

07

Управляемые дифракционные жидко-кристаллические структуры на основе полимерного фотоориентанта

© А.А. Казак, Е.А. Мельникова, А.Л. Толстик,
В.В. Могильный, А.И. Станкевич

Белорусский государственный университет, Минск
E-mail: tolstik@bsu.by

Поступило в Редакцию 4 марта 2008 г.

Экспериментально исследованы характеристики управляемых дифракционных элементов на основе нематического жидкого кристалла и нового полимерного фотоориентанта. Фотосшивание полимера позволяет формировать периодические ориентирующие структуры и жидко-кристаллические фазовые решетки с эффективностью в первый порядок $\sim 30\%$.

PACS: 42.70.Df, 42.79.Dj, 42.79.Kr, 42.70.Jk

Уникальные свойства жидко-кристаллических (ЖК) элементов (тонкие оптические слои, низкие рабочие напряжения, высокое двулучепреломление и др.) вызывают возрастающий интерес научно-исследовательских организаций и промышленных фирм в связи с широкими возможностями использования ЖК элементов при создании систем отображения информации (индикаторы, дисплеи), модуляторов света, управляемых волноводных структур и элементов дифракционной оптики [1–3].

В настоящее время разработаны различные типы управляемых дифракционных ЖК элементов и способы формирования решеток. В первых работах [4,5] для управления дифракцией использовались

оптоэлектронные структуры „рельефная решетка — жидкий кристалл“. Начальная ориентация директора ЖК задавалась с помощью механически натертого слоя поливинилового спирта. Переориентация директора под действием электрического поля приводила к изменению глубины модуляции показателя преломления, следовательно, и к изменению дифракционной эффективности ЖК решетки. Альтернативным способом является использование электродов специальной формы, позволяющих сформировать пространственно модулированную ориентацию директора ЖК [6]. В последнее время появились работы, в которых для ориентации жидкого кристалла применяют ориентирующие фотополимеры. Формирование дифракционной структуры происходит при экспонировании используемого полимера поляризованным ультрафиолетовым излучением через фотолитографические маски или при записи интерференционного поля двух лазерных пучков [7,8]. В отдельных случаях интерференционная картина регистрируется в смеси жидкого кристалла и фотополимера без использования ориентирующего покрытия [9].

Целью настоящей работы являлось создание оптоэлектронных ЖК элементов с управляемой дифракцией на основе периодических ориентирующих структур, записанных поляризованным УФ излучением в слоях бензальдегидсодержащих полимеров.

Полимеры, включающие бензальдегидные фрагменты в качестве боковых групп и подобные по структуре исследованным в работе [10,11], обладают фоточувствительными свойствами, демонстрируя, в частности, фотонаведенное двулучепреломление [12]. Их фотоанизотропия устойчива, т.к. связана с образованием ориентированных сшивок между макромолекулами под действием поляризованного УФ излучения [13]. Приведенные ниже результаты показывают, что под действием поляризованного УФ излучения в объеме полимерного материала и на его поверхности наводится оптическая анизотропия, в результате чего поверхность приобретает свойства ЖК ориентанта.

Принципиальная схема ЖК ячейки представлена на рис. 1. Ячейка состоит из двух стеклянных пластин 1, с прозрачными электродами из окиси индия 2. Слой фоточувствительного полимера 3 толщиной $\sim 0.1 \mu\text{m}$ наносили на поверхность одного из электродов методом центрифугирования из 2% раствора полимера в этилацетате. Экспонирование проводилось коллимированным излучением ртутной лампы ДРШ-250, поляризованным в результате отражения от кварцевой пластины под углом Брюстера. Для создания ориентирующих структур

