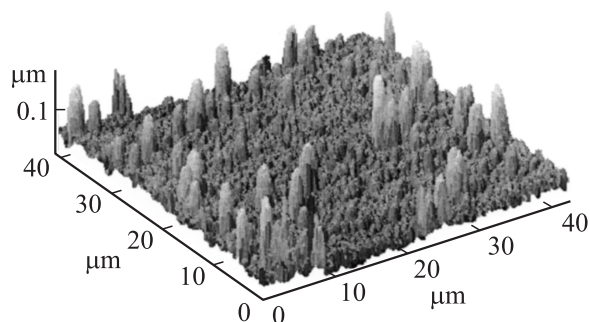


Рис. 2. АСМ-изображение рельефа поверхности с нанесенными углеродными нанотрубками, ориентированными в поле напряженностью $\sim 100 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$.

свет через ячейку проходить не будет; при приложении напряжения питания ЖК-диполи поворачиваются на 90° , пропуская свет, создавая на регистрирующем экране яркое пятно.

В настоящей работе предложен новый способ гомеотропной ориентации молекул ЖК при бесконтактном методе создания рельефа на поверхности стеклянной (кварцевой) подложки при напылении на последнюю углеродных нанотрубок, которые дополнительно ориентировались электрическим полем. После нанесения нанотрубок ориентирующая поверхность обрабатывалась поверхностной электромагнитной волной (ПЭВ) в условиях, описанных ранее в работе [10]. На рис. 2 показан рельеф поверхности, полученный при использовании данного метода. Источником для лазерного распыления нанотрубок и последующей обработки ПЭВ служил квазинепрерывный щелевой CO_2 -лазер с p -поляризованным излучением на длине волны $10.6 \mu\text{m}$, с помощью 30 W . Углеродные нанотрубки наносились на подложку при приложении поля напряженностью $\sim 100 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$. Нанотрубки были куплены в фирме Alfa Aesar (Karlsruhe, Germany).

Для контроля гомеотропной ориентации были собраны две сэндвич-ячейки с ЖК-мезофазой между двумя стеклянными поверхностями. Одна, тестовая ячейка, представляла собой классическую нематическую ЖК-структуру, ориентирующие плоскости которой создавались методом натирания. Для другой, экспериментальной ячейки, обе ориентирующие поверхности обрабатывались с применением указанного выше способа на основе углеродных нанотрубок. Исследование второй ячейки поз-

Пропускание ЖК-ячеек в зависимости от способа создания ориентации на границе раздела сред: твердое тело—ЖК

Длина волны света, nm	Пропускание, %		Длина волны света, nm	Пропускание, %	
	Тестовая ячейка (планар)	Экспериментальная ячейка (гомеотроп)		Тестовая ячейка (планар)	Экспериментальная ячейка (гомеотроп)
400	0	0	620	24.1	0.4
410	2.8	0	630	23.8	0.4
420	11.1	0	640	23.3	0.4
430	19	0	650	22.5	0.3
440	23.2	0	660	22.1	0.3
450	25.6	0.5	670	21.7	0.3
460	26.7	0.5	680	21.4	0.3
470	27.3	0.5	690	21.0	0.3
480	27.6	0.5	700	20.6	0.3
490	27.5	0.5	710	20.2	0.3
500	27.4	0.5	720	20.0	0.3
510	27.2	0.5	730	19.3	0.3
520	27.0	0.5	740	19.0	0.3
530	26.8	0.5	750	18.6	0.3
540	26.6	0.5	760	18.2	0.3
550	26.3	0.4	770	17.9	0.3
560	26.1	0.4	780	17.4	0.3
570	25.8	0.4	790	17.1	0.3
580	25.6	0.4	800	16.7	0.3
590	25.2	0.4	820	16.1	0.3
600	24.9	0.4	840	15.5	0.3
610	24.5	0.4	860	14.8	0.3

волило сделать вывод о получении гомеотропной ориентации молекул ЖК. Результаты проверки приведены в таблице. Указанные в таблице спектральные данные измерены на спектрофотометре СФ-26 в диапазоне 400–860 nm. Образцы с планарной ориентацией и с гомеотропной, полученной с применением новой нанотехнологической обработки поверхности подложки, ставились в оправу, и измерение пропускания проводилось одновременно для каждой длины волны. Заметим, что толщина ячеек была одинакова, состав ЖК-мезофазы также был идентичным; использовалась нематическая ЖК-смесь из класса цианобифенилов,

толщина ячеек составляла $10\ \mu\text{m}$. Для получения воспроизводимости данных эксперименты были сделаны для нескольких групп ячеек.

В заключение, в данной работе продемонстрирована возможность создания гомеотропной ориентации молекул ЖК при использовании нанообъектов, нанесенных на подложку в электрическом поле напряженностью $\sim 100\ \text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$ и обработанных далее поверхностной электромагнитной волной. Использовался лазерный, бесконтактный метод, в качестве нанообъектов были применены углеродные нанотрубки. Результаты работы могут быть востребованы при разработке дисплейных оптических элементов в реализации вертикальной ориентации молекул жидких кристаллов (MVA-display technology).

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 08-02-00966 (2008–2010 гг.), а также гранта МНТЦ ИРР А-1484 (2007–2009 гг.).

Авторы благодарят сотрудника ФГУП НПК „ГОИ им. С.И. Вавилова“ В.И. Студенова за помощь в работе.

Список литературы

- [1] *McEwen R.S.* // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1987. V. 20. N 4. P. 364–377.
- [2] *Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В.* Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.
- [3] *Каманина Н.В., Сомс Л.Н., Тарасов А.А.* // Оптика и спектроскопия. 1990. Т. 68. № 3. С. 691–693.
- [4] *Licchetta D.E., Karapinar R., Manni A., Simoni F.* // J. Appl. Phys. 2002. V. 91. N 9. P. 6060–6065.
- [5] *Лукьянченко Е.С., Козунов В.А., Григос В.И.* // Усп. химии. 1985. Т. LIV. № 2. С. 214–238.
- [6] *Владимиров Ф.Л., Моричев И.Е., Плетнева Н.И.* // ОМП. 1984. № 3. С. 54–63.
- [7] *Каманина Н.В.* // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. № 7. С. 53–56.
- [8] *Жаркова Г.М., Сонин А.С.* Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: ВО „Наука“, 1994. 214 с.
- [9] *Jin Seog Gwag, Masahito Oh-e, Kwang-Ryul Kim, Sung-Hak Cho, Makato Yoneya, Hiroshi Yokoyama, Hiroyuki Satou, Setsuo Itami* // Nanotechnology. 2008. V. 19. P. 1–6.
- [10] *Васильев П.Я., Каманина Н.В.* // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. В. 1. С. 17–22.