

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ С РАЗЛИЧНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ МОДУЛЯЦИИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА РЕФРАКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

© 2015 И.И. Оленская, О.С. Кабанова, Е.А. Мельникова

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 05.02.2015

В данной статье разработаны и оптимизированы две технологии создания жидкокristаллических (ЖК) структур с различной топологией модуляции границы раздела рефрактивных областей. Экспериментально исследован режим волноводного распространения линейно поляризованного лазерного излучения в ЖК ячейках, созданных на основе разработанных методов.

Ключевые слова: нематический жидкий кристалл, полное внутреннее отражение, переход Фредерика.

1. ВВЕДЕНИЕ

Нематические жидкие кристаллы (НЖК) широко используются для создания современных оптоэлектронных устройств, осуществляющих управление характеристиками электромагнитного излучения и отображение информации (модуляторы, дисплеи, индикаторы). Однако новейшие области приложений НЖК выходят далеко за рамки их традиционного использования. Ученые активно исследуют и развивают иные возможности их применения (солитонный режим распространения излучения, оптически управляемые ЖК волноводы и т.д.).

Способность управлять ориентацией молекул НЖК посредством низких электрических напряжений (порядка нескольких вольт), тонкопленочные технологии и низкая стоимость делают их перспективными средами для создания нового класса недорогих, малогабаритных и надежных электрически управляемых анизотропных устройств, контролируемых поляризационное и пространственное состояние электромагнитного излучения.

В данной работе созданы различными методами пространственно-структурированные нематические ЖК элементы с электрически управляемой топологией ориентации директора, которые могут играть роль компонентов волоконно-оптических линий связи.

2. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ЖК ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУР

В настоящей работе реализованы два метода создания в плоскости ячейки, заполненной нематическим ЖК, периодически чередующихся узких

Оленская Ирина Ивановна, аспирант, младший научный сотрудник. E-mail: Irina.Olenskaya@gmail.com

Кабанова Ольга Сергеевна, аспирант, младший научный сотрудник. E-mail: KabanovaOS@bsu.by

Мельникова Елена Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент. E-mail: Melnikova@bsu.by

доменных областей микронных размеров с ортогональным направлением ориентации директора в смежных областях. Предложенные топологии ориентации директора позволяют создать в ЖК ячейке модуляцию показателя преломления и возбудить волноводный режим распространения линейно поляризованного электромагнитного излучения. Принцип формирования управляемых ЖК волноводов основан на реализации эффекта полного внутреннего отражения (ПВО) от электрически контролируемой границы раздела двух областей НЖК с различными топологиями ориентации директора [1].

Периодически ориентированные доменные ЖК структуры можно создавать, используя два принципиально различных метода: метод фотоориентации, метод текстурированного электрода.

Метод фотоориентации – задание в плоскости элемента начальной ортогональной периодической ориентации директора ЖК на поверхности фоточувствительного полимерного слоя.

Метод текстурированного электрода – использование электродов специальной формы, позволяющих при подаче на ЖК элемент внешнего управляющего напряжения сформировать в его плоскости пространственную модуляцию ориентации директора ЖК.

2.1. Метод фотоориентации

Метод фотоориентации основан на создании на одной из подложек ЖК элемента периодических ориентирующих структур с ортогональными направлениями директора в плоскости ячейки (период порядка 20 мкм).

Принципиальная схема ЖК ячейки представлена на рис. 1. Ячейка состоит из двух пластин 1 с прозрачными электропроводящими слоями 2. Слой фоточувствительного полимера 3 (разработка кафедры физической оптики БГУ) наносился на внутреннюю поверхность пластин методом центрифугирования. Экспонирование образцов

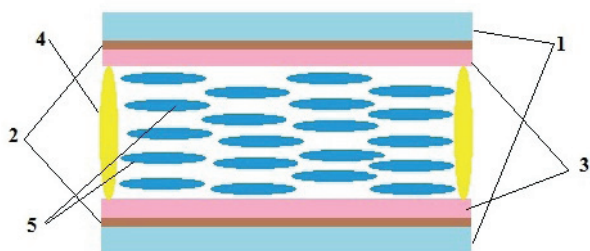


Рис. 1. Принципиальная схема ЖК ячейки: 1 – стеклянные пластины, 2 – прозрачный электропроводящий слой (ITO), 3 – слой фотополимера, 4 – спейсеры, 5 – ЖК молекулы

