

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОПТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

© 2014 г. И. Ф. Галин, аспирант; Е. А. Коншина, доктор физ.-мат. наук

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, Санкт-Петербург

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

Исследована динамика оптического отклика нематического жидкого кристалла с положительной диэлектрической анизотропией для *splay*-деформации слоя и влияние на нее формы колебаний напряжения электрического поля. Сравняется эффективность действия синусоидального, биполярного и однополярного меандров с разной частотой и полярностью. Показано, что использование однополярного меандра способствует существенному ускорению оптического отклика жидкого кристалла при одновременном снижении напряжения электрического сигнала.

Ключевые слова: нематический жидкий кристалл, оптический отклик, быстроедействие.

Коды OCIS: 230.3720, 130.4815, 160.3710.

Поступила в редакцию 08.11.2013.

Время оптического отклика жидкого кристалла (ЖК) является одной из важных характеристик устройств на их основе, включая дисплеи, различные фотонные устройства и оптические компоненты систем телекоммуникаций [1]. Оно зависит от свойств ЖК, таких как вязкость, коэффициент упругости, диэлектрическая анизотропия, толщина слоя ЖК, пороговое напряжение электрооптического эффекта Фредерикса, и от напряжения электрического поля, приложенного к слою. В то же время на динамику отклика ЖК влияют и другие факторы, связанные с условиями на границе раздела с ориентирующей поверхностью [2, 3], а также начальный угол наклона директора ЖК [4, 5] и характер приложенного электрического поля (постоянное или переменное) [6].

Основной целью этой работы было исследование динамики оптического отклика нематического ЖК и влияния на нее формы сигнала переменного электрического поля, от которого зависит эффективное напряжение, приложенное к слою.

Исследования проводились на жидкокристаллической ячейке, собранной из двух плоскопараллельных стеклянных подложек диаметром 35 мм, покрытых тонким прозрачным проводящим слоем на основе оксидов индия

и олова и ориентирующим слоем натертого полиимида. В качестве модулирующей среды использовался ЖК-1282 (НИОПИК, Москва) с положительной диэлектрической анизотропией и толщиной слоя 13 мкм.

При проведении экспериментов была использована классическая схема измерения. Ячейка с ЖК была помещена между двумя скрещенными поляризаторами, в качестве источника излучения использовался полупроводниковый лазерный диод, излучающий на длине волны 0,65 мкм. Форма, амплитуда и частота напряжения электрического поля, приложенного к жидкокристаллической ячейке, варьировались с помощью специально разработанной программы [7].

Наиболее часто для управления переключением оптического сигнала в жидкокристаллических устройствах используют приложение к нему переменного электрического поля в форме прямоугольного двуполярного импульса разной частоты (меандра). При равных амплитудах напряжения, приложенного к слою ЖК, процесс переориентации молекул ускоряется по сравнению с приложением синусоидального сигнала, так как их эффективные значения напряжения отличаются. У двуполярного меандра эффективное напряжение соответствует амплитуде приложенного напряжения,

а у синусоидального сигнала оно составляет только 0,7 амплитуды приложенного напряжения [9].

На рис. 1 приведены осциллограммы оптического отклика ЖК при приложении к жидкокристаллической ячейке напряжения электрического поля амплитудой 30 В двуполярного меандра с частотой 2 кГц (кривая 1) и однополярного меандра с частотой 9 кГц (кривая 2). Под однополярным меандром понимается последовательность прямоугольных импульсов с определенной частотой их следования. В отличие от двуполярного меандра к ячейке прикладывается положительный либо отрицательный потенциал, т.е. знак потенциала на противоположных границах раздела слоя ЖК с поверхностью не изменяется. Использование однополярного меандра с более высокой частотой вызвано тем, что в моменты времени, когда напряжение равно нулю, начинается процесс релаксации ЖК, и в результате этого форма кривой оптического отклика искажается. Увеличение частоты сигнала от 2 до 9 кГц позволило улучшить качество осциллограммы. Уменьшение промежутков времени, в которые сигнал отсутствует, снижает вероятность изменения направления директора ЖК.

