

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА ДИРЕКТОРА ДВУХЧАСТОТНОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА НА ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯЧЕЕК

© 2011 г. И. Ф. Галин; Е. А. Коншина, доктор физ.-мат. наук

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

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

Исследованы ячейки, заполненные нематическим двухчастотным жидким кристаллом (ДЧЖК), в которых начальный угол наклона директора θ_p варьировался в интервале от 40° до 75° путем изменения рельефа поверхности ориентирующих слоев. Впервые получены экспериментальные зависимости времени изменения фазовой задержки на 2π на длине волны $0,65$ мкм от угла θ_p для продольной и поперечной деформации слоя ДЧЖК. Показано, что поперечная упругая деформация является более медленным процессом по сравнению с продольной упругой деформацией. Время “включения” или “выключения” ячеек в результате процесса продольной упругой деформации при приложении поля с частотой 1 кГц занимало $1-2$ мс, а для поперечной деформации путем приложения электрического поля с частотой 30 кГц составляло $3-9$ мс.

Ключевые слова: двухчастотный жидкий кристалл, начальный угол наклона директора, пороговое напряжение, времена отклика и релаксации.

Коды OCIS: 160.3710, 230.3720.

Поступила в редакцию 16.12.2010.

Разработка современных устройств на основе жидких кристаллов (ЖК) требует теоретического и экспериментального изучения динамики процессов переориентации и релаксации молекул в электрическом поле. Одним из существенных факторов, влияющих на динамику процесса переориентации молекул в результате упругой деформации слоя ЖК, является величина начального угла наклона директора [1]. Количественные корреляции между начальным углом наклона и временем отклика были теоретически и экспериментально исследованы для случая вертикально ориентированного нематического ЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией в работе [2]. Нематический двухчастотный жидкий кристалл (ДЧЖК), представляющий собой смесь молекул с положительной и отрицательной диэлектрическими анизотропиями, позволяет с помощью электрического поля управлять не только откликом, но и процессом релаксации молекул.

В этой работе были исследованы электрооптические и динамические характеристики ячеек с наклонной ориентацией ДЧЖК для случаев продольной (*splay*) и поперечной

(*bend*) деформации и влияние на них вариации начального угла наклона директора.

Исследования проводились на плоскопараллельных ячейках, заполненных слоем ДЧЖК (ЖК-1001, НИОПИК, Москва), толщиной около $8,2 \pm 0,3$ мкм. Наклонную однородную ориентацию молекул ДЧЖК получали при использовании слоев двуокиси церия (CeO_2) и монооксида германия (GeO), имеющих текстурированную поверхность. Анизотропия рельефа поверхностей этих слоев, необходимая для создания однонаправленной ориентации ЖК, формировалась в результате осаждения материала на подложки, расположенные наклонно в вакуумной камере. Начальный угол наклона директора ЖК варьировали путем изменения угла наклона подложек относительно вертикальной оси, а также изменяя толщину ориентирующего слоя [3].

Измерения электрооптических и динамических характеристик ячеек проводили на длине волны $0,65$ мкм на специальном стенде, описанном ранее в [4]. Исследуемую ячейку располагали между поляризатором и скрещенным с ним анализатором таким образом,

чтобы угол между вектором поляризации падающего луча и направлением директора был равен 45° , что соответствует максимальному пропусканию света. Начальный угол наклона директора θ_p определяли с помощью расчетной зависимости фазовой задержки $\Delta\Phi$ от угла наклона директора по значению $\Delta\Phi_{\max}$, которое находили экстраполяцией линейного участка зависимости $\Delta\Phi$ ($1/U$) при $1/U \rightarrow 0$ [5]. Углы θ_p , полученные для случаев *bend*- и *splay*-деформации слоя ДЧЖК в ячейках, составляли в сумме $90^\circ \pm 2^\circ$ и варьировались в интервале от 40° до 75° .

Переключение ячеек из исходного состояния “выключено” в состояние “включено”, а затем обратно в состояние “выключено” осуществлялось с помощью пакетов синусоидальных колебаний низкой частоты, равной 1 кГц, или высокой частоты – 30 кГц. На ЖК-ячейки подавалось напряжение амплитудой 60 В, а эффективное напряжение, приложенное к слою ЖК, было в $\sqrt{2}$ раз меньше и составляло около 43 В. Если начальный угол наклона директора θ_p был менее 45° , то сначала осуществляли *splay*-деформацию полем с частотой 1 кГц, а релаксацию слоя ДЧЖК в результате *bend*-деформации – путем приложения поля с частотой 30 кГц. При угле θ_p более 45° для переориентации молекул использовали инвертированный режим, т. е. сначала осуществляли *bend*-, а затем *splay*-деформацию слоя ДЧЖК.

