

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИДОМЕННЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОЛИНЗ

© 2008 г. А. В. Морозов*, канд. техн. наук; Г. Е. Невская**, доктор техн. наук

* Государственный технический университет, г. Новосибирск

E-mail: kof@ref.nstu.ru

** Государственный морской технический университет, Санкт-Петербург

E-mail: nevskayag@mail.ru

Предложено использовать мультидоменные (МД) жидкокристаллические (ЖК) структуры в ЖК микролинзах (ЖКМЛ). Основным недостатком несимметричных ЖКМЛ с планарной ориентацией является наличие длительного переходного процесса, сопровождающегося образованием дисклинации. В работе предложен и реализован метод выведения ЖКМЛ в рабочий режим, основанный на применении мультидоменной (МД) структуры. В результате время выведения в рабочий режим уменьшилось примерно на порядок. Продемонстрирована возможность применения МД структур для формирования ЖК линзы на основе фазовой пластинки Френеля без использования сложной конфигурации электродов.

Коды OCIS: 230.3720, 160.3710.

Поступила в редакцию 22.05.2007.

Введение

В жидкокристаллических микролинзах (ЖКМЛ) используется эффект переориентации молекул нематика в неоднородном электрическом поле. Конфигурация электрического поля задается специальной геометрией электродов. В сферической микролинзе для формирования аксиально-симметричного электрического поля в электродах создаются круглые отверстия. Разработаны два типа сферических микролинз: несимметричные – отверстия имеются в одном из электродов; симметричные – имеются совмещенные отверстия в обоих электродах. Для получения цилиндрической микролинзы в электродах создают щели определенного размера. Изменение фокусного расстояния ЖКМЛ осуществляется изменением амплитуды приложенного напряжения. Микролинзы обладают малыми габаритами, имеют малый вес и управляются от маломощных источни-

ков. Это открывает широкие возможности их применения в устройствах фотоники: информационных дисплеях, оптических модуляторах, системах оптической фокусировки, устройствах коррекции зрения и др. Однако на оптические свойства ЖКМЛ отрицательно влияют дефекты, появляющиеся в процессе переориентации молекул жидкого кристалла (ЖК). В данной работе приведены результаты использования мультидоменных (МД) ЖК-структур. Показано, что это приводит к улучшению оптических свойств микролинз.

Использование МД структур в ЖКМЛ с гомеотропной ориентацией

Характерной особенностью ЖКМЛ с гомеотропной ориентацией (рис. 1а) является наличие у микролинзы спутника-дефекта, который возникает всегда [1, 2]. Пример такого дефекта показан на рис. 2а.

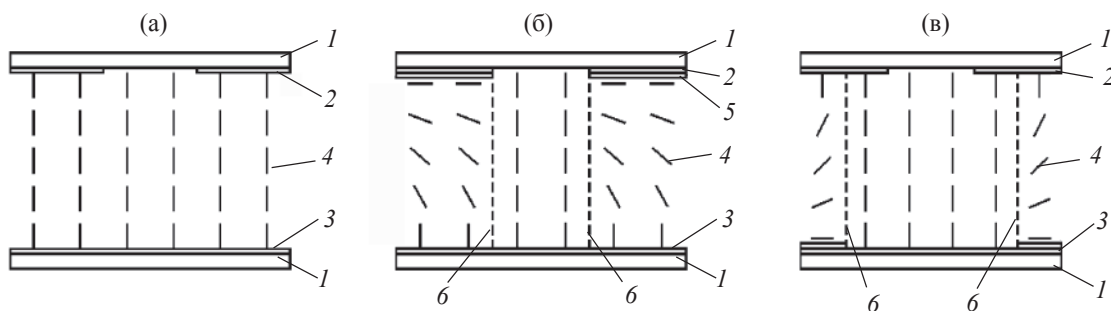


Рис. 1. Конструкции ЖКМЛ. а – с гомеотропной ориентацией, б – с однородной начальной ориентацией, в – с МД структурой типа “гибрид-гомеотроп”. 1 – стекло, 2 – хромовое покрытие, 3 – покрытие оксида индия, 4 – ЖК, 5 – полиимидная пленка, 6 – граница доменной пары.