Несмотря на то, что эффективное значение напряжения в случае однополярного меандра соответствует эффективному напряжению синусоидального сигнала (0,7 амплитуды приложенного напряжения), его использование

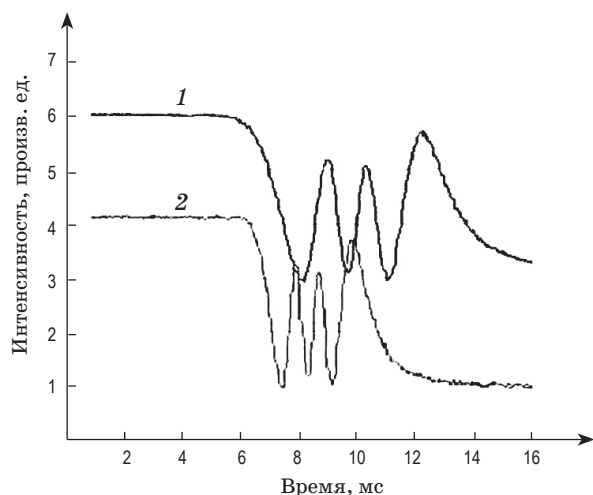


Рис. 1. Осциллограмма электрооптического отклика ЖК при приложении к ячейке напряжения электрического поля с амплитудой 30 В в виде двуполярного меандра (1) с частотой 2 кГц и однополярного меандра (2) с частотой 9 кГц.

позволило уменьшить время отклика ЖК в 1,8 раз по сравнению с двуполярным меандром. При изменении полярности на электродах ячейки в объеме ЖК происходят процессы, связанные с дрейфом ионов и их рекомбинацией, замедляющие отклик ЖК. Такое поведение ЖК в электрическом поле связывают с присутствием в нем носителей заряда обоих знаков, возникающих при диссоциации примесей или самого ЖК и инжекции с электродов при приложении к ним постоянного потенциала [8, 9]. В отсутствие электрического поля процесс диссоциации и рекомбинации ионов в объеме ЖК находится в равновесии, а плотность положительных и отрицательных ионов остается постоянной. Приложение к слою ЖК постоянного потенциала электрического поля вызывает их направленное движение, разделение зарядов и формирование пространственного заряда вблизи электродов, который может приводить к увеличению порового напряжения электрооптического эффекта и замедлению процесса релаксации ЖК [3]. Исследование процессов диффузии зарядов при приложении к слою ЖК разных типов сигнала электрического поля выходит за рамки проведенных экспериментов и требует дополнительных исследований.

Преимущество использования для управления оптическим откликом ЖК однополярного меандра перед синусоидальным сигналом иллюстрирует рис. 2. Время отклика в этом случае в 5 раз меньше времени отклика при

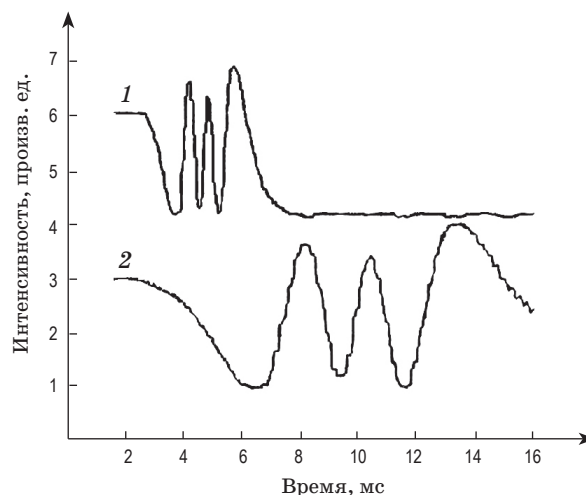


Рис. 2. Осциллограмма электрооптического отклика ЖК при приложении к ячейке напряжения переменного электрического поля амплитудой 30 В в виде однополярного меандра (1) и синусоиды (2).

