

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ ФПМ-ЖК СТРУКТУР

И.А.Викулина, Д.И.Дудник

В настоящее время оптические элементы на основе систем дифракционных решеток и волноводных каналов, выполненных на одной подложке, находят самое широкое применение. В связи с этим поиск новых материалов, перспективных с точки зрения формирования в них подобных структур и управления их оптическими свойствами, представляется весьма актуальным. Всё более широкое применение находят фотополимеризующиеся материалы (ФПМ). Современные ФПМ прозрачны и при этом обладают высокой светочувствительностью: процесс фотополимеризации эффективно протекает при воздействии видимого излучения с интенсивностью в единицы мВт/мм².

Большой интерес, проявляемый в настоящее время к голографическим дифракционным структурам, записанным в композиционных фотополимерно-жидкокристаллических материалах (ФПМ-ЖК), обусловлен в том числе простотой и невысокой стоимостью создания динамически управляемых, селективных по углу, длине волны и поляризации падающего излучения дифракционных элементов [1-5] и волноводных каналов [6-8] на их основе.

Наиболее распространенным методом формирования дифракционных структур в ФПМ-ЖК является голографический способ [1-5, 9-12].

В [9-12] было показано, что дифракционные и селективные характеристики полученных образцов зависят от состава ФПМ-ЖК-композиции и условий записи. Кроме этого, данными характеристиками можно управлять путем воздействия внешнего электрического поля.

Также в [12] исследовано влияние температуры на процессы формирования дифракционных структур в ФПМ-ЖК. Показано, что нагрев образца ФПМ-ЖК до температуры перехода жидких кристаллов (ЖК) в жидкую фазу может способствовать увеличению дифракционной эффективности записанной решетки. Данный эффект обусловлен более высокой подвижностью молекул ЖК в жидкой фазе и, соответственно, более полным разделением фаз во время записи.

Целью данной работы является исследование зависимости дифракционной эффективности голографической дифракционной структуры (ГДС) в ФПМ-ЖК от угла поляризации считывающего излучения и исследование влияния температуры на процесс формирования ГДС.

На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки.

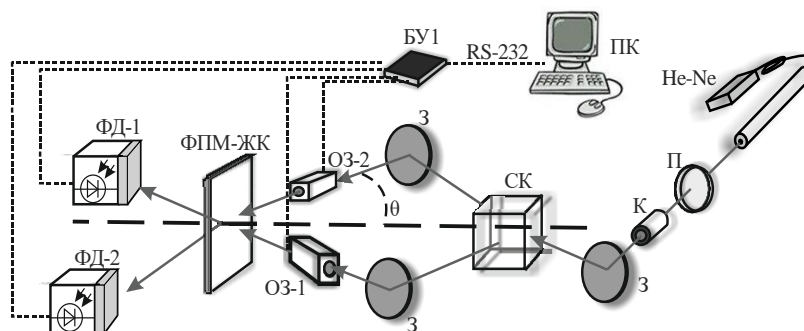


Рис. 1. Схема экспериментальной установки формирования ГДС: He-Ne – лазер (длина волны 633 нм., круговая поляризация); П – поляризатор; К – коллиматор; З – зеркало; С.К. – светоделительный кубик; ОЗ-1,2 – оптические затворы; ФПМ-ЖК – экспериментальный образец; ФД-1,2 – фотодиоды; БУ-1 – блок управления; ПК – персональный компьютер.

Экспериментальные образцы изготавливались в Новосибирском институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова [1]. Компонентный состав предполимерной композиции приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав предполимерной композиции

Наименование вещества	Назначение
4-Пентил-4'-бифенилкарбонитрил (5CB)	Жидкий кристалл (ЖК)
Акрилоилфолин	Мономер
1,4-бис(акрилоил)пиперазин	Сшивающий мономер
Метиленовый голубой	Краситель-сенсбилизатор
6-этокси-2-меркаптобензотиазол	Со-инициатор
1-(4-гидроксифенил)-1Н-тетразол-тиол	Со-инициатор
Поливинилацетат	Полимерная матрица

Указанные компоненты смешивались в органических растворителях до получения гомогенного раствора, затем полученная композиция методом полива наносилась на стеклянную подложку, высушивалась до полного испарения растворителя и накрывалась второй стеклянной подложкой.

