

Распространение световых пучков в электрически переключаемой системе связанных жидкокристаллических волноводов

Е. П. Пантелеева, О. С. Кабанова, Е. А. Мельникова

Белорусский государственный университет, Минск;

e-mail: pantsialejevake@gmail.com

Предложена новая геометрия текстурированного электрода, обеспечивающая формирование в слое нематического жидкого кристалла (ЖК) электрически индуцированных связанных волноводных каналов различной конфигурации. Изготовлена поляризационно-чувствительная волноводная ЖК-структура, характеризующаяся электрически управляемой пространственной модуляцией ориентации директора. Экспериментально установлены условия реализации волноводного распространения света в разработанной электрически переключаемой ЖК-системе. Продемонстрировано пространственное уширение индуцированных волноводных каналов в ЖК-слое под действием краевого электрического поля, а также перераспределение энергии светового поля между связанными волноводными каналами.

Ключевые слова: нематический жидкий кристалл, оптическое переключение, волноводное распространение, полное внутреннее отражение, оптическая анизотропия.

Введение

В настоящее время ведутся активные научные исследования в области разработки и создания волноводных оптических систем на базе функциональных материалов, характеризующихся управляемыми оптическими параметрами [1]. Нематические жидкие кристаллы обладают уникальными электрооптическими свойствами и являются перспективными функциональными средами для создания относительно простых, надёжных и недорогих оптических элементов для пространственно-поляризационного управления световыми пучками.

Технология создания ЖК волноводов

В работе использовали стандартную планарную ячейку типа «сэндвич» с толщиной ЖК-слоя 20 мкм. Внутренняя поверхность одной из стеклянных подложек ячейки была однородно покрыта прозрачным токопроводящим слоем оксида индия-олова для визуального наблюдения пространственного распределения светового поля в ЖК-элементе. На второй подложке литографическим способом были сформированы две системы текстурированных электродов на основе хрома («кольца» и «стержни») с возможностью независимой подачи напряжения. Расстояние между токопроводящими системами «кольца» и «стержни» составляло порядка 10 мкм (рис. 1).

В работе использовался положительный нематический жидкий кристалл с показателями преломления: $n_e = 1,7$ для необыкновенной волны и $n_o = 1,5$ для обыкновенной волны.

При проведении экспериментальных исследований вертикально поляризованное лазерное излучение (S-мода), сфокусированное при помощи микрообъектива, вводилось в торец ЖК-элемента (параллельно плоскости стеклянных подложек). Размер пятна перетяжки лазерного излучения и его расходимость при входе в ЖК-слой были согласованы с апертурой волноводных каналов. Картины распространения световых пучков в ЖК-слое регистрировались с использованием CCD-камеры, регистрирующей излучение, рассеянное на неоднородностях ЖК-среды. В эксперименте изменялись как конфигурация текстурированных электродов, так и амплитуда электрического напряжения.

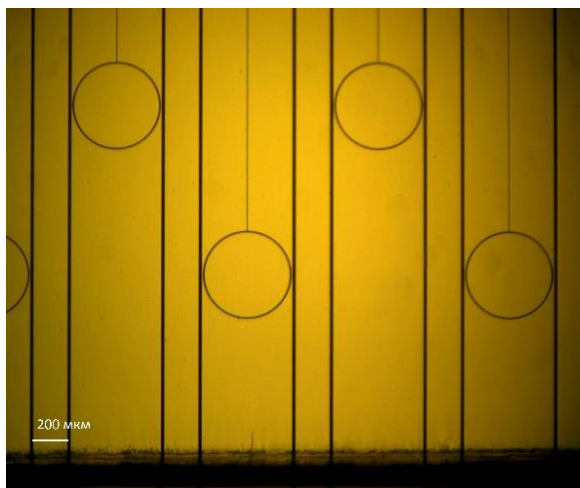


Рис. 1. – Микрофотография ЖК-ячейки с текстурированными электродами «кольца» и «стержни» на нижней подложке.

