

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФПМ-ЖК
ФОТОННЫХ СТРУКТУР ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

А.О. Семкин, С.Н. Шарангович

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
a.o.semkin@gmail.com, shr@tusur.ru

С ростом популярности оптоволоконных систем связи в настоящее время очень актуальным является вопрос создания полностью оптических управляемых элементов коммутации, фильтрации и мультиплексирования. Их основу должны составить принципиально новые материалы, позволяющие обеспечить широкополосность, малое время приключения и малое управляющее напряжение. Ярким примером подобного рода материалов является композитный фотополимерный материал с жидкокристаллической компонентой (ФПМ-ЖК). Благодаря характерным физико-химическим свойствам компонентов, в нем возможно голографическое формирование управляемых электрическим полем дифракционных структур (ДС).

В настоящее время получены аналитические модели дифракции света на ДС в ФПМ-ЖК [1, 2]. Однако они не учитывают влияние полярности управляющего напряжения на дифракционные характеристики. В связи с этим, целью данной работы явилось исследование влияния знакопеременного управляющего напряжения на характеристики голографических дифракционных структур, сформированных в ФПМ-ЖК.

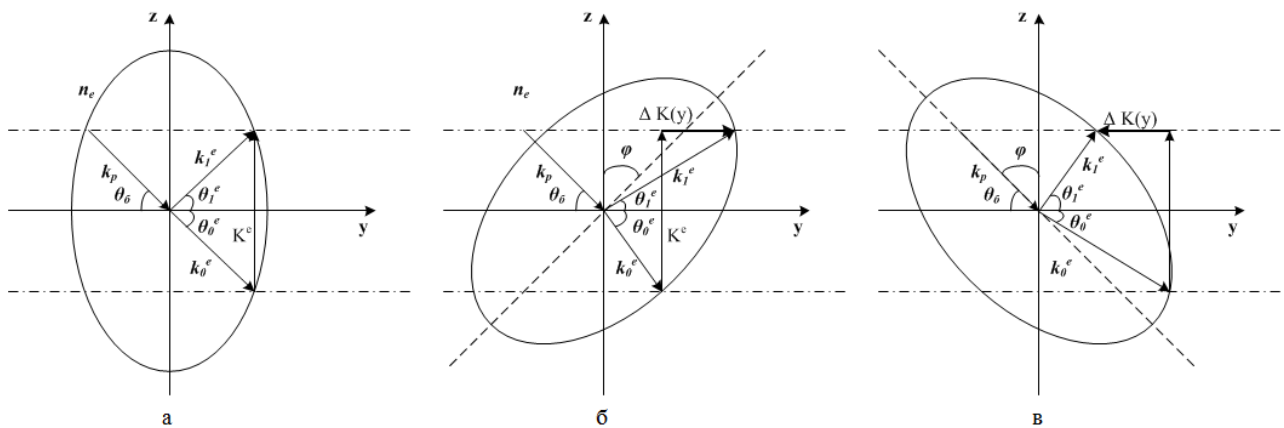


Рис. 1. Локальные векторные диаграммы дифракции на ДС в ФПМ-ЖК:
а – в отсутствие управляющего напряжения, б, в – при подаче управляющего
напряжения разной полярности

Голографическая запись ДС в ФПМ-ЖК сопряжена с формированием в образце периодической и плавной неоднородности оптических свойств. Периодическая неоднородность вызвана записью двух дифракционных решеток – фотополимерной и жидкокристаллической, плавная

определяется способностью молекул ЖК менять свою ориентацию под действием внешнего электрического поля. Кроме этого, жидкий кристалл проявляет анизотропию оптических свойств, что обуславливает расщепление падающего света на границе раздела двух сред на необыкновенную и обыкновенную волны. При этом каждая из этих волн испытывает дифракцию на оптических неоднородностях образца.