Концентрация молекул жидкого кристалла составляла 25%, 30% масс.

Формирование дифракционных структур производилось двумя линейно поляризованными пучками гелий-неонового лазера (длина волны 633 нм). Угол поворота плоскости поляризации записывающего излучения был установлен 90° (в плоскости рис. 1). Процесс формирования ГДС описан в [1].

После завершения процесса записи при падении лазерного излучения на ГДС на выходе наблюдалась картина дифракции Брэгга с двумя яркими максимумами излучения.

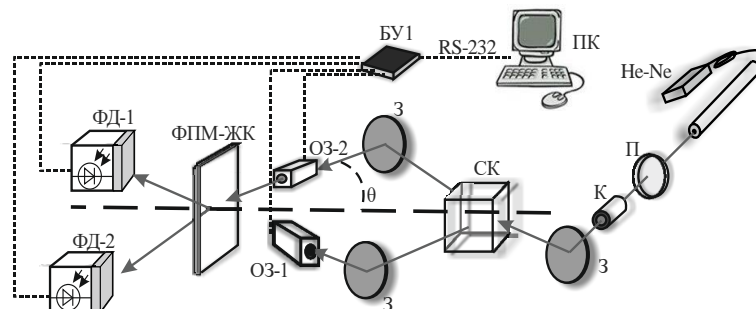


Рис. 2. Схема экспериментальной установки считывания ГДС

Дифракционная эффективность (ДЭ) ГДС определяются выражением:

$$\eta(\alpha) = \frac{I_d}{I_d + I_t} \cdot 100\% \quad (1)$$

где $\eta(\alpha)$ – дифракционная эффективность; α – угол поляризации падающего излучения; I_d – интенсивность дифрагировавшего пучка; I_t – интенсивность проходящего пучка.

Считывание ГДС проводилось линейно поляризованным лазерным излучением с изменяющимся углом поляризации. Угол поворота плоскости поляризации менялся физически, путем вращения поляризатора (рис. 2).

Далее исследовалась зависимость дифракционной эффективности от угла поляризации. Угол поляризации падающего излучения изменялся от 0° до 360° с шагом в 5°, данное действие повторялось до 4 раз, интенсивности прошедшего и дифрагировавшего пучка (1) оценивались по величине фототока соответствующих фотодиодов ФД-1, ФД-2 (рис. 1,2,7). В каждом образце было сформировано несколько дифракционных решеток.

Результаты экспериментов по изучению зависимости ДЭ от угла поворота плоскости поляризации при комнатной температуре (22°C - 24°C) приведены на рисунках 3-6.

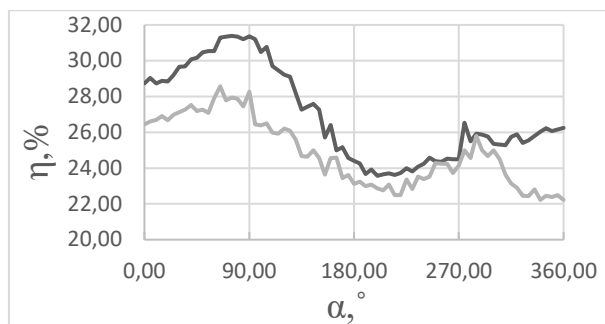


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности от угла поляризации для образца с 25% ЖК, структура №1