Результаты и обсуждение

В условиях отсутствия внешнего электрического поля ориентация молекул в ЖК-слое совпадала с направлением электродов типа «стержни». При включении напряжения, превышающего пороговое значение $U_t = 1,1$ В, в слое жидкого кристалла происходила переориентация директора ЖК в области электродов (переход Фредерикса [3]) (рис. 2). В зонах, где на нижней подложке электрод отсутствовал, ориентация директора ЖК оставалась планарной. Наведенная электрическим полем рефрактивная граница раздела двух областей нематического жидкого кристалла с различными ориентациями директора позволила реализовать режим волноводного распространения света (рис. 3) [4]. Начальная планарная ориентация директора ЖК сменялась на многодоменную структуру, представляющую собой совокупность областей (доменов) с разными ориентациями директора: планарной (директор параллелен стеклянным подложкам) и наклонной, переходящую в гомеотропную (директор ортогонален стеклянным подложкам) при превышении порогового напряжения U_t примерно в пять-семь раз.

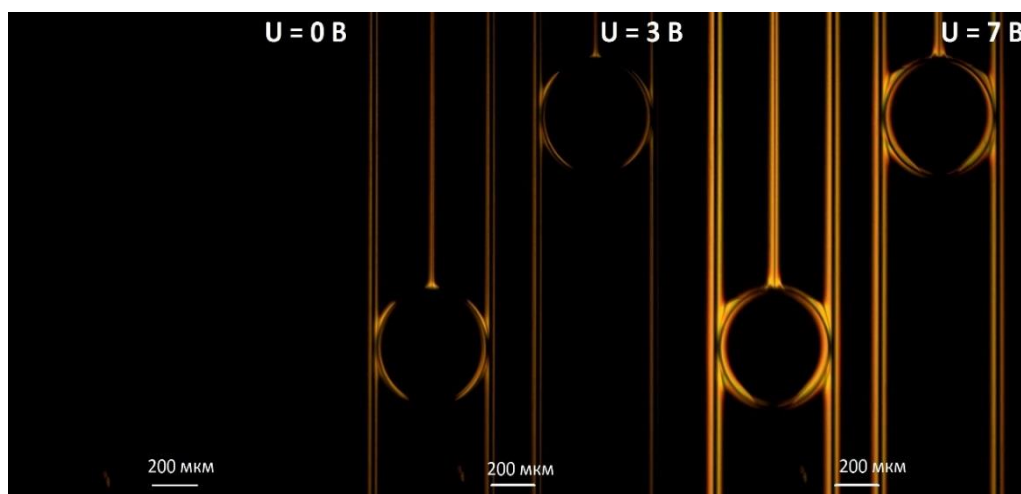


Рис. 2. – Поляризационные микрофотографии ЖК-ячейки с текстурированными электродами «кольца» и «стержни» при различных значениях напряжения.

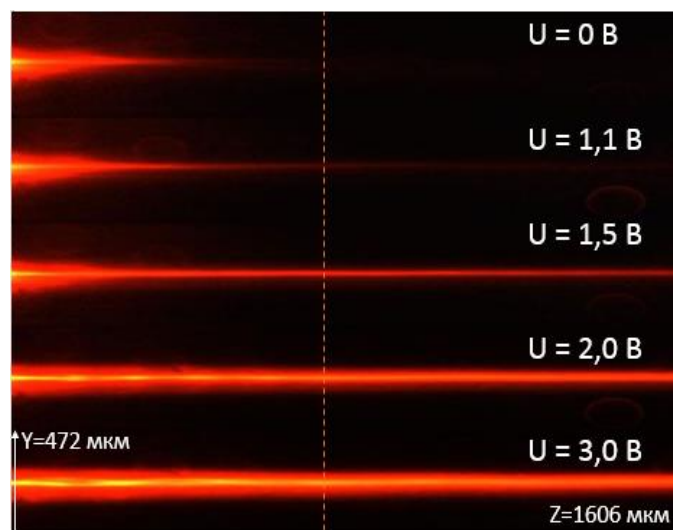


Рис. 3. – Распространение лазерного излучения (S-мода) в электрически управляемой волноводной ЖК-структуре при различных значениях напряжения, поданного на систему электродов «стержни».

Экспериментально зарегистрировано увеличение ширины волноводных каналов, обусловленное пространственным смещением рефрактивных ЖК-границ под действием краевого электрического поля. Данный эффект позволил реализовать оптическую связь между двумя системами волноводов.

Картины распространения вертикально поляризованного лазерного излучения при различных значениях и схемах подачи управляющего напряжения представлены на рис. 4.