производилось поляризованным УФ излучением. Для создания ориентирующей доменной структуры на нижней подложке был использован транспарант, представляющий собой амплитудную решетку с П-образным профилем на кварцевой подложке. В качестве ориентирующего покрытия верхней подложки был использован равномерно засвеченный фотополимер. Толщина ЖК слоя задавалась спейсерами 4 и составляла 20 мкм. В работе использовался положительный ЖК 5 с величиной оптической анизотропии $\Delta n = 18$.

На рис. 2 проиллюстрирован принцип формирования электрически управляемых ЖК волноводов

в тех областях ЖК слоя, где направление директора ЖК молекул совпадает с вектором поляризации входящего луча, формируется необыкновенная волна, показатель преломления для которой $n_o = 1,67$. Если направление директора ЖК молекул перпендикулярно вектору поляризации входящего луча, возбуждается обыкновенная волна $n_e = 1,49$ (рис. 2(а)). При подключении электрического поля к ЖК структуре, в результате перехода Фредерикса [2], промодулированная планарная ориентация заменяется однородной гомеотропной и для геометрии, представленной на рис. 2(б), возбуждается обыкновенная волна.

На рис. 3 представлены микрофотографии ЖК ячейки в скрещенных поляризаторах, из которых видно, что в местах элемента, где направления ориентации директора на обеих подложках совпадают, имеем область с планарной ориентацией директора ЖК и свет не проходит через анализатор. Если на обеих подложках ориентация директора ортогональная, получаем область с твист-структурой, которая поворачивает плоскость поляризации света на 90° , и свет через анализатор проходит (рисунок 3(а)). При подключении внешнего электрического поля к структуре ЖК молекулы переориентируются вдоль силовых линий поля (рис. 3(б)).

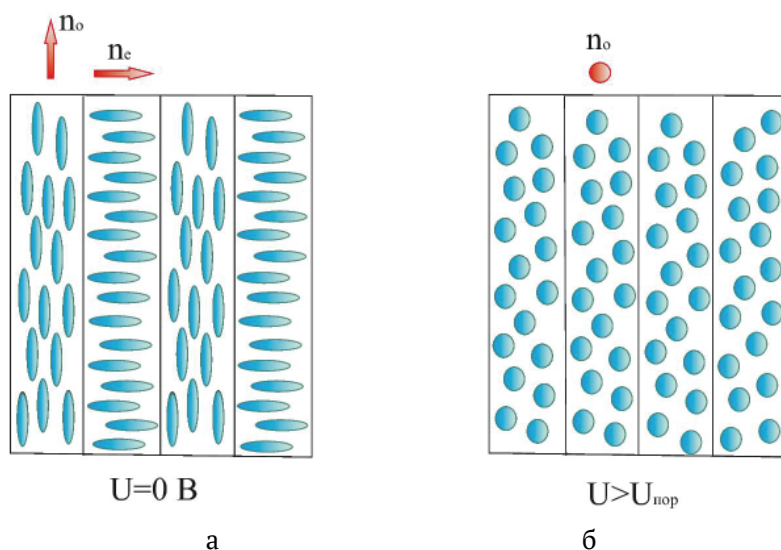


Рис. 2. Принцип формирования электрически управляемых ЖК волноводов (нижняя подложка): а – напряжение отсутствует, б – напряжение приложено к ячейке

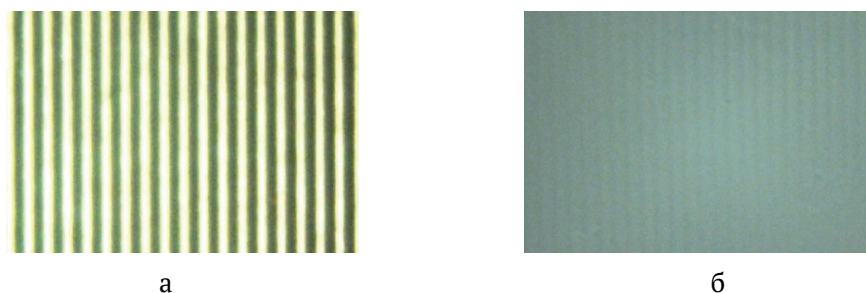


Рис. 3. Микрофотографии ЖК ячейки в скрещенных поляризаторах; увеличение 20 крат: а – $U=0$ В, б – $U=9$ В

