

07;12

## Экранирующий эффект слоя $a$ -C:H, ориентирующего жидкие кристаллы

© Е.А. Коншина, Е.О. Гавриш

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики  
E-mail: eakonshina@mail.ru

Поступило в Редакцию 21 декабря 2010 г.

Исследованы электрические и оптические характеристики ячеек, заполненных нематическим жидким кристаллом, и влияние на них толщины ориентирующего слоя  $a$ -C:H. Показано, что увеличение толщины слоя  $a$ -C:H способствует усилению эффекта экранирования напряжения, приложенного к ячейкам, что проявляется в повышении порога электрооптического  $splay$ -эффекта. Наблюдаемое при этом уменьшение начального угла наклона директора жидкого кристалла свидетельствует об увеличении энергии сцепления, вызванном действием поля пространственного заряда, локализованного на границе раздела фаз.

В последнее десятилетие вырос интерес к исследованиям ориентирующих жидкие кристаллы (ЖК) слоев  $a$ -C:H, полученных химическим осаждением паров углеводородных соединений с помощью ионно-плазменных методов [1]. Слои  $a$ -C:H, осажденные из паров углеводородов с помощью плазмы тлеющего разряда на подложки, расположенные наклонно относительно электродов, обеспечивают ориентацию молекул ЖК с малыми начальными углами наклона директора, что позволяет получать более высокие значения фазовой задержки света в ячейках ЖК [2]. В работе [3] было показано, что уменьшение толщины ориентирующего слоя  $a$ -C:H сопровождается понижением напряжения, соответствующего порогу электрооптического эффекта Фредерикса, что связано с эффектом экранирования напряжения электрического поля, приложенного к ЖК ячейкам. Было замечено также, что при этом увеличивался угол наклона директора ЖК. Внешнее электрическое поле, приложенное к слою нематического ЖК, может вызывать в нем сложные электрофизические процессы, влияющие на динамику переориентации молекулярных диполей, а также на модуляцию амплитуды и фазы оптического сигнала. Для понимания процессов, происходящих

при приложении к ячейкам ЖК электрического поля, и роли эффекта экранирования в них необходимо проведение дополнительных исследований.

В этой работе изучались особенности изменения емкости и сопротивления ячеек ЖК в зависимости от переменного напряжения при продольной (splay) деформации нематического ЖК и влияние на них толщины ориентирующего слоя  $a$ -С:Н, а также корреляция между электрическими и оптическими характеристиками ячеек ЖК.

Исследования проводились на плоскопараллельных электроуправляемых ячейках ЖК, состоящих из двух стеклянных подложек диаметром 35 мм, покрытых прозрачным проводящим слоем на основе окислов индия и олова (ИТО). Ориентирующий слой  $a$ -С:Н осаждали из паров ацетона при давлении в вакуумной камере  $5 \cdot 10^{-2}$  Па с помощью плазмы тлеющего разряда на постоянном токе, равном 1 мА. Подложки располагали наклонно относительно вертикальной оси вакуумной камеры под углом  $20^\circ$ . Перед осаждением поверхность слоя ИТО обрабатывали аргоновой плазмой. Этот способ позволяет получать однородную ориентацию ЖК с помощью слоя  $a$ -С:Н, без какой-либо дополнительной обработки его поверхности.

Толщину зазора  $d$ , соответствующего толщине слоя ЖК, контролировали путем измерения емкости пустой ячейки. В работе использовали нематический двухчастотный жидкий кристалл ЖК-1001 (НИОПиК, Москва). Как известно, экранирование напряжения, приложенного к ячейке, ориентирующим слоем усиливается с уменьшением толщины слоя ЖК [4]. Для компонентов телекоммуникационных систем на основе жидких кристаллов, работающих в ближней ИК-области спектра с учетом дисперсии показателя преломления, толщина слоя ЖК-1001 должна быть не менее  $7 \mu\text{m}$  [5]. Мы сравнили три ячейки, толщина слоя ЖК в которых была около  $8.2 \mu\text{m}$ . Они отличались толщиной ориентирующего слоя, которую варьировали путем увеличения времени его осаждения в плазме в 2 и 4 раза при прочих одинаковых условиях получения.

Электрооптические характеристики ячеек ЖК измеряли на длине волны  $0.65 \mu\text{m}$  с помощью электрооптической схемы, описанной в [5]. Для измерения зависимости пропускания от напряжения ячейку размещали между поляризатором и скрещенным с ним анализатором. Излучение светодиода, прошедшее через ячейку ЖК, попадало на фотодиод, а затем на осциллограф, данные с которого регистрировались

