

07

Поляризационное разделение световых пучков на границе раздела двух мезофаз

© А.А. Комар, М.А. Курочкина, Е.А. Мельникова, А.И. Станкевич,
А.Л. Толстик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: tolstik@bsu.by; tolstikal@mail.com

Поступило в Редакцию 21 февраля 2011 г.

Проанализированы особенности отражения линейно поляризованных световых пучков на границе раздела двух областей нематического жидкого кристалла (ЖК) с ортогональной ориентацией директора. Установлена зависимость распространения световых пучков в жидкокристаллическом материале от поляризации лазерного излучения. Обнаружен эффект поворота плоскости поляризации светового пучка при вводе излучения через свободную поверхность „ЖК–воздух“, деформированную вследствие капиллярного эффекта. Экспериментально продемонстрированы эффект полного внутреннего отражения, а также возможность пространственного разделения ортогонально поляризованных световых пучков на границе раздела двух мезофаз.

Одним из актуальных направлений современной оптики является разработка и создание недорогих и компактных оптоэлектронных устройств управления световыми пучками. Перспективными электрооптическими материалами являются жидкие кристаллы, обладающие большой анизотропией показателя преломления ($\sim 0.1-0.4$) и возможностью ее изменения посредством малых внешних напряжений (порядка нескольких вольт). Жидкие кристаллы используются в системах отображения информации (индикаторы, дисплеи), для создания пространственно-временных модуляторов света, дифракционных оптических элементов и др. [1–6]. В последнее время появились работы по исследованию распространения световых пучков в пространственно структурированных нематических ЖК. Показана возможность отражения световых пучков на границе раздела двух жидкокристаллических фаз [7,8], а также возможность волноводного распространения лазерного излучения [9,10].

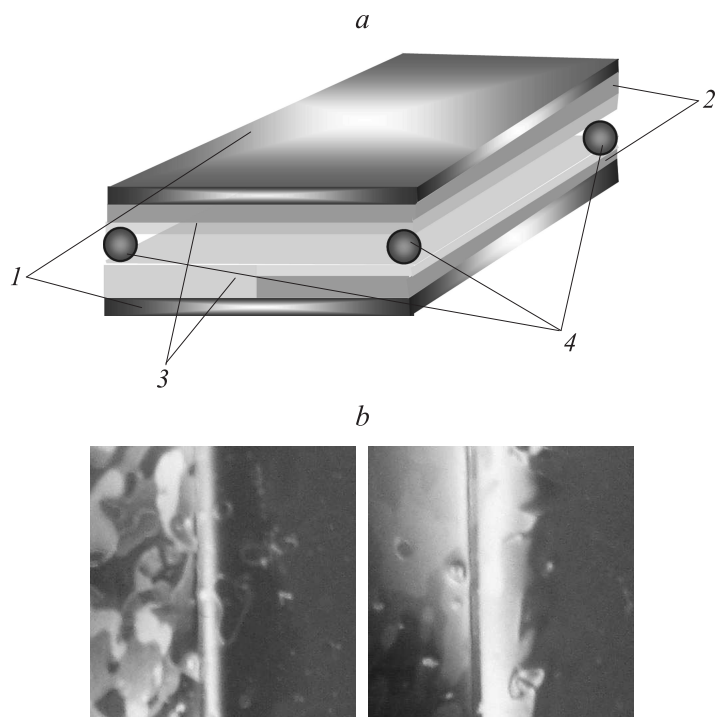


Рис. 1. ЖК-ячейка (*a*) и сформированная граница раздела двух мезофаз (*b*) при различных приложенных напряжениях: *a* — ~ 10 V, *b* — ~ 50 V.

В данной работе исследуются процессы распространения и отражения световых пучков в тонких жидкокристаллических слоях, в которых сформирована граница раздела двух нематических мезофаз. Основное внимание уделяется анализу пространственного распределения светового поля в зависимости от поляризации лазерного излучения.