За время отклика и релаксации принимали время, соответствующее изменению фазовой задержки света в ЖК-ячейке на 2π на длине волны 0,65 мкм. Времена *splay*-деформации τ_{LF} (LF – low frequency) и *bend*-деформации

τ_{HF} (HF – high frequency) определяли из осциллограмм по уровню 10% и 90% максимальной интенсивности света, прошедшего через ячейку. На рис. 1 приведены осциллограммы электрооптического отклика, соответствующие фазовой задержке на 2π , для ЖК-ячеек с углами θ_p , равными 40° и 75° . Время τ_{LF} было меньше, чем τ_{HF} при последовательном переключении ячейки из состояний “выключено” → “включено” → “выключено” как путем *splay*-, а затем *bend*-деформации (рис. 1а), так и в инвертированном режиме (рис. 1б). Подобный эффект наблюдался для твист-эффекта в ДЧЖК с квазигомеотропной структурой [6].

На рис. 2 показано изменение времени переключения τ_{LF} и времени τ_{HF} в зависимости от угла наклона θ_p ДЧЖК, который варьировали в интервале от 40° до 75° . При приложении к ДЧЖК-ячейкам напряжения с частотой 1 кГц время отклика изменялось от 1 мс до 2 мс. При приложении напряжения с частотой 30 кГц время отклика было больше и изменялось от 3 до 9 мс с увеличением начального угла наклона директора ЖК относительно ориентирующей поверхности. Минимальные времена τ_{LF} и τ_{HF} , равные 1 и 4 мс (рис. 2), соответствовали начальному углу наклона директора ДЧЖК около 40° . Из зависимостей на рис. 2 следует, что время реакции исследованных ячеек, равное сумме времен τ_{LF} и τ_{HF} , определяется временем *bend*-деформации ДЧЖК.

Времена τ_{LF} и τ_{HF} пропорциональны вязкости γ_1 и квадрату толщины d слоя и обратно пропорциональны анизотропии диэлектрической проницаемости и для ДЧЖК в соответствии с известной формулой определяются как

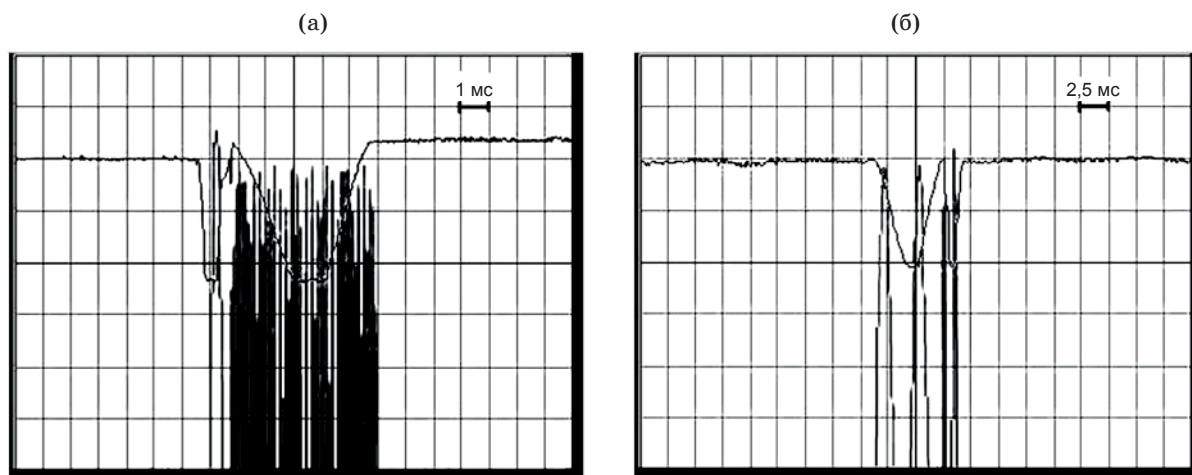


Рис. 1. Осциллограммы оптического отклика для ячеек с ДЧЖК, имеющих разные начальные углы наклона директора. а – 40° , б – 75° .

$$\tau_{LF(HF)} = \frac{4\pi\gamma_1}{\Delta\varepsilon(f_i)} \frac{d^2}{(U^2 - U_{th}^2)}, \quad (1)$$

где U – эффективное напряжение, а U_{th} – пороговое напряжение электрооптического эффекта.

При постоянной амплитуде приложенного напряжения и одинаковой толщине слоя ДЧЖК, разница времен τ_{LF} и τ_{HF} у ячеек, наблюдаемая в эксперименте, может быть связана с разными порогами для *splay*- и *bend*-электрооптических эффектов. Было замечено, что у ячеек с квазигомеотропной структурой ДЧЖК, начальный угол наклона директора в которых более 60° , порог электрооптического эффекта при *bend*-деформации был значительно выше, чем при *splay*-деформации [2]. Более высокое значение порога U_{th} должно приводить к уменьшению знаменателя дроби и увеличению времени τ_{HF} в соответствии с формулой (1). Порог электрооптических эффектов зависит от коэффициентов упругости Франка для *splay*- и *bend*-деформации (K_{11} и K_{33} соответственно) и диэлектрической анизотропии $\Delta\varepsilon$ и определяется как

$$U_{th} = \pi \sqrt{\frac{K_{11}(K_{33})}{\varepsilon_0 |\pm\Delta\varepsilon|}}. \quad (2)$$