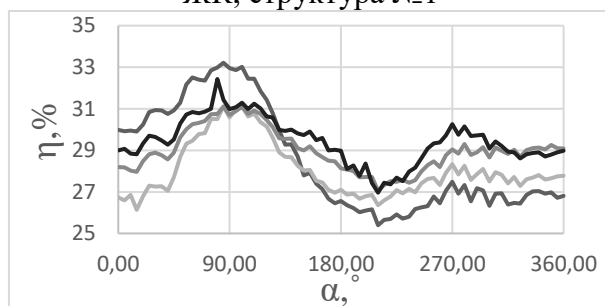


Рис. 4. Зависимость дифракционной эффективности от угла поляризации для образца с 25% ЖК, структура №2

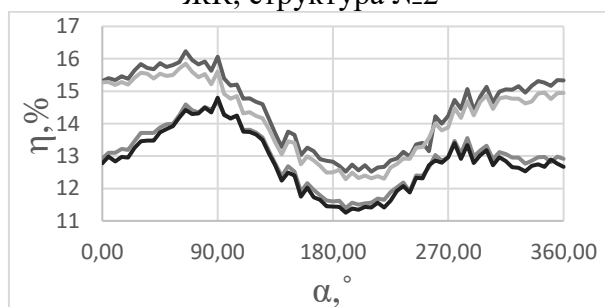


Рис. 5. Зависимость дифракционной эффективности от угла поляризации для образца с 25% ЖК, структура №3

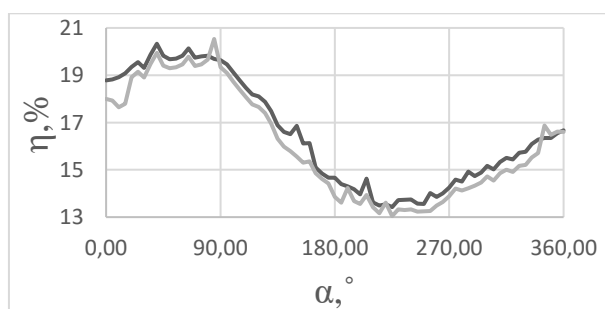


Рис. 6. Зависимость дифракционной эффективности от угла поляризации для образца с 30% ЖК, структура №1

Различие значений дифракционной эффективности различных ГДС в образце можно объяснить неоднородностью нанесенной композиции. Наличие локальных минимумов и максимумов зависимости (характерное для всех экспериментов на каждой структуре), вероятно, обусловлено формированием в образце капель ЖК аналогично [9], а также отклонением ориентации молекул ЖК в каплях от преимущественного направления.

Далее были проведены исследования температурной зависимости ДЭ. На рисунке 7 представлена схема экспериментальной установки при нагревании.

Термовоздушная станция (ТС) использовалась для локального нагревания образца в точке, где формировалась дифракционная структура. Температура контролировалась при помощи термодатчика (ТД) подключенной к мультиметру (ММ).

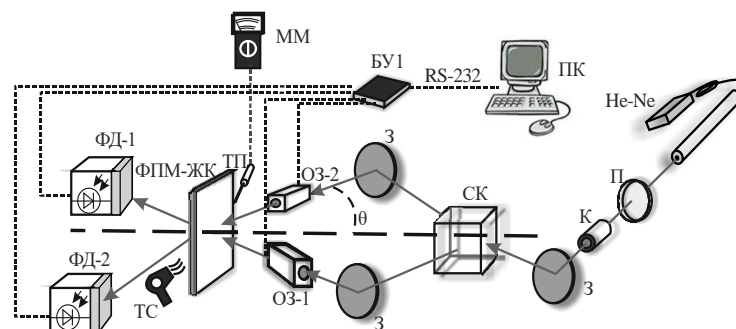


Рис. 7. Схема экспериментальной установки записи ГДС при нагревании образца ФПМ-ЖК с помощью термовоздушной станции

Была исследована дифракционная эффективность при воздействии температуры на 30% образце.