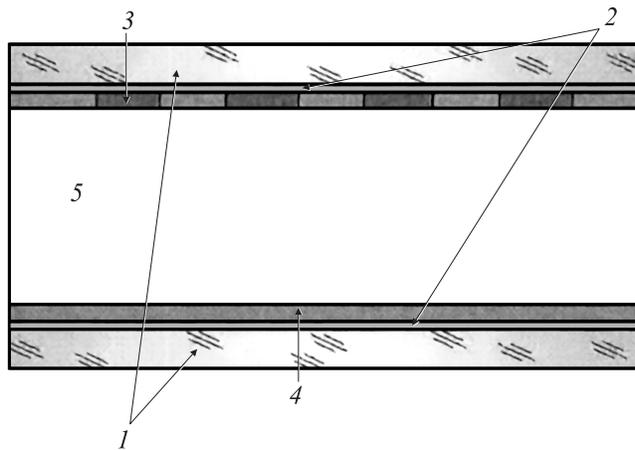


Рис. 1. Схема ЖК-ячейки: 1 — стеклянные подложки, 2 — прозрачные электроды, 3 — фотополимер с периодической засветкой, 4 — ориентант (ПВС или фотополимер), 5 — нематический жидкий кристалл.

с периодом $80\ \mu\text{m}$ использовали фотомаску на кварцевой подложке. Время экспонирования выбиралось таким образом, чтобы степень превращения фоточувствительного компонента составляла не менее 90%. Для этого аналогичную по толщине пленку, нанесенную на кварцевую подложку, предварительно экспонировали в тех же условиях, следя за фотопревращением материала по спектрам электронного поглощения.

В качестве ориентирующего покрытия второй пластины использовался тонкий слой поливинилового спирта (ПВС) или равномерно засвеченный поляризованным светом фотополимер 4. Заполнение оптической ячейки жидким кристаллом осуществлялось в вакуумной камере. Толщина ЖК слоя составляла $20\ \mu\text{m}$. Использовался нематический ЖК 1289 (разработка НИО ПИК), оптическая анизотропия $n_e - n_o = 0.17$. Световой пучок направлялся на грань ЖК ячейки с ориентирующей решеткой.

В работе рассмотрены три варианта формирования дифракционных ЖК элементов, отвечающие двум направлениям начальной ориентации ЖК (планарная ориентация и закрученная (твист) структура), а также использованию в качестве ориентирующего покрытия 4 предварительно натертого ПВС или однородно засвеченного фотополимера. Планарная ориентация ЖК возникает, если ориентация директора ЖК в

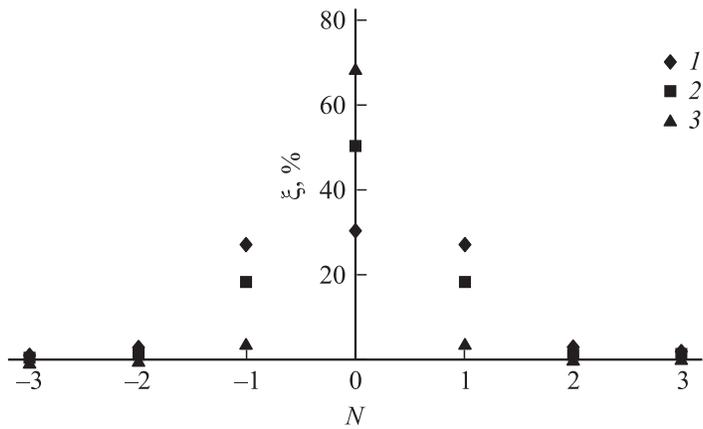


Рис. 2. Дифракционная эффективность ЖК ячеек, изготовленных при различной начальной ориентации ЖК слоя: планарная (1), твист структура (2, 3) и для различных материалов ориентирующего покрытия: ПВС (1, 2) и фотополимер (3); N — порядок дифракции.

засвеченной области фотополимера на одной подложке совпадает с ориентацией директора на второй подложке. Формирование закрученной (твист) структуры имеет место при ортогональных ориентациях ЖК на обеих подложках. Максимально достигнутые значения эффективности дифракции в различные порядки ($N = \pm 1, \pm 2, \pm 3$) для приведенных выше вариантов ориентации директора ЖК представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, при использовании одного и того же ориентанта, например ПВС (1, 2), но различных ориентациях ЖК получены значения дифракционной эффективности для первого порядка на уровне 20% (твист структура) и 4% при планарной ориентации. Такая существенная зависимость дифракционной эффективности от типа ЖК структуры может быть объяснена тем, что при одинаковом направлении директора ЖК в засвеченной области фотополимера на штрихах ориентирующей решетки и поверхности второй подложки межмолекулярные взаимодействия приводят к частичной ориентации молекул ЖК и в промежутках между штрихами. В объеме среды формируется частично ориентированная ЖК структура с небольшой пространственной модуляцией директора ЖК слоя. В то же время, при формировании закрученной структуры конкуренция влияния на ЖК ориентанты обеих подложек приводит к созданию в объеме

среды пространственно модулированной твист-структуры, схематически представленной на рис. 3, *a*, которая отвечает существенно большей глубине модуляции показателя преломления ЖК слоя.