2.2. Метод текстурированного электрода

В работе также разработан метод формирования в ЖК слое чередующихся доменных областей с помощью текстурированных электродов, позволяющих при подаче на ЖК элемент внешнего напряжения сформировать в его плоскости пространственную модуляцию ориентации директора ЖК.

Схема ЖК ячейки представлена на рис. 4. Корпус ячейки составляют две пластины 1. На нижней пластине методом лазерной литографии был сформирован электрод 2 в виде периодической структуры: чередующиеся полосы хрома шириной 10 мкм при ширине промежутка 10 мкм.

Начальная планарная ориентация директора ЖК молекул задавалась с помощью метода натирания полимерного слоя 3 тканевой щеткой, после чего подложка засвечивалась неполяризованным УФ излучением, чтобы обеспечить фотосшивание слоя. Подготовленные подложки впоследствии склеивались, при этом толщина ЖК слоя в ячейке составляла 20 мкм.

Формирование управляемых волноводных каналов в изготовленном ЖК элементе основано на реализации эффекта ПВО на границе раздела планарной и гомеотропной ориентаций директора [1]. В условиях отсутствия напряжения на элементе ориентация ЖК молекул является однородной планарной и для геометрии, представленной на рис. 5(а), возбуждается обыкновенная волна ($n_o = 1,49$). При подаче на ячейку напряжения, в местах расположения электродов происходит переориентация молекул ЖК. Ориентация директора становится гомеотропной и для вертикальной поляризационной моды электромагнитного излучения возбуждается необыкновенная волна ($n_e = 1,67$). В тех местах, где электрод отсутствует, и директор ЖК сохраняет первоначальную планарную ориентацию, показатель преломления определяется показателем преломления для обыкновенной волны.

На рис. 6 представлена фотография периодической структуры электрода на подложке, где темные полосы соответствуют хрому.

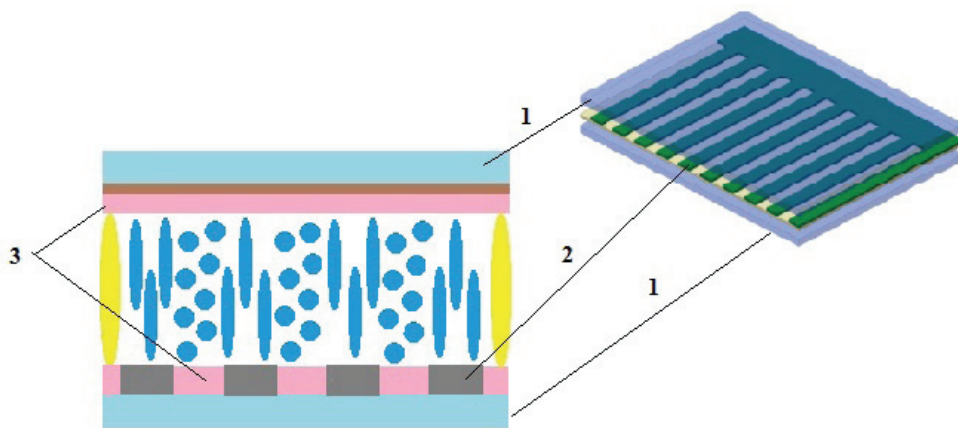


Рис. 4. Принципиальная схема ЖК ячейки:

1 – стеклянные пластины, 2 – текстурированный электрод, 3 – слой фотополимера

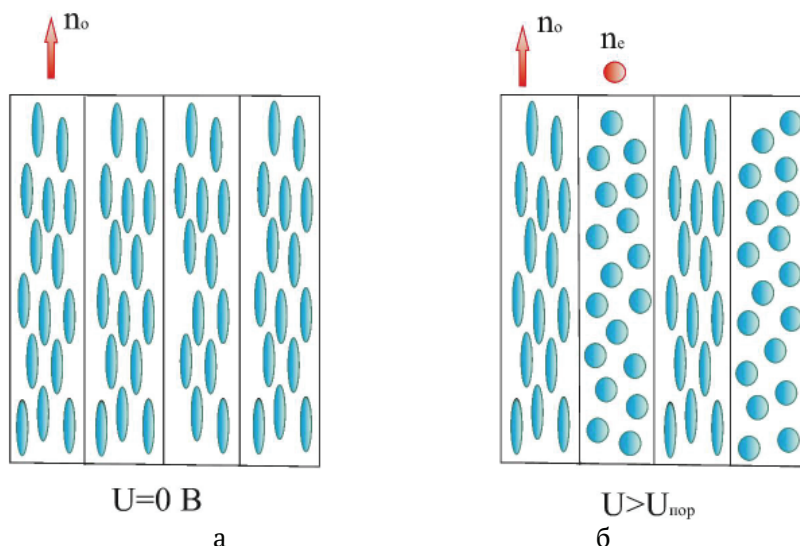


Рис. 5. Принцип формирования электрически управляемых ЖК волноводов:
а – напряжение отсутствует, б – напряжение приложено к ячейке



Рис. 6. Структурная схема электродов

2.3. Экспериментальные результаты

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 7.

В качестве источника излучения использовался He-Ne лазер, работающий на длине волны 633 нм. Для ввода излучения в ячейку использовался набор микрообъективов. Распространение электромагнитного излучения внутри ЖК слоя регистрировалось по рассеянному на неоднородностях ЖК свету при помощи ПЗС камеры, расположенной над ЖК ячейкой.

На рис. 8 представлены картины распространения излучения He-Ne лазера, которое вводилось в торец ЖК элементов изготовленных по

двум технологиям при различных управляющих напряжениях.

Как видно из фотографий, для ЖК ячейки с начальной планарной перпендикулярной ориентацией директора ЖК в смежных областях, при нулевом напряжении (рис. 8(а) $U=0$ В) реализуется волноводный режим распространения горизонтально поляризованного лазерного излучения благодаря эффекту ПВО. При увеличении внешнего поля происходит разрушение волноводных каналов, и входящий луч рассеивается (рисунок 8(а); $U = 3$ В и 5 В). Для ЖК ячейки с параллельной начальной ориентацией директора ЖК в смежных областях при выключенном внешнем поле (рисунок 8(б) $U=0$ В) свет, введенный в ячейку, рассеивается на неоднородностях ЖК. При включении электрического поля в объеме ЖК возбуждаются волноводные каналы, по которым распространяется излучение лазера (рисунок 8(б); $U = 3$ В и 5 В) [3]. Следует заметить, что при увеличении амплитуды напряжения (рисунок 8(б)) длина распространения светового пучка в ЖК ячейке возрастает. Это связано с тем, что