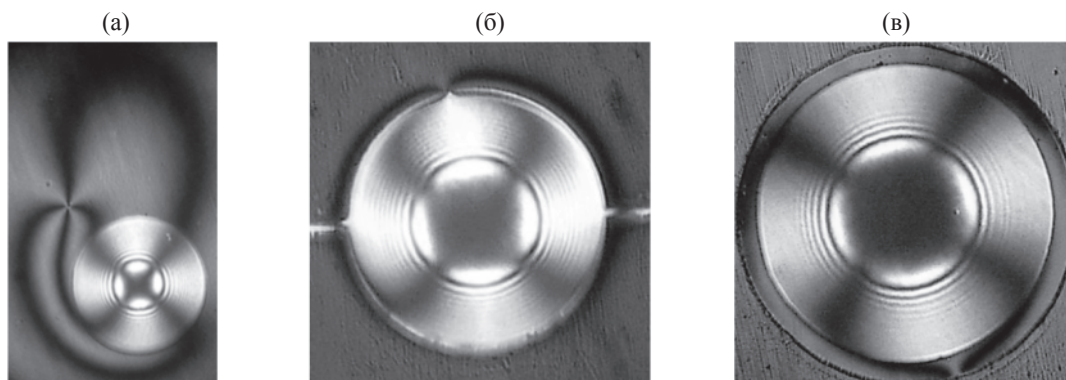


Рис. 2. Визуализация спутника-дефекта в ЖКМЛ с гомеотропной ориентацией. а – с однородной начальной ориентацией (рис. 1а), б – с МД структурой типа “гибрид-гомеотроп” (рис. 1б), в – с МД структурой типа “гибрид-гомеотроп” (рис. 1в).

Деформация, вызванная им, приводит к нарушению симметрии и появлению аберраций и астигматизма у микролинз. Кроме того, в результате воздействия этого дефекта кривизна правой и левой ветвей фазового профиля становится различной [2] и положение спутника-дефекта не контролируется. Это приводит к возрастанию взаимного влияния микролинз друг на друга в растрах.

Проведены исследования, направленные на поиск способов уменьшения влияния спутника-дефекта на гомеотропные ЖКМЛ. Разработан метод, основанный на применении МД структуры, позволяющий заключить микролинзу в дисклинационное кольцо. На основе этого метода предложены и реализованы две конструкции ЖКМЛ с МД структурой типа “гомеотроп-гибрид”. В первой конструкции положение границы между доменами совпадает с отверстием на управляющем электроде (рис. 1б). Во второй – граница между доменами удалена от отверстия вглубь ячейки (рис. 1в). На рис. 2б, 2в показаны интерференционные картины, наблюдаемые при переориентации молекул ЖК в гомеотропной микролинзе с МД структурами. Видно, что характер переориентации нематика в области отверстия аналогичен переориентации в гомеотропной микролинзе с однородной ориентацией молекул. Разница состоит в том, что спутник-дефект локализован на границе между гомеотропной и гибридной ориентациями. Установлено, что при увеличении диаметра гомеотропной области на 10% по отношению к диаметру отверстия влияние спутника-дефекта будет незначительным. Применение МД структур в несимметричных ЖКМЛ с гомеотропной ориентацией (рис. 1б, 1в) позволило уменьшить дефектность микролинз, уменьшить область переориентации ЖК за границей микролинз, исключить взаимное влияние микролинз в массиве и уменьшить предельное расстояние между ними.

Использование МД структур в ЖКМЛ с планарной ориентацией

Основным недостатком несимметричных ЖКМЛ с планарной ориентацией является образование дисклинации [3, 4], ухудшающей ее оптические характеристики. Нами проведены исследования влияния преднаклона молекул ЖК в несимметричных микролинзах на процесс возникновения и динамику поведения дисклинации. Планарная ориентация молекул нематика достигалась предварительным натиранием подложек, покрытых слоем полиимида. Угол начального преднаклона молекул нематика на поверхности подложки составлял 4° – 5° . Оценка угла преднаклона директора, предложенная нами ранее, описана в работе [5]. Были изготовлены два типа планарных ЖК-ячеек с различным взаимным расположением молекул на подложках. В случае параллельной сборки ячейки дисклинация появляется на этапе формирования микролинзы и являет-

