

УПРАВЛЕНИЕ СВЕТОВЫМИ ПОЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

© 2010 г. А. А. Казак; А. Л. Толстик, доктор физ.-мат. наук;
Е. А. Мельникова, канд. физ.-мат. наук

Белорусский государственный университет, г. Минск

E-mail: kazakAA@bsu.by

Экспериментально исследованы методы управления световыми полями с помощью оптоэлектронных дифракционных элементов на основе ориентированного слоя нематического жидкого кристалла и фотополимерного материала, позволяющего формировать фазовые анизотропные дифракционные структуры.

Ключевые слова: жидкий кристалл, дифракция, дифракционная решетка, зонная пластина.

Коды OCIS: 230.1950, 230.3720

Поступила в редакцию 13.04.2010

Уникальные возможности использования жидкокристаллических (ЖК) элементов для управления световыми потоками привлекают пристальное внимание многих научно-исследовательских организаций и промышленных фирм. Такой повышенный интерес объясняется свойствами ЖК-элементов (тонкие оптические слои, низкие рабочие напряжения, дешевизна изготовления). Одним из наиболее перспективных направлений использования жидкокристаллов является создание управляемых дифракционных элементов, формирующих световое поле с необходимыми свойствами [1–6].

Целью работы явилось создание электрически управляемых дифракционных элементов на основе слоя нематического ЖК и фотополимерного светочувствительного ориентанта, позволяющего осуществить пространственную модуляцию директора ЖК и сформировать фазовые анизотропные дифракционные структуры.

В результате проведенных исследований разработаны и созданы электрически управляемые ЖК дифракционные элементы, начальная модуляция показателя преломления которых осуществляется посредством переориентации молекул ЖК фотополимерными ориентирующими покрытиями. На одной из подложек ЖК-ячейки фоточувствительный фотополимерный ориентант засвечивался пространственно модулированным УФ излучением через никелевую маску-транспарант на кварцевом стекле. Вторая подложка была засвеченена ортогонально

поляризованным пространственно однородным излучением. В итоге в местах засветки фотополимера пространственно модулированным УФ излучением создавалась твист структура (T-деформация ЖК), которая чередовалась с планарной ориентацией директора ЖК. Толщина ЖК-слоя выбиралась от 10 до 20 мкм, что обеспечивало формирование тонких фазовых анизотропных решеток с периодом в десятки микрон.

Выбор схемного решения на основе T-деформации ЖК обусловлен тем, что в этом случае создается пространственно-модулированная ЖК структура с максимальной глубиной модуляции анизотропии показателя преломления [7]. Для реализации максимальной дифракции световой пучок должен направляться на грань ЖК-ячейки с пространственно-модулированным состоянием фотополимерного ориентанта. Экспериментально зафиксированы значения дифракционной эффективности близкие к предельному значению для тонких фазовых голограмм (~ 30%).

Типичные картины пространственного распределения лазерного излучения на выходе ЖК-ячейки, представляющей собой дифракционную решетку с периодом 20 мкм, представлены на рис. 1. Видно, что при приложении внешнего электрического поля эффективность дифракции возрастает. Анализ зависимости дифракционной эффективности ЖК-элемента от приложенного электрического напряжения показал,



Рис. 1. Фотографии дифракционной картины на выходе ЖК-элемента при различных напряжениях.

что существуют оптимальные значения напряжения, при которых дифракция в первый порядок максимальна ($U \approx 0,5$ и $1,5$ В). При нулевом напряжении значения дифракционной эффективности ниже в полтора раза. При напряжениях выше 5 В происходит переориентация директора ЖК (молекулы жидкого кристалла располагаются вдоль вектора электрического поля), и световой пучок практически без потерь распространяется вдоль оси двулучепреломляющего кристалла.

Существование двух оптимальных значений 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 (толщина ячейки $10\text{--}20$ мкм, величина двулучепреломления используемого ЖК $n_o - n_e \sim 0,1$).

При исследовании поляризационных характеристик дифракционных ЖК решеток было обнаружено, что поляризация излучения, дифрагировавшего в четные и нечетные порядки, ортогональна, причем соотношение интенсивностей дифрагированных пучков зависит не только от подаваемого электрического напряжения, но и от поляризации падающего светового пучка. Для объяснения различий в состояниях поляризации дифрагированных волн при использовании четных и нечетных порядков дифракции на тонкой дифракционной решетке может быть использована модель анизотропного транспаранта [8]. Такая модель представляет собой дифракционную решетку, в узлах которой размещены микрофазовые анизотропные пластинки, обеспечивающие поворот плоскости поляризации.