Характеристики ячеек ЖК

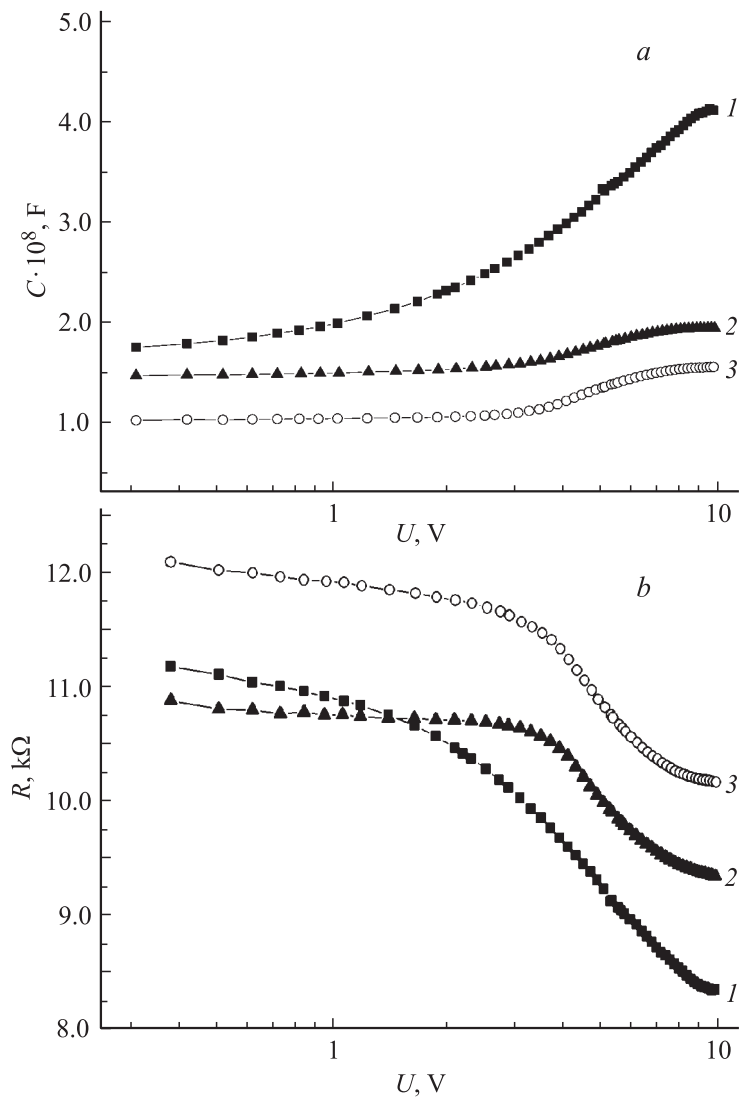
№ ячейки	Время осаждения $a$ -C:H, min	$d$ , $\mu\text{m}$	$\Delta\Phi_{\text{max}}/\pi$	$U_{\text{th}}$ , V	$\theta_p$ , deg
1	5	8.3	2.8	0.2	46
2	10	8.4	3.5	1.2	41
3	20	7.8	4	1.7	34

с помощью компьютера и далее обрабатывались. Упругая  $splay$ -деформация слоя ЖК осуществлялась путем подачи на ячейку переменного напряжения с частотой 1 kHz от генератора импульсов.

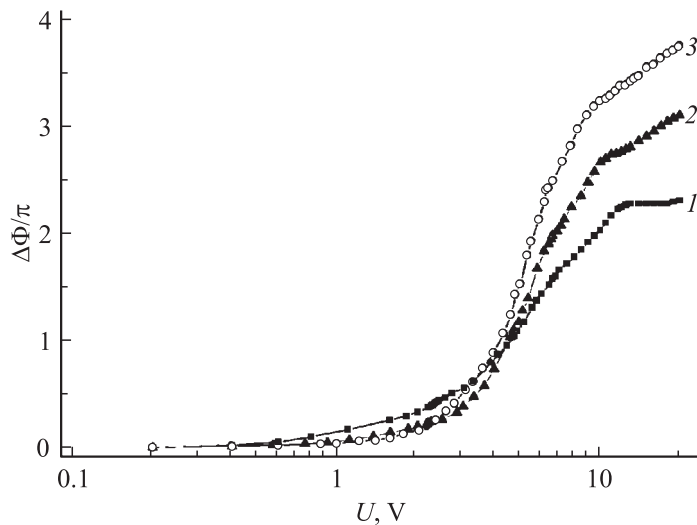
Величину порогового напряжения  $U_{\text{th}}$  определяли линейной экстраполяцией зависимости фазовой задержки  $\Delta\Phi$  от напряжения  $U$  в области низких напряжений до 3 V. Начальный угол наклона директора ЖК  $\theta_p$  находили по максимальному значению  $\Delta\Phi_{\text{max}}$  с помощью расчетной зависимости  $\Delta\Phi$  от угла наклона директора для соответствующей толщины слоя ЖК [6]. Зависимости емкости и сопротивления ячеек измерялись с помощью специально разработанных электрической схемы и компьютерной программы. В таблице приведены результаты определения максимальной фазовой задержки, порогового напряжения и расчетное значение начального угла наклона директора.