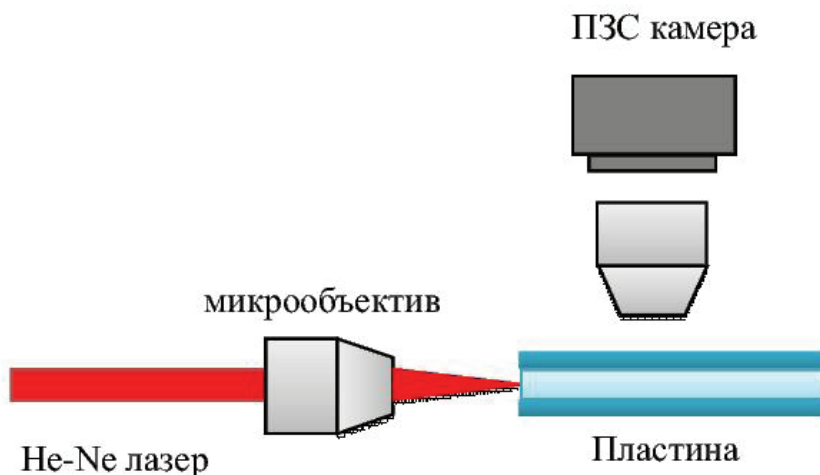


Рис. 7. Схема экспериментальной установки

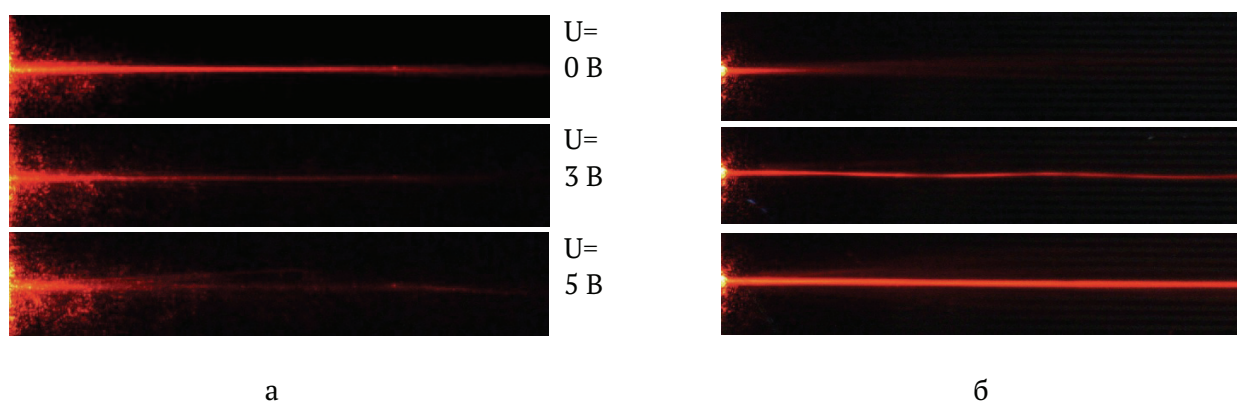


Рис. 8. Распространение лазерного излучения:

а – в ЖК ячейке с начальной планарной перпендикулярной ориентацией директора ЖК в смежных областях;
 б – в ЖК ячейке с параллельной начальной ориентацией директора ЖК в смежных областях

увеличение напряжения приводит к увеличению области по толщине ЖК слоя, в пределах которой выполняется условие ПВО и все большее количество света попадает в условие волноводного распространения.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе разработаны и оптимизированы технологии изготовления ЖК элементов с различной топологией модуляции границы раздела мезофаз и показана возможность создания электрически управляемых анизотропных устройств для управления электромагнитным излучением. Экспериментально показана возможность использования таких структур в качестве волноводных. Такие пространственно структу-

рированные ЖК элементы могут являться прототипами электрически управляемых (активных) компонентов волоконно-оптических линий связи

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабанова О.С., Мельникова Е.А., Оленская И.И., Толстик А.Л. Электрически управляемые волноводные жидкокристаллические элементы // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40, № 14. С. 30-35
2. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. // М.: Наука. 1978. 384 с.
3. Волноводный режим распространения света в жидкокристаллических элементах с различной топологией модуляции границы раздела мезофаз / И.И. Оленская, О.С. Кабанова, А.Л. Толстик, Е.А. Мельникова // Ученые записки физического факультета МГУ. 2014. №4. 144338.

LIQUID CRYSTAL WAVEGUIDE ELEMENTS WITH DIFFERENT TOPOLOGY OF MODULATION OF INTERFACE REFRACTIVE AREAS

© 2015 I.I. Olenskaya, O.S. Kabanova, E.A. Melnikova

Belarusian State University, Minsk, Belarus

In this article two technologies of creating liquid crystal (LC) structures with different topology of modulation of refractive interface areas were developed and optimized. The mode of waveguide propagation of linearly polarized laser radiation in the LC cells, which were created on the basis of the developed methods, was studied experimentally.

Key words: nematic liquid crystal, total internal reflection, Fredericks transition.

*Irina Olenskaya, Graduate Student, Associate Research Fellow,
E-mail: Irina.Olenskaya@gmail.com*

*Olga Kabanova, Graduate Student, Associate Research Fellow,
E-mail: KabanovaOS@bsu.by*

*Elena Melnikova, Candidate of Physics and Mathematics,
Associate Professor. E-mail: Melnik-ova@bsu.by*