Наряду с дифракционной решеткой на основе ЖК-ячейки была создана зонная пластинка Френеля. Сформированная структура ЖК в обоих случаях была зафиксирована с помощью поляризационного микроскопа (рис. 2). Как

видно, созданные дифракционные ЖК структуры (дифракционная решетка и зонная пластинка Френеля) обладают достаточно высокой контрастностью, сопоставимой с контрастностью используемого транспаранта.

С использованием зонной пластинки Френеля продемонстрирована фокусировка лазерного излучения, причем подача на ЖК-ячейку электрических импульсов позволила осуществить динамическое переключение эффекта фокусировки. Показано, что при определенных значениях напряжения фокусировка оптимальна, в то же время, при других напряжениях реализуется полное рассеяние излучения.

Таким образом, в работе продемонстрирована работоспособность схемы электрического управления дифракционной эффективностью ЖК-ячеек с помощью фотополимерных photoчувствительных ориентантов, позволяющих формировать фазовые анизотропные решетки с высокой дифракционной эффективностью. Определены оптимальные схемные решения (структура ЖК-ячейки, поляризация световой волны, рабочий диапазон управляющего электрического напряжения). Обнаружена зависимость поляризации дифрагированных волн от порядка дифракции, что представляет интерес для разработки переключаемых поляризационных ЖК-элементов.

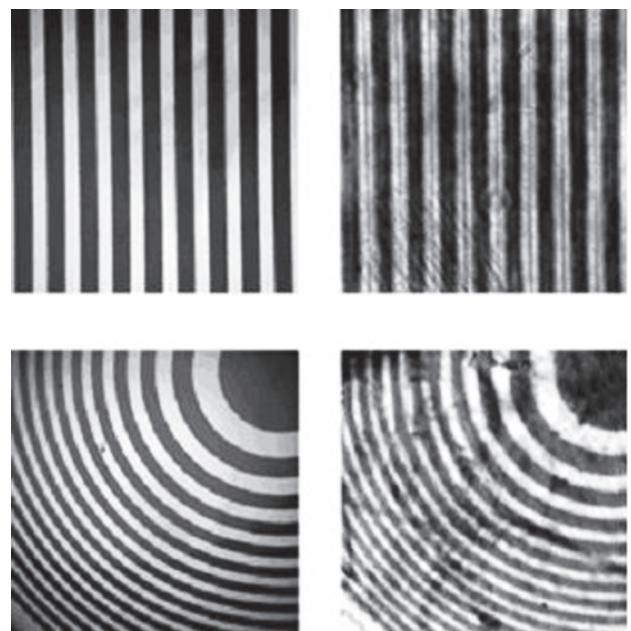


Рис. 2. Фотографии транспаранта (слева) и сформированной дифракционной ЖК структуры (справа).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pagliusi P., Gipparrone G.* Dynamic grating features for the surface-induced photorefractive effect in undoped nematics // *JOSA. B.* 2004. V. 21. № 5. P. 993–996.
 2. *Lin T.-H., Fuh A.Y.-G.* Polarization controllable spatial filter based on azo-dye-doped liquid-crystal film // *Opt. Lett.* 2005. V. 30. № 11. P. 1390–1395.
 3. *Sarkissian H., Serak S.V., Tabiryan N.V. et al.* Polarization-controlled switching between diffraction orders in transverse-periodically aligned nematic liquid crystals // *Opt. Lett.* 2006. V. 31. № 15. P. 2248–2252.
 4. *Kapoustine V., Kazakevitch A., So V., Tam R.* Simple method of formation of switchable liquid-crystal gratings by introducing periodic photo-alignment pattern into liquid crystal cell // *Opt. Commun.* 2006. V. 266. № 1. P. 1–10.
 5. *Беляев В.В., Кушнир Е.М., Клыков А.В., Цой В.И.* Численное моделирование дифракции света на периодических анизотропных решетках с поверхностьюным прямоугольным микрорельефом // *Оптический журнал.* 2005. Т. 72. № 9. С. 86–90.
 6. *Liu Y.J., Sun X.W., Wang Q., Luo D.* Electrically switchable optical vortex generated by a computer-generated hologram recorded in polymer-dispersed liquid crystal // *Opt. Express.* 2007. V. 15. № 25. P. 16645–16650.
 7. *Казак А.А., Мельникова Е.А., Толстик А.Л., Могильный В.В., Станкевич А.И.* Управляемые дифракционные жидкокристаллические структуры на основе полимерного фотоориентанта // *Письма в ЖТФ.* 2008. Т. 34. № 20. С. 1–7.
 8. *Ebralidze T.D.* About a model of anisotropic diffractive grating // *Sov. J. Optics and Spectroscopy.* 1982. V. 53. P. 944–946.
-