Для формирования границы раздела двух мезофаз была изготовлена ЖК-ячейка, схема которой представлена на рис. 1, *a*. Ячейка состоит из двух стеклянных подложек 1 с прозрачными электродами из окиси индия 2. Один из электродов частично стравливали, используя фоторезист, который наносился на стеклянную подложку и засвечивался УФ-излучением через маску, закрывающую половину подложки. Затем

последовательно проводилось травление фоторезиста и электрода. Слой фоточувствительного полимера 3 толщиной $\sim 0.1 \mu\text{m}$ наносили на поверхность подложек методом центрифугирования. Для придания ориентирующих свойств фотополимерное покрытие засвечивалось коллимированным поляризованным излучением ртутной лампы. Время экспонирования составляло 150 s при интенсивности излучения 2 mW/cm^2 , за которое происходило превращение примерно 90% фоточувствительного бензальдегидсодержащего компонента. Заполнение оптической ячейки жидким кристаллом осуществлялось в вакуумной камере. В объеме ячейки создавалась планарная ориентация директора ЖК. Толщина ЖК-слоя задавалась спейсерами 4 и для удобства ввода лазерного излучения через торец ячейки составляла $220 \mu\text{m}$. Использовался положительный двулучепреломляющий нематический жидкий кристалл ЖК 1289 (разработка НИО ПИК) с анизотропией показателя преломления $n_e - n_o = 0.17$.

Граница раздела создавалась посредством подачи на ячейку электрического напряжения. При воздействии внешнего электрического поля происходила переориентация молекул ЖК в той половине ячейки, в которой оставался электрод после травления. В другой части ячейки, где электрод был стравлен, сохранялась планарная ориентация молекул ЖК. Области с разными ориентациями директора ЖК (планарной и гомеотропной) формировали границу раздела двух нематических фаз (рис. 1, *b*) с определенными зависимостями показателя преломления от поляризации падающего излучения. Для визуализации границы использовался метод фотографирования в скрещенных поляризаторах. Темный цвет планарной ориентации ЖК. В области приложения электрического поля создавалась гомеотропная ориентация. Пространственно неоднородное пропускание ячейки в этой области связано с неполной переориентацией директора ЖК под действием электрического поля вследствие большой толщины ячейки ($220 \mu\text{m}$). На границе раздела двух областей ЖК формируется твист структура, которая в скрещенных поляризаторах выглядит в виде светлой полосы (рис. 1, *b*). Заметим, что при увеличении напряжения наблюдалось расширение приграничной области. Экспериментальные исследования зависимости оптической анизотропии от приложенного напряжения показали, что, несмотря на большую толщину ячейки ($220 \mu\text{m}$), существенное изменение показателя преломления, обеспечивающее формирование выраженной границы раздела, достигается при весьма небольшом приложенном