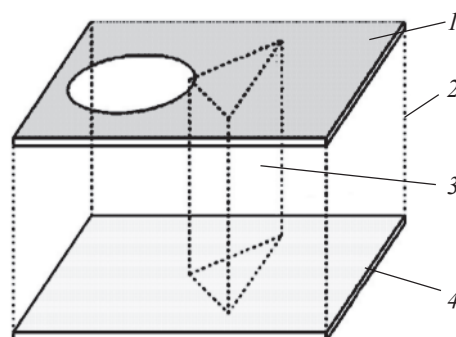


Рис. 3. Конструкция ЖКМЛ с малым временем переходного процесса на основе МД структуры. 1 – непрозрачное хромовое покрытие, 2 – домен с планарной ориентацией, 3 – домен с гибридной ориентацией, 4 – прозрачное ИТО-покрытие.

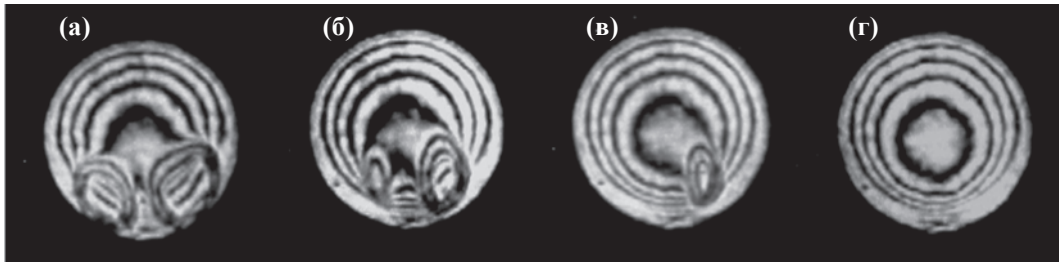


Рис. 4. Интерференционные картины, наблюдаемые в планарной несимметричной ЖКМЛ (диаметр 200 мкм) с МД структурой при подаче управляющего напряжения частотой 2 кГц и амплитудой 7,5 В через 1 (а), 10 (б), 20 (в) и 40 с (г).

ся устойчивой. В случае ячейки с антипараллельной сборкой процесс формирования микролинз сопровождается появлением дисклинации, которая через небольшой промежуток времени исчезает. После завершения процесса формирования микролинзы любое изменение управляющего напряжения не приводит к ее повторному возникновению, исключая случай возвращения ЖК к первоначальной планарной ориентации. Время формирования τ микролинзы с антипараллельной сборкой зависит от отношения H/d (H – диаметр линзы, d – толщина слоя ЖК) и управляющего напряжения. С увеличением этих параметров наблюдается рост τ . В лучшем случае время восстановления ЖКМЛ диаметром 200 мкм составляло 3–5 мин, а диаметром 400 мкм – 10–15 мин. Для уменьшения времени выхода в бездисклинационный режим использована МД структура (рис. 3). На границе микролинзы, где формируется дисклинация, создается клинообразная область с гибридной ориентацией. Наличие МД структуры меняет характер переориентации молекул ЖК в микролинзе. Как показано на рис. 4, при подаче управляющего напряжения образуются две дисклинационные области, которые через малый промежуток времени исчезают. Для управляющего напряжения 4,5 В время формирования микролинзы составляет 15 с, а для 7,5 В – 40 с.

Применение МД структур в управляемых фазовых пластинках Френеля

Предложен простой способ формирования ЖК-линз с использованием МД структур, базирующийся на применении фазовых пластинок Френеля без использования сложной конфигурации электродов. С помощью областей с различной ориентацией молекул ЖК создаются кольцевые зоны Френеля. На рис. 5 изображена линза с использованием мультидоменной структуры типа “планар–гибрид”. Радиусы границ зон меняются пропорционально корню квадратному из последовательности целых чисел n :

$r = \sqrt{n\lambda f}$, где f – фокусное расстояние, λ – длина волны падающего света. Такая конструкция позволяет формировать линзу в области взаимного перекрытия управляющих электродов, что исключает создание сложной топологии проводящих слоев. Ко всем зонам Френеля приложено одно управляющее напряжение. Отсутствие межэлектродных зазоров обеспечивает отсутствие неуправляемых областей. В качестве примера рассмотрим применение структуры типа “гибрид–планар” на основе ЖК с положительной диэлектрической анизотропией. При подаче управляющего напряжения на электроды домены будут находиться в однородном электрическом поле. Поскольку гибридный и планарный домены обладают различной вольт-фазовой характеристикой, то при изменении управляющего напряжения U будет меняться разность фаз δ между зонами Френеля, как показано на рис. 6 (U_0 – пороговое напряжение).

