

06:09

Электрически управляемые волноводные жидкокристаллические элементы

© О.С. Кабанова, Е.А. Мельникова, И.И. Оленская, А.Л. Толстик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: melnikova@bsu.by

Поступило в Редакцию 5 марта 2014 г.

Разработаны и изготовлены жидкокристаллические (ЖК) элементы с электрически управляемой пространственной топологией ориентации директора. Впервые реализован режим волноводного распространения светового пучка в пространственно структурированной ЖК-ячейке и экспериментально продемонстрирована возможность создания электрически управляемых волноводных делителей и сумматоров.

Аномально высокая оптическая анизотропия жидких кристаллов и возможность управления анизотропией в тонкопленочных ЖК-элементах посредством низких электрических напряжений (порядка нескольких вольт) определяют перспективы разработок новых методов и устройств управления световыми полями на основе малогабаритных ЖК-элементов. Наряду с традиционными сферами использования (индикаторы, модуляторы света, дисплеи) широко анализируются пути создания ЖК-устройств для управления световыми пучками (фазовые пластинки, устройства отклонения пучка, дифракционные ЖК-элементы) [1–8]. В последнее время появились работы по исследованию распространения световых пучков в пространственно структурированных нематических жидких кристаллах. Показана возможность преломления, отражения и поляризационного разделения световых пучков на границе раздела двух ЖК-фаз [9–11], а также возможность светодуцированного волноводного распространения лазерного излучения и формирования нематиконов [12–14].

Целью настоящей работы является создание электрически управляемых пространственно структурированных ЖК-элементов и реализация на их основе режимов волноводного распространения и управления световыми пучками.

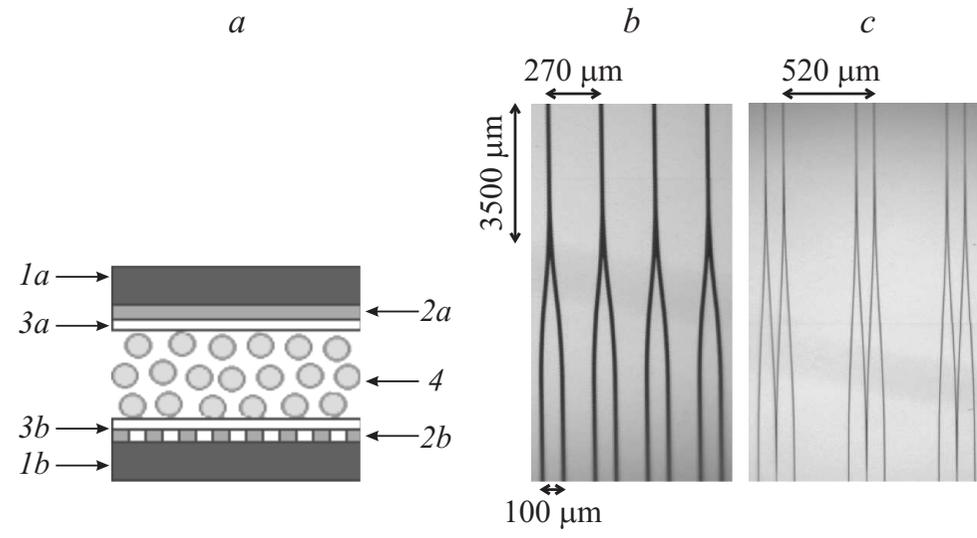


Рис. 1. *a* — схема ЖК-ячейки; *b* — конфигурация электрода „вилочка“; *c* — конфигурация электрода „двоясная вилочка“.

Структурная схема электрически управляемого волноводного ЖК-элемента представлена на рис. 1, *a*. ЖК-элемент состоит из двух стеклянных подложек *1a*, *1b* с электродами на их поверхностях. На подложку *1a* наносился прозрачный электрод *2a* из окиси индия, а на вторую подложку *1b* — пространственно структурированный электрод *2b*, из хрома, который изготавливался по разработанным шаблонам методом оптической литографии. На подложки с электродами наносилось ориентирующее фотополимерное покрытие *3a*, *3b*, которое натиралось для задания планарной ориентации директора. Толщина ЖК-слоя волноводного элемента задавалась спейсерами и составляла $20\ \mu\text{m}$. В работе был использован положительный двулучепреломляющий нематический жидкий кристалл *4* с анизотропией показателя преломления 0.18.