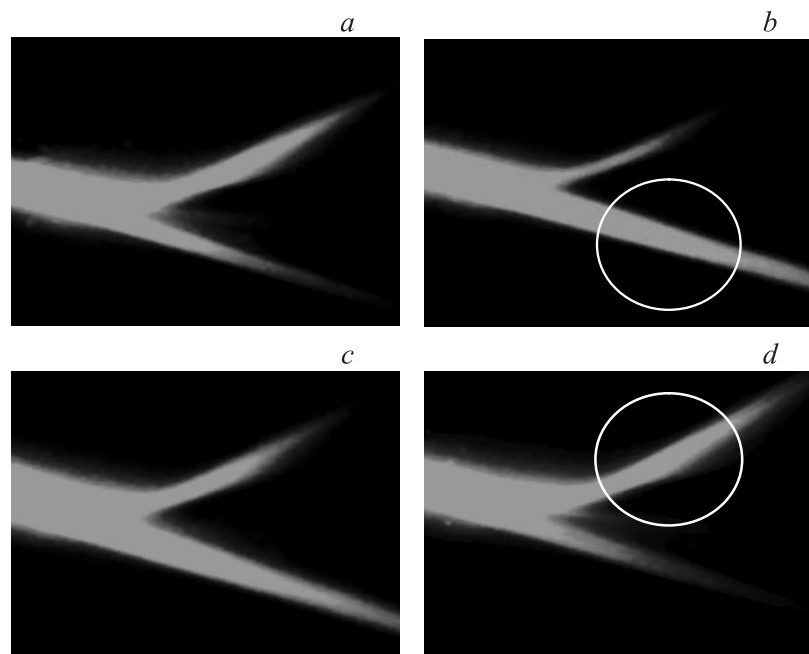


Рис. 2. Фотографии лазерного пучка при вводе его в ЖК-ячейку через свободную поверхность „ЖК–воздух“ при различной поляризации лазерного излучения: a — 0° , b — 45° , c — 90° , d — 135° .

напряжении (~ 5 – 10 V), отвечающем напряженности внешнего электрического поля порядка 200 – 500 V/cm, что на порядок меньше обычно используемых напряженностей.

Результаты исследования отражения и преломления лазерных пучков на границе раздела двух мезофаз представлены на рис. 2. На фотографиях зафиксировано распространение излучения гелий-неонового лазера при прохождении ЖК-ячейки в зависимости от поляризации. Излучение вводилось в ЖК-ячейку под углом, обеспечивающим полное внутреннее отражение для разности показателей преломления $\Delta n = 0.17$. Ориентация электрического вектора световой волны, входящей в ЖК-ячейку, отсчитывалась от направления поляризации света, соответствующей обыкновенной волне для обеих областей ячейки.

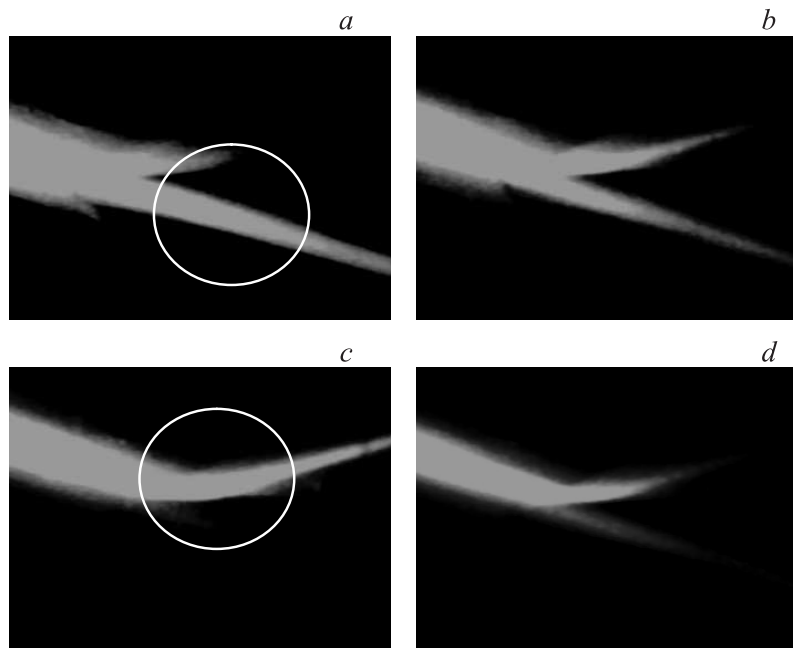


Рис. 3. Фотографии лазерного пучка при вводе его в ЖК-ячейку через торцевую стеклянную пластинку при различной поляризации лазерного излучения: $a - 0^\circ$, $b - 45^\circ$, $c - 90^\circ$, $d - 135^\circ$.