Повысить эффективность дифракции позволило использование разработанного фотополимера в качестве ориентирующего покрытия и для второй подложки (однородное экспонирование при ортогональной поляризации УФ излучения). В таком варианте формирования дифракционных ЖК элементов значения дифракционной эффективности в первый порядок были близки к предельному значению для тонких фазовых голограмм ($\sim 30\%$). При этом дифракционная эффективность для нулевого порядка (прямо прошедшее через ЖК ячейку излучение) и различных вариантов ориентации ЖК соответственно уменьшалась: 70% (ПВС-ориентант, планарная ориентация), 50% (ПВС-ориентант, твист структура) и 30% (фотополимер, твист структура) (рис. 2).

Управление дифракционной эффективностью оптоэлектронных ЖК элементов было реализовано с помощью электрического поля, приложенного к ячейке и приводящего к переориентации молекул ЖК. Для избежания эффекта экранировки подавалось переменное электрическое поле на частоте 1 кГц. Зависимость дифракционной эффективности ЖК элемента от амплитуды приложенного напряжения приведена на рис. 3, *b*. Видно, что существуют оптимальные значения напряжения, при которых дифракция в первый порядок максимальна ($U \approx 0.5$ и 2 В). При нулевом напряжении значения дифракционной эффективности ниже в полтора раза, что можно объяснить несинусоидальностью профиля сформированной дифракционной решетки при начальной ориентации молекул ЖК. С увеличением напряжения происходит переориентация директора ЖК на границах штрихов ориентирующей решетки и профиль решетки приближается к синусоидальному. При напряжениях выше 5 В происходит переориентация директора ЖК во всем объеме слоя и переход к практически однородной гомеотропной структуре, когда световой пучок распространяется преимущественно вдоль оси двулучепреломляющего кристалла и эффективность дифракции не велика.

Существование двух оптимальных значений приложенного электрического напряжения связано с особенностями дифракции света на анизотропных решетках при разности оптических длин для обыкновенной и необыкновенной волн, в несколько раз превышающей длину волны лазерного излучения. Подобная ситуация рассматривалась, например,

