

Пространственное управление лазерным излучением в нематическом жидком кристалле

О. С. Кабанова,* Ж. Лю, Е. А. Мельникова, И. И. Оленская, А. Л. Толстик

*Белорусский государственный университет, физический факультет**Республика Беларусь, 220030, Минск, пр. Независимости, д. 4*

Разработана технология создания ЖК элементов, осуществляющих пространственно-поляризационное управление лазерным излучением. Реализован эффект полного внутреннего отражения излучения от контролируемой рефрактивной границы раздела двух областей с ортогональными ориентациями директора ЖК молекул.

PACS: 42.79.Fm, 42.79.Kg, 42.70.Df

УДК: 535.515

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

В настоящее время область использования жидких кристаллов (ЖК) выходит далеко за рамки их традиционного применения в дисплейных технологиях. Перспективы исследований в области нематических ЖК определяются возможностью создания на их основе разнообразных функциональных устройств со сложной топологией оптической анизотропии. Устройства такого типа позволяют управлять пространственно-поляризационными характеристиками излучения и отличаются миниатюрностью, надежностью и дешевой изготовлением [1,2].

В работе были разработаны и изготовлены ЖК ячейки с электрически управляемой рефрактивной границей раздела двух областей ЖК с ортогональной ориентацией директора ЖК молекул в смежных областях [1].

На рис. 1 представлена структурная схема управляемой ЖК ячейки с рефрактивной границей.

Корпус ЖК ячейки составляют две стеклянные подложки, на подложку *1a* наносился прозрачный электрод из окисла индия (ITO) для возможности визуального наблюдения распространения излучения в ЖК слое, на подложку *1b* методом литографии напылялся тонкий проводящий слой хрома 2. Для реализации управляемой рефрактивной границы производилось частичное травление хрома в присутствии соляной кислоты с поверхности подложки *1b*. Для ориентирования ЖК слоя на подложки наносились тонкие пленки азокрасителя 3. Начальная планарная ориентация директора ЖК молекул в двух взаимно ортогональных направлениях в плоскости ячейки осуществлялась бесконтактным методом фотоориентации азокрасителя поляризованным УФ излучением [3]. Преимуществами использования пленок азокрасителя в качестве ориентантов являются высокие энергии сцепления, термостабильность и фотостабильность материала. Толщина ЖК ячейки задавалась спейсерами 4 и составляла 20 μ . В работе использовался положительный двулучепреломляющий нематический жидкий кристалл с величиной оптической анизотропии $\Delta n = 0.18$.

В условиях отсутствия внешнего электрического поля в ЖК ячейке существует оптически наведенная рефрактивная граница раздела двух областей с взаимно ортогональными ориентациями директора в плоскости элемента. В области ЖК ячейки с планарной горизонтальной ориентацией директора при взаимодействии с горизонтально поляризованным лазерным излучением возбуждается необыкновенная волна, показатель преломления для которой $n_e = 1.67$. В смежной области ЖК ячейки для данной геометрии эксперимента возбуждается обыкновенная волна ($n_o = 1.49$), поскольку ориентация директора ЖК молекул перпендикулярна к вектору поляризации световой волны. Таким образом, горизонтально поляризованная компонента лазерного излучения распространяется из области с большим показателем преломления (возбуждена необыкновенная волна) в область с меньшим показателем преломления (возбуждена необыкновенная волна), что сопровождается отражением и преломлением излучения на рефрактивной границе согласно закону Снелиуса. При падении линейно поляризованного излучения на рефрактивную границу под углом α , превышающим критическое значение ($\alpha > \alpha_{кр.}$), происходит полное внутреннее отражение (ПВО) и излучение не проникает в среду с меньшим показателем преломления.