Геометрия дифракции необыкновенных волн на ДС в ФПМ-ЖК при отсутствии управляющего напряжения и при ненулевых управляющих напряжениях противоположных полярностей приведена на рисунке 1.

На рисунке 1 \mathbf{k}_p – волновой вектор падающего пучка; $\mathbf{k}_j^e(\mathbf{r}, E) = (\omega/c)n_j^e\mathbf{N}_j^e$ – волновые векторы дифрагирующих пучков; $j = 0, 1$ – порядок дифракции; n_j^e – показатели преломления, \mathbf{N}_j^e – волновые нормали; e соответствует необыкновенной волне; \mathbf{K} – вектор решетки; $\Delta\mathbf{K}(\mathbf{r}, E)$ – локальная фазовая расстройка, φ – угол поворота оси директора ЖК.

Как видно из рисунка 1, воздействие управляющего напряжения приводит к изменению геометрии дифракции (рисунок 1б, 1в), и как следствие к пространственной неоднородности фазовой расстройки $\Delta\mathbf{K}$. Величина локальной фазовой расстройки $\Delta\mathbf{K}(\mathbf{r}, E)$ определяется из векторного уравнения:

$$\Delta\mathbf{K}(\mathbf{r}, E) = k \left[n_0^e(\mathbf{r}, E)(\mathbf{N}_0^e \cdot \mathbf{y}_0) - n_1^e(\mathbf{r}, E)(\mathbf{N}_1^e \cdot \mathbf{y}_0) \right] + \mathbf{K} \cdot \mathbf{y}_0. \quad (1)$$

Входящие в (1) зависимости $\mathbf{N}_j^e(\mathbf{r}, E)$ находятся из уравнений эйконала. При этом пространственная зависимость $n_j^e(\mathbf{r}, E)$ дается выражением:

$$n_j^e(\mathbf{r}, E) = n_o n_e \left[n_e^2 \cdot \sin^2(\varphi(\mathbf{r}, E) \pm \theta_j^e) + n_o^2 \cdot \cos^2(\varphi(\mathbf{r}, E) \pm \theta_j^e) \right]^{-1/2}, \quad (2)$$

где $\theta_{1,0}^e$ – углы падения и дифракции необыкновенных волн нулевого и первого порядков соответственно, а зависимость $\varphi(\mathbf{r}, E)$ определяется из уравнения Фредерикса [3]:

$$\frac{1}{\xi_E(E)} \left(\frac{d}{2} + y \right) = \int_0^{\varphi} \left(\sin^2 \varphi_m(\mathbf{r}, E) - \sin^2 \varphi \right)^{-1/2} d\varphi, \quad (3)$$

где $\xi_E(E)$ – оптическая когерентная длина, d – толщина образца, φ_m – максимальный угол поворота директора ЖК.

Изменение полярности управляющего напряжения на противоположную и соответствующий поворот оси директора ЖК в противоположном направлении учитывается внесением в выражение (2) дополнительного сдвига на π (рисунок 1):

$$n_{1,0}^e = n_o n_e \left[n_e^2 \cdot \sin^2(\pi - \varphi(r, E) \pm \theta_{1,0}^e) + n_o^2 \cdot \cos^2(\pi - \varphi(r, E) \pm \theta_{1,0}^e) \right]^{1/2}. \quad (4)$$

Для количественной оценки степени влияния пространственной неоднородности $\Delta K(\mathbf{r}, E)$ на условия дифракции световых волн на ДС в ФПМ-ЖК используем величину интегральной фазовой расстройки:

$$\Theta(y, E) = \int_0^y \Delta K(y', E) dy'. \quad (5)$$

Численное моделирование проводилось по выражениям (1)-(5) при дифракции необыкновенных волн на ДС в ФПМ-ЖК для двух случаев: при $E > 0$ и $E < 0$, что соответствует повороту оси директора ЖК вправо (рисунок 1б) и влево (рисунок 1в).