Для изготовления ЖК-ячеек, позволяющих реализовать волноводное распространение и разделение световых пучков, были выбраны структуры электродов, представленные на рис. 1, *b* (одиночные вилочки) и рис. 1, *c* (сдвоенные вилочки). Толщина электродов составляла 40 и $20\ \mu\text{m}$ соответственно; расстояние между электродами на входе 270 (рис. 1, *b*) или $520\ \mu\text{m}$ (рис. 1, *c*). Длина электрода до разветвления $3500\ \mu\text{m}$. После разветвления расстояние между электродами (ширина одиночной вилочки) $100\ \mu\text{m}$.

Принцип формирования управляемых ЖК-волноводов основан на реализации эффекта полного внутреннего отражения от электрически контролируемой границы раздела двух областей жидкого кристалла с различными топологиями ориентации директора [10]. В отсутствие внешнего напряжения на ЖК-разветвителе жидкий кристалл планарно ориентирован по всему объему элемента. При подаче напряжения, вследствие перехода Фредерикса, молекулы жидкого кристалла ориентируются по силовым линиям электрического поля (гомеотропная ориентация), пространственное распределение которых в объеме жидкого кристалла определяется топологией структурированного электрода. В тех местах ЖК-элемента, где нет электрода, направление директора жидкого кристалла останется планарным. В результате, в объеме ЖК-ячейки создается пространственная модуляция ориентации директора и, как ее следствие, модуляция анизотропии показателя преломления жидкого кристалла. При использовании линейно поляризованного света такая структура может выступать в качестве волноводного элемента. Действительно, если электрический вектор линейно поляризованной

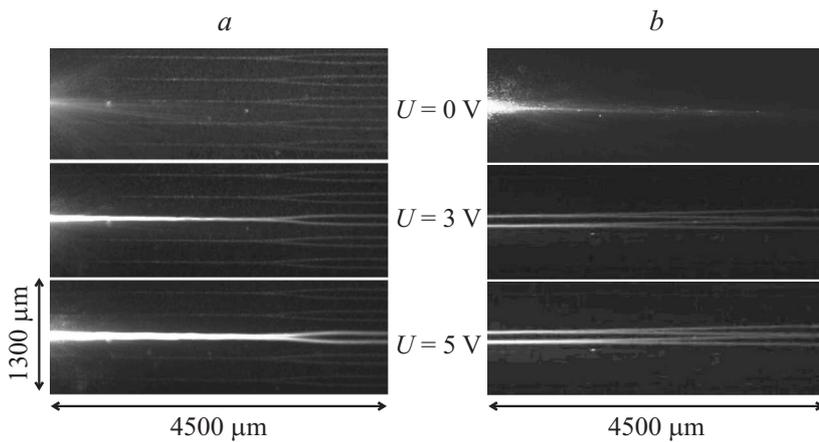


Рис. 2. Распространение лазерного излучения в ЖК-ячейках; *a* — „вилочка“, *b* — „двойная вилочка“.

световой волны совпадает по направлению с гомеотропно ориентированным жидким кристаллом, показатель преломления для такой поляризационной моды определяется показателем преломления необыкновенной волны ($n_e = 1.67$). В тех местах, где электрод отсутствует, и директор жидкого кристалла сохраняет первоначальную планарную ориентацию, показатель преломления определяется показателем преломления для обыкновенной волны ($n_o = 1.49$). Следовательно, при включенном электрическом поле для поляризации световой волны, совпадающей по направлению с гомеотропно ориентированным жидким кристаллом, и углах распространения менее 25° реализуются условия полного внутреннего отражения и волноводного распространения лазерного излучения.