В условиях присутствия внешнего электрического поля в области ЖК ячейки с напыленным хромом происходит переориентация ЖК молекул в результате перехода Фредерикса [4], т. е. планарная ориентация заменяется на гомеотропную, в то время как в смежной области электропроводящий слой отсутствует и, как следствие, ориентация директора ЖК молекул остается исходной (планарной). Таким образом, при приложении напряжения к ЖК ячейке возникает рефрактивная граница раздела двух ЖК областей, индуцированная электрическим полем. Для данной геометрии эксперимента вертикально поляризованная компонента лазерного излучения является необыкновенной волной ($n_e = 1,67$) в области ЖК ячейки с напыленным хромом. В смежной области ячейки ориентация директора ЖК молекул является планарной и показатель преломления для вертикальной поляризационной моды определяется показателем преломления для обыкновенной

*E-mail: Kabanovaos@bsu.by

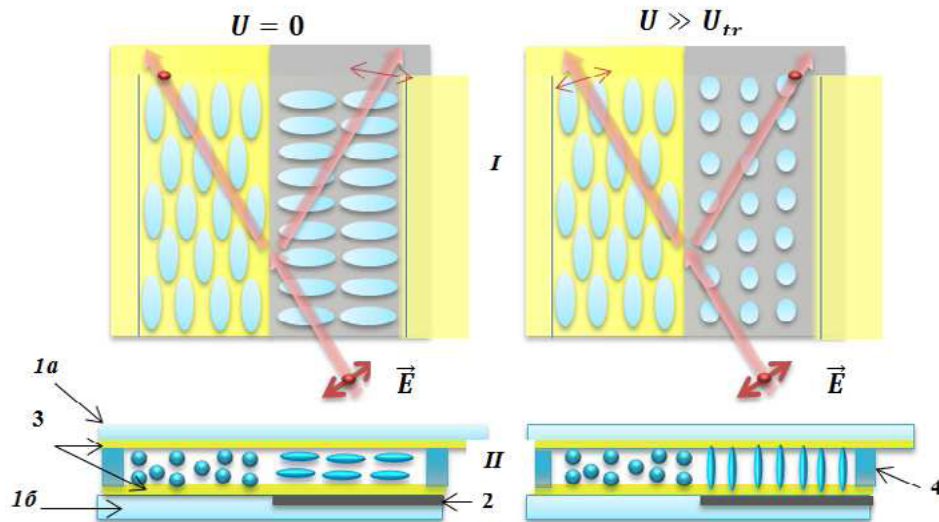


Рис. 1: Схема ЖК ячейки с рефрактивной границей: I — вид сверху; II — вид с торца

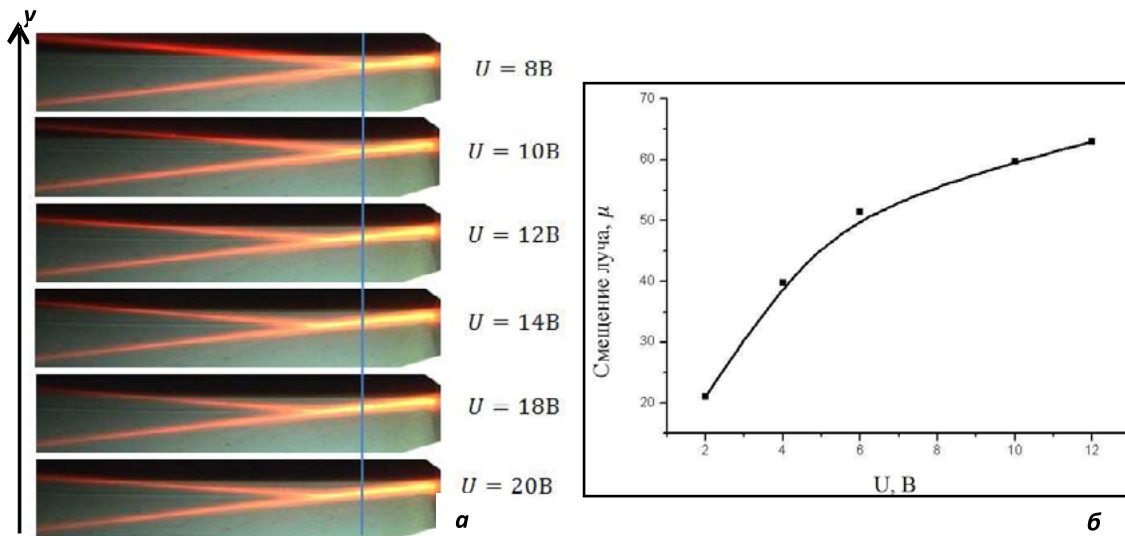


Рис. 2: Зависимость смещения отраженного луча от величины приложенного напряжения.

