

Голографическое формирование многослойных неоднородных ФПМ-ЖК дифракционных структур в условиях фотоиндуцированного изменения поглощения

В.О. Долгирев¹, С.Н. Шарангович¹

¹Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Ленина 40, Томск, Россия, 634050

Аннотация

В работе представлена теоретическая модель формирования многослойных неоднородных голографических дифракционных структур (МНГДС) в фотополимерных материалах, содержащих жидкие кристаллы (ФПМ-ЖК), в условиях фотоиндуцированного изменения оптического поглощения (ФИП). Проведено численное моделирование кинетики формирования амплитуды первой гармоники показателя преломления для каждого слоя структуры. Используя оптимальный состав для каждой из структур, возможно сформировать однородные профили показателя преломления, что может привести к улучшению дифракционных характеристик.

Ключевые слова

Голографическое формирование, МНГДС, ФПМ-ЖК, ФИП

1. Введение

В настоящее время создание наноразмерных дифракционных структур вызывает особый интерес у исследователей, в связи с возможностью их применения в области оптической связи. Несколько объемных решеток, разделенных оптически однородными промежуточными слоями, предоставляют возможность управления видом селективного отклика [1, 2]. Что в свою очередь возможно применить в оптических устройствах связи, например в мультиплексорах [1].

Использование в составе формируемой МНГДС ФПМ с ЖК позволяет управлять дифракционными характеристиками с помощью приложенного электрического поля. Директор ЖК чувствителен к электромагнитным воздействиям, тем самым может изменять свою пространственную ориентацию, и как следствие, меняются условия распространения электромагнитных волн.

Таким образом, становится актуальным исследование процесса формирования МНГДС на основе ФПМ-ЖК.

2. Голографическое формирование МНГДС в ФПМ-ЖК в условиях ФИП

В данной работе рассматривается пропускающая геометрия записи в МНГДС, представляющая собой падение двух пучков монохроматических волн E_0 и E_1 под углами θ_0 и θ_1 на образец с ФПМ-ЖК (рисунок 1). Поскольку ЖК является анизотропной средой, то пучок света внутри образца распадается на две волны: обыкновенную и необыкновенную. Выражение распределения интенсивности интерференционной картины светового поля для обыкновенных и необыкновенных волн в ФПМ-ЖК с учетом ФИП на n -ом слое МНГДС:

$$I^{n,m}(t, \mathbf{r}) = \sum_{m=0,e} I^{n,m}(t, \mathbf{r}) [1 + m^{n,m}(t, \mathbf{r}) \cos(\mathbf{K}^{n,m} \mathbf{r})], \quad (1)$$

где $m^{n,m}(t, \mathbf{r}) = 2 \sqrt{I_0^{n,m}(t, \mathbf{r}) I_1^{n,m}(t, \mathbf{r}) (\mathbf{e}_0 \mathbf{e}_1)} / (I_0^{n,m}(t, \mathbf{r}) + I_1^{n,m}(t, \mathbf{r}))$ – локальный контраст интерференционной картины; $I^{n,m}(t, \mathbf{r}) = [I_0^{n,m}(t, \mathbf{r}) + I_1^{n,m}(t, \mathbf{r})]$; $I_0^{n,m}(t, \mathbf{r}) = I_0^{0,n,m}(t, \mathbf{r}) \cdot e^{-\alpha^n(t, \mathbf{r}) \cdot y / \cos(\theta_0^m)}$; $I_1^{n,m}(t, \mathbf{r}) = I_1^{1,n,m}(t, \mathbf{r}) \cdot e^{-\alpha^{n,m}(t, \mathbf{r}) \cdot y / \cos(\theta_1^m)}$; $I_j^{n,m}(\mathbf{r}) = |E_j^{n,m}(\mathbf{r})|^2$; $j = 0, 1$;

$m = 0, e$; $\mathbf{K}^{n,m} = \mathbf{k}_0^{n,m} - \mathbf{k}_1^{n,m}$ – вектор решетки; \mathbf{r} – радиус-вектор; $\mathbf{k}_j^{n,m}$ – волновые векторы пучков; $n = 1, 2 \dots N$ – номер слоя; $\alpha^{n,m}(t, \mathbf{r})$ – коэффициент ФИП; \mathbf{r} – радиус вектор.