Изменение емкости и сопротивления в зависимости от синусоидального напряжения, приложенного к ЖК ячейкам с частотой 1 kHz, иллюстрируют рис. 1,  $a$  и  $b$ . Емкость у ячейки № 1 монотонно возрастала начиная с малых значений напряжения (0.3 V), а сопротивление одновременно плавно уменьшалось, что свидетельствует об отсутствии экранирования приложенного напряжения. В то время как у ячеек № 2 и 3, в которых толщина слоя  $a$ -C:H была больше в 2 и 4 раза соответственно, чем у ячейки № 1, наблюдался эффект экранирования напряжения, так как их зависимости емкости и сопротивления от напряжения (рис. 1,  $a$  и  $b$ ) имели явно выраженный пороговый характер.

Зависимость фазовой задержки света (рис. 2) у ячейки № 1 достигает насыщения при напряжении, равном 10 V. Это свидетельствует о том, что при этом напряжении молекулы в слое ЖК переориентировались полностью. Для ЖК-1001, используемого в этой работе, характерны более высокие значения угла  $\theta_p$  из-за содержания в смеси молекул с отрицательной диэлектрической анизотропией. Угол  $\theta_p$  уменьшался от 46° (ячейка № 1) до 34° (ячейка № 3) с увеличением толщины



**Рис. 1.** Зависимости емкости (*a*) и сопротивления (*b*) ячеек № 1–3 от напряжения, приложенного с частотой 1 kHz к слою ЖК-1001.



**Рис. 2.** Зависимости фазовой задержки света с длиной волны  $0.65 \mu\text{m}$  от напряжения с частотой  $1 \text{ kHz}$  для ячеек № 1–3 со средней толщиной слоя ЖК-1001 около  $8.2 \mu\text{m}$ .

слоя  $a$ -C:H, что сопровождалось повышением фазовой задержки света, как видно из рис. 2. Уменьшение угла  $\theta_p$  свидетельствует об увеличении энергии сцепления ЖК с поверхностью в результате процессов, происходящих на межфазной границе и связанных с приложением к ним внешнего электрического поля. Повышению поверхностной энергии ориентирующего слоя может способствовать адсорбция зарядов ионов, присутствующих в ЖК. В ячейке ЖК на начальной стадии эффекта Фредерикса ионные заряды, локализованные вблизи поверхности ориентирующего слоя, могут создавать дополнительное поле пространственного заряда, которое должно влиять на энергию сцепления. Увеличение толщины ориентирующего слоя  $a$ -C:H сопровождается повышением его активного сопротивления, что приводит к замедлению стекания образующегося заряда с поверхностей, ограничивающих ЖК. Корреляция между изменением порогового напряжения и начального угла наклона директора ЖК косвенно свидетельствует о взаимосвязи между эффектами экранирования приложенного напряжения ориентирующим слоем и формированием пространственного заряда вблизи

его поверхности. Это объясняется тем, что оба эти эффекта зависят от толщины и электрических свойств ориентирующего слоя. Экранирование напряжения зависит от диэлектрической проницаемости, а формирование пространственного заряда от проводимости слоя  $a$ -С:Н.

Проведены исследования электрических и оптических характеристик ячеек, заполненных нематическим двухчастотным жидким кристаллом, в зависимости от толщины ориентирующего слоя  $a$ -С:Н. Полученные результаты свидетельствуют об усилении эффекта экранирования напряжения, приложенного к слою ЖК с увеличением толщины слоя  $a$ -С:Н. Повышение порога электрооптического эффекта коррелирует с уменьшением начального угла наклона директора ЖК, что указывает на усиление сцепления молекул с ориентирующей поверхностью. Уменьшение угла наклона и соответствующее увеличение фазовой задержки в слое ЖК может быть вызвано действием поля пространственного заряда, способствующего повышению поверхностной энергии слоя  $a$ -С:Н. Оценка энергии сцепления на границе исследуемых конденсированных сред, а также ее изменения с усилением эффекта экранирования позволят проверить правильность гипотезы, выдвинутой нами. Полученные результаты способствуют пониманию процессов, происходящих на границе раздела фаз при приложении электрического поля к ячейкам ЖК, что позволит оптимизировать электрооптические характеристики устройств ЖК с ориентирующим слоем  $a$ -С:Н.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках ФЦП по ГК № 02.740.11.0390.

## Список литературы

- [1] Коншина Е.А. // Опт. журн. 2011. Т. 78. В. 3.
- [2] Коншина Е.А., Федоров М.А., Иванова Н., Амосова Л.П. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 2. С. 39–45.
- [3] Васильев В.Н., Коншина Е.А., Костомаров Д.С., Федоров М.А., Амосова Л.П., Гавриш Е.О. // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 11. С. 33–38.
- [4] Meizi Jiao, Zhibing Ge, Qiong Song, Shin-Tson Wu. // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 92. P. 061102 (1-3).
- [5] Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П., Исаев М.В., Костомаров Д.С. // Опт. журн. 2008. Т. 75. В. 10. С. 73–80.
- [6] Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П. // Опт. журн. 2006. Т. 73. № 12. С. 9–13.