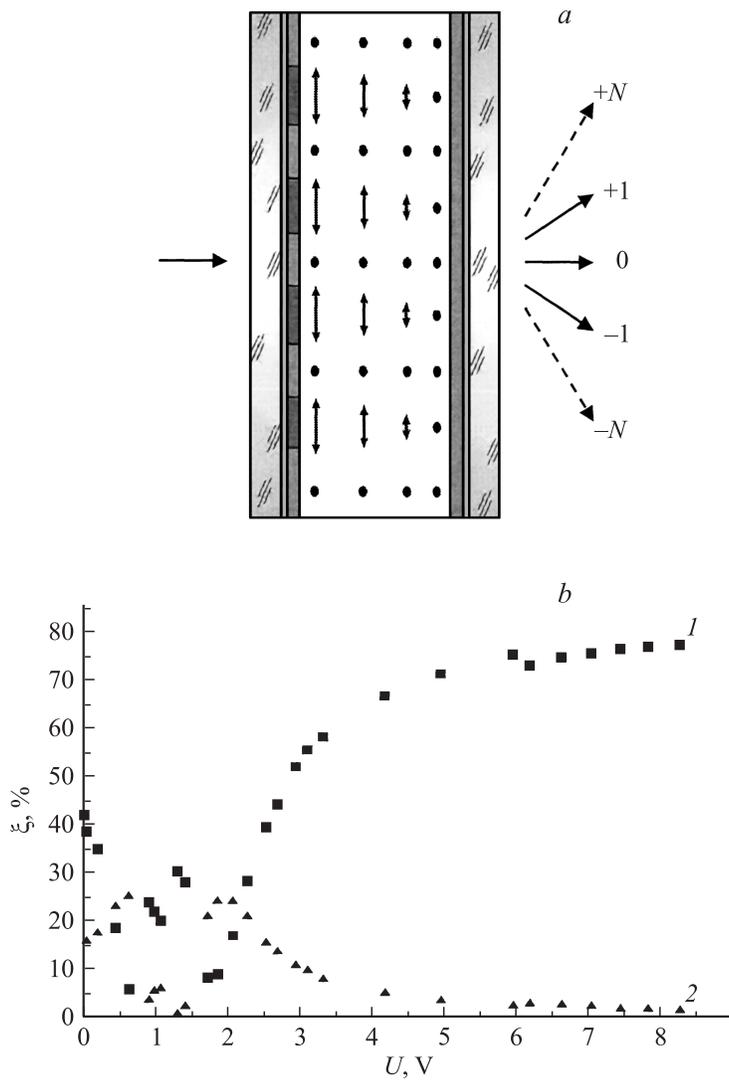


Рис. 3. Схема пространственно модулированной твист структуры ЖК (a) и зависимость дифракционной эффективности от приложенного к ЖК-ячейке электрического напряжения (b) для нулевого (1) и первого порядка (2).

в теоретической работе [14], в которой были описаны осциллирующие зависимости дифракционной эффективности от глубины микрорельефа анизотропной решетки при различных состояниях поляризации падающей волны.

Таким образом, в работе продемонстрирована работоспособность схем электрического управления дифракционной эффективностью ЖК структуры, созданной на основе нового фотоориентирующего материала. Определены оптимальные условия формирования дифракционных решеток в ЖК слое и рабочий диапазон управляющего электрического напряжения.

Список литературы

- [1] *Matsui T., Ozaki M., Yoshino K.* // J. Opt. Soc. Am. B. 2004. V. 21. N 9. P. 1651.
- [2] *Pagliusi P., Gipparrone G.* // J. Opt. Soc. Am. B. 2004. V. 21. N 5. P. 996.
- [3] *Lin T.-H., Fuh A.Y.-G.* // Opt. Lett. 2005. V. 30. N 11. P. 1390.
- [4] *Дурасов В.М., Рубанов А.С., Сташкевич И.В., Чалей А.В.* // Журн. прикл. спектр. 1987. Т. 47. № 3. С. 19–22.
- [5] *Рубанов А.С., Сташкевич И.В., Чалей А.В., Дурасов В.М.* Способ управления дифракцией светового пучка. Авт. свид. СССР № 134775 от 26.11.1985.
- [6] *Bouvier M., Scharf T.* // Opt. Eng. 2000. V. 39. N 8. P. 2129.
- [7] *Sarkissian H., Serak S.V., Tabiryan N.V.* et al. // Opt. Lett. 2006. V. 31. N 15. P. 2248.
- [8] *Karoustine V., Kazakevitch A., So.V., Tam R.* // Opt. Commun. 2006. V. 266. N 1. P. 1.
- [9] *Zhou J., Collard D.M.* // Opt. Lett. 2006. V. 31. N 5. P. 652.
- [10] *Зятков И.П., Могильный В.В.* // Журн. прикл. спектр. 1984. Т. 41. № 3. С. 466.
- [11] *Могильный В.В., Станкевич А.И.* // Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр. 1986. Т. 31. № 6. С. 407.
- [12] *Могильный В.В., Станкевич А.И.* // Низкоразмерные системы-2. Физико-химия элементов и систем с низкоразмерным структурированием (получение, диагностика, применение новых материалов и структур): Сб. науч. работ. Вып. 3 / Под ред. С.А. Маскевича и др. Гродно: ГрГУ, 2003. С. 134.
- [13] *Могильный В.В., Станкевич А.И.* // Взаимодействие излучений с твердым телом. Материалы 5 Международной конференции. Минск, 2003. Ч. 1. С. 179.
- [14] *Беляев В.В., Кушнир Е.М., Клыков А.В., Цой В.И.* // Оптический журнал. 2005. Т. 72. № 9. С. 86.