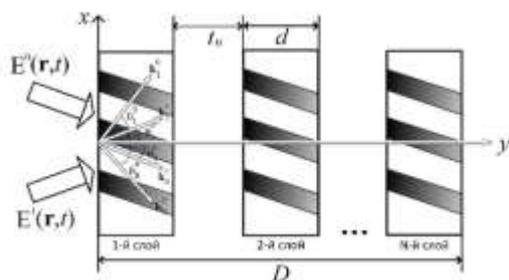


Рисунок 1: Геометрия формирования МНГДС

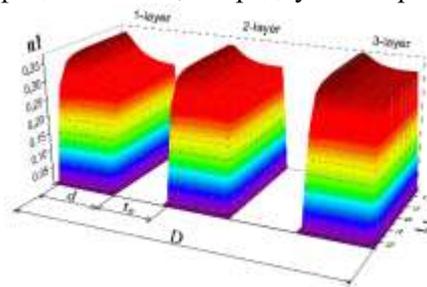


Рисунок 2: Оптимизированные кинетики пространственных профилей первой гармоники МНГДС

При падении двух световых пучков на границу образца, содержащего ФПМ-ЖК, внутри него образуются две интерференционные картины: на обыкновенных и необыкновенных волнах. По принципу голографического формирования, в светлых областях происходит рост полимерной цепи из мономеров, диффундирующих из темных областей, которые в свою очередь вытесняют молекулы ЖК. Дифракционная решетка формируется в каждый момент времени и ее профиль может трансформироваться. Решение для амплитуды 1-ой гармоники показателя преломления ищется в общем случае из кинетических уравнений фотополимеризационно-диффузионного формирования дифракционных структур в ФПМ-ЖК и будет складываться из амплитудных профилей полимера и ЖК:

$$n_1^{n,m}(t, y) = n_{1p}^{n,m}(t, y) + n_{1LC}^{n,m}(t, y), \quad (2)$$

где $n_{1p}^{n,m}(t, y) = \delta n_p^n \frac{2^k}{b^{n,m}(t, y)} \int_0^t I_{0n}^{n,m}(\tau, y) [p^{n,m}(\tau, y) k m^{n,m}(\tau, y) - f^{n,m}(\tau, y) (1 + 1.5 L^{n,m}(\tau, y))] d\tau$ и $n_{1LC}^{n,m}(t, y) = \delta n_{LC}^n \frac{D_{LC}}{D_m} \int_0^t f^{n,m}(\tau, y) b_m^{n,m}(\tau, y) d\tau$ – амплитудные профили полимерной и ЖК решеток; δn_{LC}^n и δn_p^n – коэффициенты изменения показателя преломления ЖК и полимера; D_{LC} и D_m – коэффициенты диффузии ЖК и мономера; $b^{n,m}(t, y)$ – соотношение времени полимеризации к времени диффузии; $p^{n,m}(\tau, y) = \exp\left(-\frac{2^k}{b^{n,m}(t, y)} (1 + L^{n,m}(t, y)) t\right)$; $L^{n,m}(t, y) = k(k-1) \frac{m^{n,m}(t, y)^2}{4}$; k – параметр степени нелинейности процесса; $b_m^{n,m}(\tau, y) = \exp[-s(1 - p^{n,m}(t, y))]$; s – параметр скорости изменения диффузии; $I_{0n}^{n,m}(t, y)$ – интенсивность пучка в n -ом слое, $f^{n,m}(t, y) = \frac{2^k}{b^{n,m}(t, y)} k \int_0^t p^{n,m}(\tau, y) m^{n,m}(\tau, y) I_{0n}^{n,m}(\tau, y) \exp\left[-\int_\tau^t b_m^{n,m}(T, y) + \frac{2^k}{b^{n,m}(t, y)} I_{0n}^{n,m}(T, y) (1 + 1.5 L^{n,m}(T, y)) dT\right] d\tau$;

По выражению (2) при записи пучками с поляризацией, совпадающими с обыкновенными собственными волнами и подбором оптимального состава образца, были получены профили 1-ой гармоники показателя преломления, которые схожи с друг другом и близки к однородным (рисунок 2).

Таким образом, с помощью подбора нужного состава для каждого слоя, можно получить структуры с заранее известными пространственными профилями показателя преломления для получения МНГДС с необходимыми дифракционными характеристиками.

3. Литература

- [1] Пен, Е.Ф. Свойства многослойных неоднородных голографических структур / Е.Ф. Пен, М.Ю. Родионов // Квантовая электроника. – 2010. – Т. 40, № 10. – С. 919-924.
- [2] Дудник, Д.И. Взаимодействие света с пропускающими многослойными неоднородными фотополимерными голографическими дифракционными структурами / С.Н. Шарангович, Д.И. Дудник // Известия РАН. Серия физическая. – 2021. – Т.85, № 1. – С. 14-21.