На рисунке 2 приведены зависимости локальной и интегральной фазовых расстроек при воздействии управляющих напряжений разных полярностей.

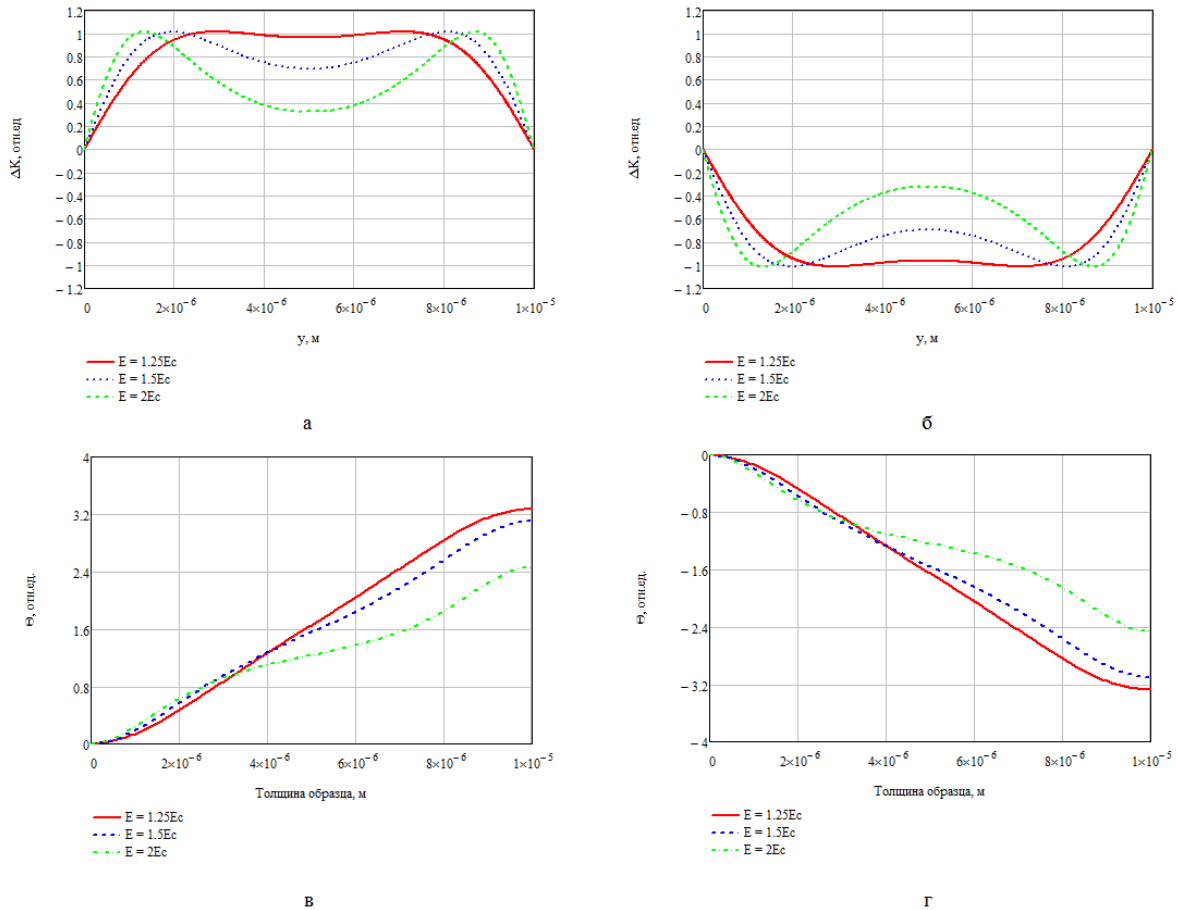


Рис. 2. Изменение локальной фазовой расстройки и интегральной фазовой расстройки по толщине образца в зависимости от приложенного электрического поля, при вращении оси ЖК по часовой стрелке (а,в) и против часовой стрелки (б,г).