Предложенный метод можно использовать при создании фазовых дифракционных решеток. В работе [6] фазирование зон осуществляется с помо-

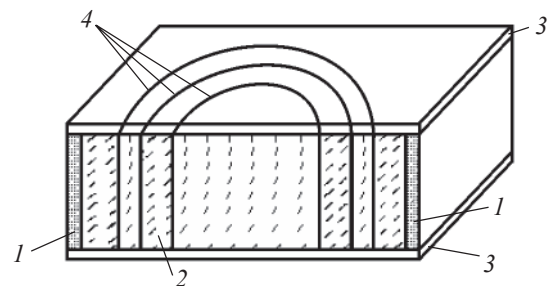


Рис. 5. Конструкция ЖК-линзы на основе фазовой пластинки Френеля с использованием МД структуры типа “планар–гибрид”. 1 – прокладки, регулирующие толщину ЖК, 2 – МД структура, 3 – сплошной проводящий ИТО-слой, 4 – междоменная граница.

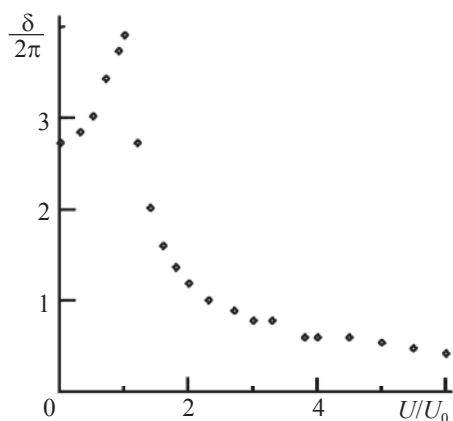


Рис. 6. Изменение разности фаз между зонами Френеля в зависимости от управляющего напряжения для ЖК-линзы с МД структурой типа “планар–гибрид” (толщина ЖК-слоя 50 мкм, ЖКМ-1282).

стью набора прозрачных электродов. Такая конструкция обладает всеми недостатками рассмотренных выше линз с набором электродов индивидуальной адресации. При использовании предложенного метода можно исключить сложную конструкцию электродов и добиться резкой границы между зонами Френеля.

Заключение

Предложены и реализованы две конструкции несимметричных гомеотропных микролинз с применением МД структуры типа “гомеотроп–гибрид”. Это позволило значительно ограничить размеры

спутника-дефекта и уменьшить его влияние на микролинзу. Подобрана наиболее оптимальная конструкция такой микролинзы. Предложен и реализован способ быстрого формирования несимметричной ЖКМЛ с планарной ориентацией при подаче управляющего напряжения. Он основан на применении МД структуры типа “гибрид–планар”.

Предложена конструкция ЖКМЛ на основе фазовых пластинок Френеля с использованием МД структур. Достоинством такой конструкции является отсутствие сложного топологического рисунка проводящих слоев и неконтролируемых областей ЖК в межэлектродных зазорах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gvozdev A., Nevskaya G.E.* Optical properties of homeotropic aligned liquid crystal microlens // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1997. V. 304. P. 423–429.
2. *Гвоздарев А.Ю., Невская Г.Е.* Оптические характеристики ЖК микролинз с гомеотропной ориентацией // *Оптический журнал.* 2001. Т. 68. № 9. С. 61–65.
3. *Nose T., Sato S.* Optical properties of liquid crystal microlens // *Proc. SPIE.* 1990. V. 1230. P. 17–20.
4. *Гвоздарев А.Ю., Невская Г.Е.* Перестраиваемые жидкокристаллические микролинзы с гомеопланарной ориентацией // *Оптический журнал.* 2001. Т. 68. № 9. С. 55–60.
5. *Морозов А.В.* Методика оценки угла преднаклона директора нематика на опорных поверхностях // *Тр. 5-й Междунар. научно-техн. конф. “Актуальные проблемы электронного приборостроения”.* 2000. Т. 3. С. 99–101.
6. *Kowel T., Cleverly S., Kornreich G.* Focusing by electrical modulation of refraction in liquid crystal cell // *Appl. Opt.* 1984. V. 23. № 2. P. 278–289.