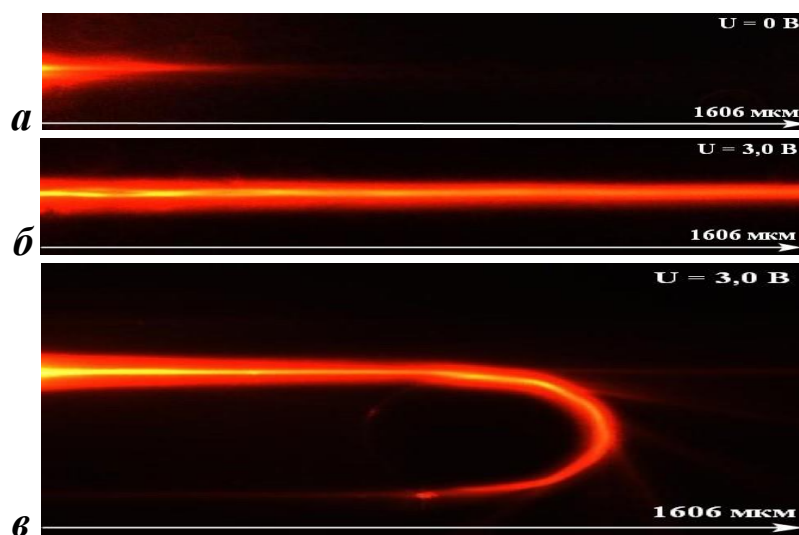


Рис. 4. – Микрофотографии распространения светового пучка в ЖК-ячейке с текстурированным электродом при разных значениях и схемах подачи внешнего напряжения. Захват светового пучка кольцевым резонатором (в).

Из экспериментальных данных следует, что в условиях отсутствия внешнего электрического поля в соответствии с рис. 4, а, входящий в анизотропный слой световой пучок распространяется в плоскости ячейки, испытывая дифракционное

расхождение и рассеяние. При подаче напряжения на систему «стержни», превышающего пороговое значение ($U > U_t$), включается режим прямолинейного волноводного распространения излучения (рис. 4, б). При одновременной подаче управляющего напряжения на электроды «кольца и «стержни» $U > U_t$, реализуется пространственное разделение светового пучка между волноводными каналами двух разных систем, и часть излучения захватывается кольцевым резонатором (рис. 4, в).

Заключение

Таким образом, в работе была предложена переключаемая ЖК-структура планарного типа с двумя независимыми системами управляемых волноводных каналов. На основе эффекта уширения волноводных каналов, вызванного пространственным смещением рефрактивных ЖК-границ под действием краевого электрического поля, была реализована оптическая связь между двумя системами ЖК-волноводов – захват излучения кольцевым резонатором. Проведённые исследования демонстрируют возможность пространственного управления световыми пучками на основе изменения оптической связи между электрически переключаемыми системами ЖК-волноводов, что имеет большое значение для решения актуальных задач интегральной фотоники.

Литература

1. Tong X.C. Advanced Materials for Integrated Optical Waveguides. Springer Series in Advanced Microelectronics. Cham: Springer International Publishing, 2014. Vol. 46, 552 p.
2. Muravsky A., Agabekov V., Zhavnerko G., Mahilny U., Stankevich A. Patterned rubbing alignment technology. SID Sympos. Dig. Tech. Pap. 2010. Vol. 41. P. 1727–1730.
3. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978.
4. Melnikova E. A., Tolstik A. L., Rushnova I. I., Kabanova O. S., Muravsky. A. A. Electrically controlled spatial-polarization switch based on patterned photoalignment of nematic liquid crystals. Applied Optics. 2016. Vol. 55. No 23. P. 6491.

Propagation of light beams in an electrically switchable system of coupled liquid crystal waveguides

Y.P. Pantsialeyeva, O. S. Kabanova, E. A. Melnikova

*Belarusian State University, Minsk;
e-mail: pantsialeyevakate@gmail.com*

A new geometry of a patterned electrode, which provides the formation of electrically induced coupled waveguide channels of various configurations in the nematic liquid crystal (LC) layer, has been proposed. A polarization-sensitive LC waveguide structure characterized by an electrically controlled spatial modulation of the director orientation was fabricated. The conditions for realization of waveguide propagation of light in the developed electrically switchable LC system have been experimentally established. Spatial broadening of induced waveguide channels in the LC layer under the action of an edge electric field is demonstrated, as well as redistribution of the light field energy between the coupled waveguide channels.

Keywords: nematic liquid crystal, optical switching, waveguide propagation, total internal reflection, optical anisotropy.