Картина распространения лазерного излучения в созданных ЖК-элементах представлена на рис. 2. Линейно поляризованное лазерное излучение He–Ne-лазера с помощью микрообъектива вводилось в торец ЖК-элемента, при этом свет распространялся в плоскости ЖК-капилляра в пределах одного электрода. При выключенном внешнем поле (рис. 2, $U = 0\text{ V}$) свет, введенный в ЖК-ячейку, рассеивается на неоднородностях жидкого кристалла. При включении электрического

поля в объеме жидкого кристалла возбуждаются волноводные каналы, по которым распространяется излучение лазера (рис. 2, $U = 3$ и 5 V). На рис. 2, *a* видно, что световой пучок захватывается сначала одиночным волноводом и потом раздваивается в соответствии со структурой электрода. При использовании двояных вилок излучение захватывается обоими волноводами и также раздваивается (рис. 2, *b*). В месте слияния внутренних электродов каждой из вилок имеет место объединение двух пучков. Таким образом, 2 крайних пучка на выходе несут информацию об использованных входных сигналах, а центральный пучок отвечает суммарному оптическому сигналу.

Следует заметить, что, как видно из рис. 2, при увеличении амплитуды напряжения, подаваемого на ЖК-элемент, длина распространения светового пучка в ЖК-ячейке возрастает. Это связано с тем, что при небольших напряжениях переориентации директора жидкого кристалла происходит только в центральной части ЖК-слоя, вдали от подложек. Увеличение напряжения приводит к увеличению области ЖК-слоя (от центра слоя к подложкам), в пределах которой происходит переориентация директора жидкого кристалла. Следовательно, с увеличением приложенного напряжения для все большей части светового пучка будет выполняться условие полного внутреннего отражения и волноводного распространения лазерного излучения.

Таким образом, в представленной работе отработаны технологии ЖК-элементов с различной топологической структурой и показана возможность создания электрически управляемых волноводных структур. Созданные пространственно структурированные ЖК-элементы демонстрируют функции волноводных делителей и сумматоров и могут являться прототипами электрически управляемых (активных) компонентов волоконно-оптических линий связи.

Список литературы

- [1] *Mutsui T., Ozaki M., Yoshino K.* // J. Opt. Soc. Am. B. 2004. V. 21. P. 1651.
- [2] *Pagliusi P., Gipparrone G.* // J. Opt. Soc. Am. B. 2004. V. 21. P. 996.
- [3] *Lin T.-H., Fuh A.Y.-G.* // Opt. Lett. 2005. V. 30. P. 1390.
- [4] *Song L., Lee W.-K.* // Opt. Commun. 2006. V. 259. P. 293.
- [5] *Trushkevych O., Collings N., Crossland W.A., Wilkinson T.D.* // Appl. Opt. 2006. V. 45. P. 8889.

- [6] *Казак А.А., Мельникова Е.А., Толстик А.Л., Могильный В.В., Станкевич А.И.* // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 20. С. 1–7. (*Kazak A.A., Melnikova E.A., Tolstik A.L., Mahilny U.V., Stankevich A.I.* // Technical Physics Letters. 2008. V. 34. P. 861.)
- [7] *Kazak A.A., Tolstik A.L., Melnikova E.A.* // J. Opt. Techn. 2010. V. 77. P. 461.
- [8] *Ostrovsky A.S., Rickenstorff-Parrao C., Arrizón V.* // Opt. Lett. 2013. V. 38. P. 534.
- [9] *Peccianti M., Dyadyusha A., Kaczmarek M., Assanto G.* // Nature Physics. 2006. V. 2. P. 737.
- [10] *Комар А.А., Курочкина М.А., Мельникова Е.А., Станкевич А.И., Толстик А.Л.* // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. В. 15. С. 26–32. (*Komar A.A., Kurochkina M.A., Melnikova E.A., Stankevich A.I., Tolstik A.L.* // Technical Physics Letters. 2011. V. 37. P. 704.)
- [11] *Kazak A.A., Tolstik A.L., Melnikova E.A., Komar A.A.* // Int. J. Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2013. V. 16. P. 302.
- [12] *Assanto G., Fratolocchi A., Peccianti M.* // Opt. Express. 2007. V. 15. P. 5248.
- [13] *Maksimochkin A.G., Pasechnik S.V., Maksimochkin G.I., Chigrinov V.G.* // Opt. Commun. 2010. V. 283. P. 3136.
- [14] *Piccardi A., Alberucci A., Assanto G.* // Int. J. Molecular Sciences. 2013. V. 14. P. 19932.