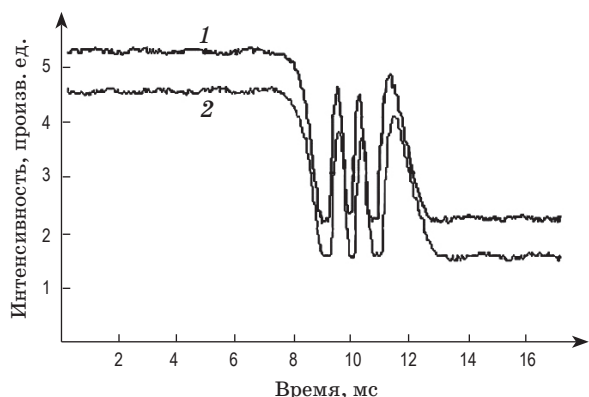


Рис. 3. Осциллограмма электрооптического отклика ЖК при приложении к ячейке переменного напряжения электрического поля, равного 30 В, в виде отрицательного (1) и положительного (2) однополярного меандра.

использовании синусоидального сигнала при равных амплитудах напряжения. Сравнение знака напряжения электрического поля, приложенного к ячейке в виде однополярного меандра, показало, что он не влияет на время оптического отклика. На рис. 3 приведены осциллограммы электрооптического отклика при изменении напряжения от -30 В до 0 (кривая 1), и от $+30$ В до 0 (кривая 2).

* * * * *

Полученные результаты свидетельствуют о возможности повышения быстродействия жидкокристаллических устройств путем использования для управления оптическим откликом однополярного по сравнению с двухполярным меандром. Несмотря на то, что эффективное значение напряжения однополярного меандра меньше, чем у двухполярного, его использование способствует ускорению оптического отклика при одновременном снижении напряжения, приложенного к слою ЖК. Этому способствует постоянный знак потенциала на электродах жидкокристаллической ячейки, что снижает вероятность диффузии ионов в объеме. В то же время приложение однополярного меандра не вызывает негативных эффектов, возникающих в ЖК в случае постоянного напряжения, связанных с накоплением пространственного заряда вблизи электродов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование для управления оптическим откликом однополярного меандра позволяет ускорить динамику переключения жидкокристаллических устройств и может иметь практическое применение при разработке оптических переключателей для телекоммуникационных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосова Л.П., Васильев В.Н., Иванова Н.Л., Коншина Е.А. Пути повышения быстродействия электроуправляемых оптических устройств на основе нематических жидких кристаллов // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 2. С. 3–14.
2. Коншина Е.А., Федоров М.А. Влияние граничных условий на фазовую модуляцию света в случае S-эффекта нематика // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. В. 22. С. 15–21.
3. Васильев В.Н., Коншина Е.А., Костомаров Д.С., Федоров М.А., Амосова Л.П., Гавриш Е.О. Влияние ориентирующей поверхности и толщины слоя жидкого кристалла на характеристики электроуправляемых оптических модуляторов // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 11. С. 33–38.
4. Галин И.Ф., Коншина Е.А. Влияние начального угла наклона директора двухчастотного жидкого кристалла на электрооптические характеристики ячеек // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 6. С. 71–74.
5. Galin I.F., Konshina E.A. Pretilt Angle Effect on Response Time of Dual Frequency Liquid Crystal // Molecular Crystals and Liquid Crystals. 2012. V. 553. № 1. P. 21–27.
6. Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П., Исаев М.В., Костомаров Д.С. Динамика спада оптического пропускания в ячейках с двухчастотным нематическим жидким кристаллом // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 9. С. 87–94.
7. Вакулин Д.А., Френкель Д.А. Свидетельство о Гос. регистрации программы ЭВМ № 2011615197 от 09.09.2011.
8. Barbero G., Zvezdin A.K., Evangelista L.R. Ionic Adsorption and Equilibrium Distribution of Charges in a Nematic Cell // Phys. Rev. E. 1999. V. 59. № 2. P. 1846–1849.
9. Barbero G., Figueiredo Neto A.M., Freire F.C.M., Le Digabel J. Relaxation Time for the Ionic Current in a Nematic Cell under a Large Electric Field // Phys. Rev. E. 2006. V. 74. № 5. P. 52701–52704.
10. Бирюков С. Амплитудное, среднее, эффективное // Журнал радио. 1999. № 6. С. 58–59.