волны ($n_o = 1,49$). При включенном электрическом поле отражение и преломление на рефрактивной границе испытывает вертикально поляризованная мода и при углах падения излучения на границу, превышающих критический, происходит явление ПВО.

Таким образом, при помощи созданной ЖК ячейки с управляемой рефрактивной границей, работающей в двух экспериментальных геометриях, можно реализовать пространственное и поляризационное разделение ортогональных мод лазерного излучения.

На рис.2 представлены экспериментальные результаты по регистрации картины распространения линейно поляризованного лазерного излучения в ЖК слое в условиях присутствия электромагнитного поля. При величине напряжения, превышающей пороговое, и уг-

лом падения излучения на границу $\geq \alpha_{кр}$. происходит, согласно теории, пространственное и поляризационное разделение мод: для вертикальной компоненты лазерного излучения реализуется эффект ПВО, а горизонтальная компонента распространяется прямолинейно, поскольку является обыкновенной волной в обеих областях ячейки. Анализируя экспериментальные данные, представленные на рис.2, а, можно заметить, что с ростом величины приложенного напряжения происходит смещение точки отражения вертикально поляризованной моды в область ячейки без электрода, что обуславливается выходом силовых линий напряженности электромагнитного поля за границу напыленного электрода. Смещение рефрактивной границы под действием напряжения сопровождается изменением траек-

тории отраженного излучения. На рис. 2, б представлен график зависимости величины отклонения отраженного излучения в зависимости от величины приложенного поля. Таким образом, выбирая величину приложенного напряжения к ЖК ячейке можно осуществлять сдвиг отраженного луча в область ячейки без электрода на величину порядка $\Delta_{max} = 196 \mu$, а также производить микросканирование излучением по оси y на величину 70μ .

В настоящей работе были спроектированы и изготовлены ЖК ячейки с управляемой рефрактивной гра-

ницей раздела двух ЖК областей с ортогональными ориентациями директора. Экспериментально исследован эффект полного внутреннего отражения линейно поляризованного лазерного излучения от электрически контролируемой рефрактивной границы. Проведенные исследования демонстрируют возможность создания пространственно-поляризационного ЖК переключателя мод с ортогональной поляризацией. Также, изготовленные ЖК ячейки позволяют осуществлять пространственное микросканирование световым пучком при помощи внешних электрических полей.

- [1] *Kabanova O.S. et al.* Technical Physics Letters. **40**, No 7. P. 618. (2014).
 [2] *Kazak A.A. et al.* Сборник трудов XI Международной конференции «Прикладная оптика 2014». (Санкт-Петербург: Оптическое общество им. Д. С. Рождественского. 21-24 октября 2014). **3**. С. 60.

- [3] *Mikulich V. et al.* Journal of the Society for Information Display. **20**, I. 4. P. 199. (2014).
 [4] *Блинов Л.М.* Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. (М.: Наука, 1978).

Spatial control of laser radiation in a nematic liquid crystal

O. S. Kabanova^a, H. Liu, E. A. Melnikova, I. I. Olenskaya, A. L. Tolstik

*Faculty of Physics, Belarusian State University
 Minsk 220030, Belarus
 E-mail: ^aKabanovaos@bsu.by*

A technology of creating LC elements which can perform space-polarization control of laser radiation was developed. The effect of total internal reflection from a controlled refractive boundary of two LC areas with orthogonal director orientation was realized.

PACS: 42.79.Fm, 42.79.Kr, 42.70.Df

Keywords: nematic liquid crystal, total internal reflection, Fréedericksz transition.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Кабанова Ольга Сергеевна — аспирант, младший научный сотрудник; e-mail: Kabanovaos@bsu.by.
2. Лю Жань — магистрант, e-mail: Liuran1207@qq.com.
3. Мельникова Елена Александровна — кандидат физ.-мат. наук, доцент; тел.: (17) 209-51-18, e-mail: Melnikova@bsu.by.
4. Оленская Ирина Ивановна — аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: Irina.Olenskaya@Gmail.com.
5. Толстик Алексей Леонидович — доктор физ.-мат. наук, профессор; тел.: (17) 209-51-18, email: Tolstik@bsu.by.