Для анализа влияния полярности управляющего напряжения на характеристики ФПМ-ЖК ДС воспользуемся решением уравнений

связанных волн [2] в оптически неоднородной среде в приближении заданного поля. В этом случае передаточная функция (ПФ) ДС имеет вид:

$$T_d(\Delta, E) = \left[\frac{1}{d} \cdot \int_0^d C(y, E) \cdot \exp \left[i \cdot \left(\Delta \cdot \frac{y}{d} + \Theta(y, E) \right) \right] dy \right]^2, \quad (6)$$

где $C(y, E)$ – амплитудный коэффициент связи [2]; $\Delta(\delta\theta)$ – относительная фазовая расстройка, $\delta\theta = \theta - \theta_0$ – отклонение от угла Брэгга θ_0 .

Результаты моделирования ПФ $T_d(\Delta, E)$, иллюстрирующие влияние полярности управляющего напряжения на характеристики ДС в ФПМ-ЖК, представлены на рисунке 3.

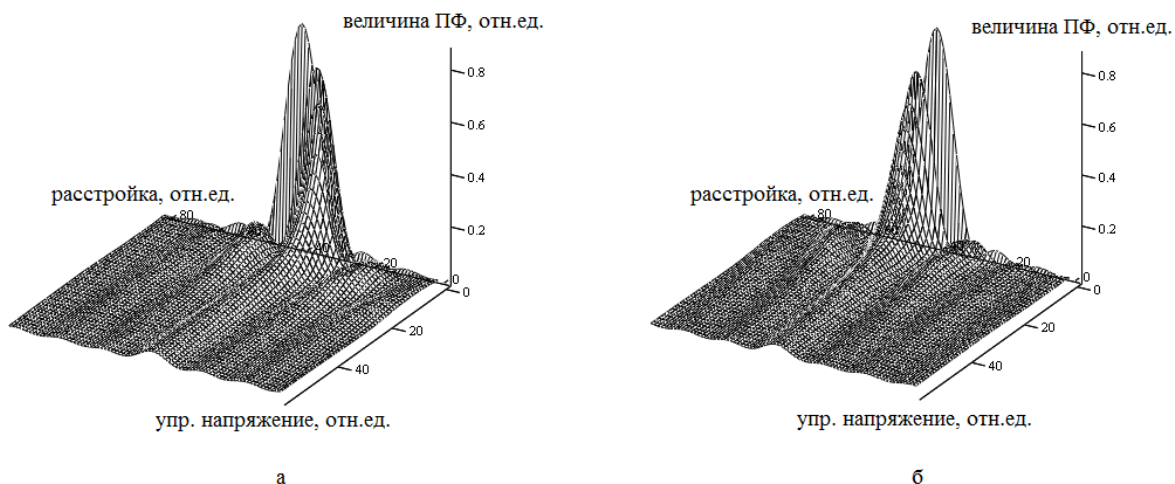


Рис.3. Зависимости ПФ от относительной расстройки и управляющего напряжения

Приведенные на рисунке 3 зависимости показывают, что изменение полярности управляющего напряжения приводит к сдвигу характеристик $T_d(\Delta, E)$ в противоположные стороны.

Таким образом, результаты моделирования показывают возможность дополнительного управления дифракционными характеристиками ФПМ-ЖК ДС при воздействии на структуру знакопеременного управляющего напряжения, которое может быть осуществлено путем формирования неоднородной пространственной топологии электродной структуры.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ на 2013 г. (проект № 7.2647.2011).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ноздреватых Б.Ф., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // Доклады ТУСУРа. 2010. № 1(21), часть 2. С. 109.
2. Ноздреватых Б.Ф., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // Доклады ТУСУРа. 2007. № 2(16). С. 192.
3. Сонин А.С. «Введение в физику жидких кристаллов». М.: Наука, 1983.