Волна с такой поляризацией, согласно теории, не должна отражаться от границы раздела. Свет с перпендикулярной поляризацией отвечает углу 90° . В этом случае волна является обыкновенной волной для планарной ориентации ЖК и необыкновенной волной для гомеотропной ориентации. Следовательно, на границе раздела должен наблюдаться эффект полного отражения. Однако в эксперименте в обоих случаях (0° и 90°) наблюдались два луча: прошедший и отраженный (рис. 2, a, c), хотя угол падения лазерного пучка на границу раздела был больше угла полного внутреннего отражения. В то же время, отражение было минимально при углах вблизи 45° (рис. 2, b) и максимально при 135° (рис. 2, d). Мы связали этот эффект с изменением поляризации лазерного излучения при вводе излучения в ячейку через свободную

поверхность „ЖК–воздух“, которая имеет вогнутую форму вследствие капиллярных эффектов. В месте ввода излучения в ячейку на границе раздела „ЖК–воздух“ образуется твист-структура, которая поворачивает вектор поляризации лазерного излучения на угол, близкий к 45° .

Для проверки предположения поворота плоскости поляризации излучения при вводе его в ячейку был изготовлен ЖК-элемент с наклеенной стеклянной пластинкой на торце (со стороны ввода излучения). На пластинку наносилось ориентирующее покрытие, которое было предварительно натерто в соответствии с гомеотропной ориентацией директора ЖК в ячейке. Результаты экспериментов представлены на рис. 3. Видно, что ввод излучения через стеклянную пластинку устраняет эффект, связанный с поворотом плоскости поляризации лазерного излучения. Как и ожидалось, полное внутреннее отражение наблюдалось при угле 90° (рис. 3, *с*), отвечающем вертикальной поляризации излучения. При горизонтальной поляризации (угол 0°) свет распространялся в ячейке, практически не испытывая отражение (рис. 3, *а*).

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования продемонстрировали возможность отражения лазерных пучков на границе раздела двух мезофаз и позволили оптимизировать условия полного внутреннего отражения с учетом обнаруженного эффекта поворота плоскости поляризации светового пучка при вводе излучения через свободную поверхность „ЖК–воздух“. Перспективным для практической реализации представляется эффект зависимости коэффициента отражения от поляризации лазерного излучения. Используя указанную зависимость, можно реализовать разделение световых пучков с ортогональными поляризациями, например ТЕ- и ТМ-волноводных мод, а также создать малогабаритный ЖК-поляризатор.

Работа поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, проект Ф10МС-02.

Список литературы

- [1] *Matsu T., Ozaki M., Yoshino K.* // J. Opt. Soc. Am. B. 2004. V. 21. N 9. P 1651–1658.
- [2] *Pagliusi P., Gipparrone G.* // J. Opt. Soc. Am. B. 2004. V. 21. N 5. P. 9961004.
- [3] *Lin T.-H., Fuh A.Y.-G.* // Opt. Lett. 2005. V. 30. N 11. P. 13901392.
- [4] *Liang Song, Wing-Kee Lee* // Opt. Commun. 2006. V. 259. P. 293–297.

- [5] *Oksana Trushkevych, Neil Collings, William A. Crossland, Timothy D. Wilkinson.* // *Appl. Opt.* 2006. V. 45. N 35. P. 88898892.
- [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.
- [7] *Maksimochkin A.G., Pasechnik S.V., Tsvetkov V.A., Yakovlev D.A., Maksimochkin G.I., Chigrinov V.G.* // *Opt. Commun.* 2007. V. 270. P. 273279.
- [8] *Marco Peccianti, Andriy Dyadyusha, Malgosia Kaczmarek, Gaetano Assanto.* // *Nature Physics.* V. 2. P. 737–742.
- [9] *Marco Peccianti, Claudio Conti, Gaetano Assanto.* // *Opt. Lett.* V. 28. N 22. P. 22312233.
- [10] *Maksimochkin A.G., Pasechnik S.V., Maksimochkin G.I., Chigrinov V.G.* // *Opt. Commun.* 2010. V. 283. P. 31363141.