Более высокое значение порога для *bend*-деформации может быть связано с тем, что $K_{33} \gg K_{11}$ для ДЧЖК, а также с изменением $\Delta\varepsilon$ в зависимости от частоты электрического поля. Изменение значений U_{th} в зависимости от частоты колебаний напряжения, приложенного к слою ДЧЖК, в интервале от 400 Гц до 50 кГц иллюстрирует рис. 3. Порог в этом эксперименте оценивали как напряжение, соответствующее изменению интенсивности света, прошедшего через ячейку, на 10%. В области частот от 20 до 50 кГц, когда $\Delta\varepsilon < 0$ для ДЧЖК, U_{th} больше, чем в интервале от 400 Гц до 10 кГц, когда $\Delta\varepsilon > 0$ (рис. 3). Понижение порога в два раза наблюдалось при уменьшении угла θ_p от 65° (кривая 1) до 50° (кривая 2) для *bend*-деформации ДЧЖК.

Результаты изменения динамики процессов упругой *splay*- и *bend*-деформаций для случая наклонной ориентации ДЧЖК в зависимости от начального угла наклона директора в интервале от 40° до 75° , представленные в этой работе, были получены впервые. Показано, что время реакции независимо от начального угла наклона директора и режима переключения определяется более медленным процес-

* * * * *

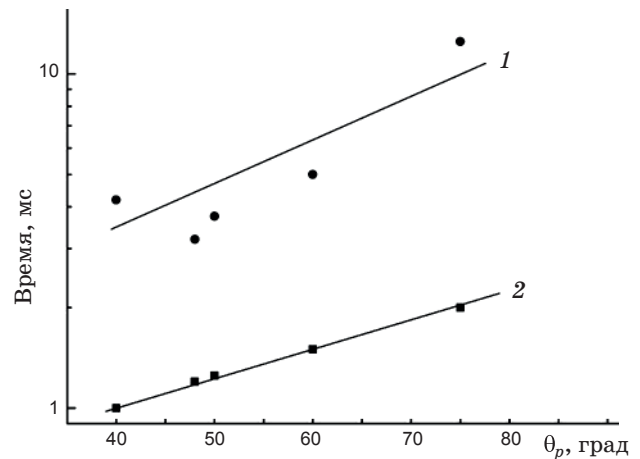


Рис. 2. Зависимости времени τ_{HF} (1) и τ_{LF} (2) от начального угла наклона директора ДЧЖК.

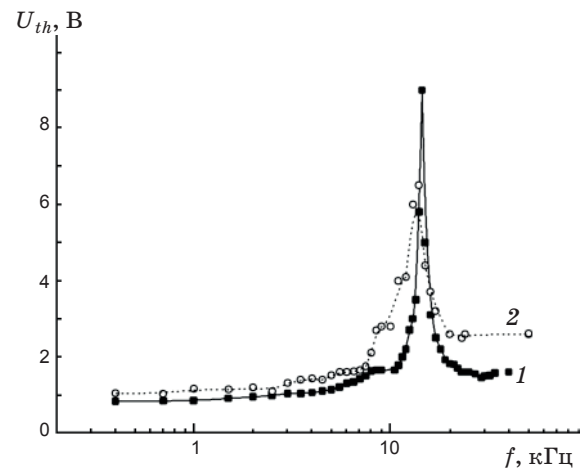


Рис. 3. Зависимости порогового напряжения электрооптического эффекта для ДЧЖК от частоты переменного синусоидального напряжения для ячеек с углами θ_p , равными 50° (1) и 65° (2).

сом *bend*-деформации слоя ДЧЖК. Поэтому одним из путей повышения быстродействия ЖК-ячеек является уменьшение порога эффекта Фредерикса для *bend*-деформации. Полученные результаты способствуют пониманию динамики переключения устройств на основе ДЧЖК в результате процессов упругой *splay*- и *bend*-деформаций, а также влиянию на них начального угла наклона директора.

Авторы благодарны Н.Л. Ивановой и Л.П. Амосовой за техническую помощь в изготовлении ЖК-ячеек.

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

1. Wu S. T. Phase Retardation Dependent Optical Response Time of Parallel-Aligned Liquid Crystals // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. P. 1836–1838.
 2. Nie X., Xianyu H., Lu R., Wu T.X. Pretilt Angle Effects on Liquid Crystal Response Time // J. of Display Technology. 2007. V. 3. № 3. P. 280–283.
 3. Коншина Е.А., Иванова Н.Л., Парфенов П.С., Федоров М.А. Динамика переориентации двухчастотного нематического жидкого кристалла с квазигомеотропной структурой // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 12. С. 45–51.
 4. Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П., Исаев М.В., Костомаров Д.С. Оптические модуляторы на основе двухчастотного нематического жидкого кристалла // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 10. С. 73–80.
 5. Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П. Определение угла наклона директора и фазовой задержки жидкокристаллических ячеек оптическими методами // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 12. С. 9–13.
 6. Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П. Исследование динамических характеристик двухчастотного нематического жидкого кристалла с квазигомеотропной твист-структурой // Письма ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 14. С. 1–6.
-