В первом эксперименте образец до начала записи был нагрет до 70°C. Затем без снижения температуры в нем была сформирована ГДС. При проведении эксперимента по считыванию структуры дифракционная эффективность была близка к нулю (порядка $1 \pm 0,5\%$).

Во втором эксперименте температура была снижена до 50°C - 40°C. Дифракционная эффективность так же была близка к нулю (порядка $1 \pm 0,5\%$).

В следующем эксперименте, запись структуры производилась при комнатной температуре (22°C - 24°C). После того как ГДС была сформирована, образец нагрели до 40°C. При нагревании фототок, соответствующий дифрагированному пучку начал уменьшаться, дифракционная эффективность уменьшилась относительно показаний без нагрева, до 2-4%.

ДЭ, записанной с нагревом в «чистом» ФПМ ГДС осталась такой же, как и без нагрева, и составляла 20-30%.

Проанализировав полученные результаты можно сделать следующие выводы:

Увеличение количества ЖК в образце с 25% до 30% уменьшает дифракционную эффективность образца. Что соответствует результатам, полученным в [1].

Эффективность записанной дифракционной структуры зависит от поляризации считывающего излучения, что говорит об анизотропии оптических свойств материала. Из зависимостей на рис. 3-6 видно, что в образце с 25% ЖК имеется два максимума ДЭ в области 90° и 270°, а также два минимума в области 0° и 180°. В образце с 30% ЖК наблюдается максимум ДЭ только в области 90° и минимум в области 250°-270°. Различие в углах поворота плоскости поляризации, соответствующих минимумам и максимумам дифракционной эффективности (рис. 3-6), вероятно, обусловлено различием ориентации капель ЖК и, соответственно, оптической оси материала в двух исследуемых образцах. Результаты соответствуют полученным ранее другими авторами для других композиций [13, 14].

Показано, что разработанная фотополимерная композиция, содержащая ЖК, меняет свои свойства при повышении температуры во время процесса записи, что приводит к снижению дифракционной эффективности, в отличие от результатов [12].

С другой стороны, в фотополимерной композиции, не содержащей ЖК, структура формируется и при нагреве образца. Т.е. температурную чувствительность обуславливает именно наличие в композиции жидких кристаллов. При этом при нагреве образца после завершения процесса записи его ДЭ снижается. Аналогичные результаты были получены в [15] для поляризационных дифракционных структур.

Таким образом, описанная фотополимеризующая композиция позволяет голографически формировать дифракционные структуры. При этом, наличие в ней молекул термотропного нематического жидкого кристалла обуславливает анизотропию её оптических свойств, а также их температурную зависимость.

Список литературы

1. Семкин, А.О. Экспериментальное исследование формирования и считывания неоднородных голографических ФПМ-ЖК структур / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович, Е.В. Васильев, В.В. Шелковников // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2015. – № 4. С. 154304-1 - 154304-3.
2. Семкин, А.О. Голографическое формирование поляризационных фотонных структур в капсулированных полимером жидких кристаллах / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович, Д.И. Малышева, О.В. Незнанова, Д.И. Сон, С.И. Сон // Известия вузов. Физика. 2015. – Том 58. – № 11/3. – С.35-39.
3. Семкин, А.О. Дифракция света на фотонных ФПМ-ЖК структурах при воздействии плавно пространственно неоднородного электрического поля / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович, К.В. Волченко, В.О. Долгирев, А.В. Куркин // Известия вузов. Физика. 2015. – Том 58. – № 11/3. – С.88-91.
4. Семкин, А.О. Дифракция световых пучков на голографических поляризационных фотонных ФПМ-ЖК-структурах при воздействии пространственно неоднородного электрического поля / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович // Известия вузов. Физика. – 2015. – Т.58. – №8/3. – С.239-244
5. Семкин, А.О. Голографическое формирование неоднородных дифракционных структур в ФПМ-ЖК с учетом фотополимеризационно-диффузионного и поляризационного механизмов записи / А.О. Семкин, С.Н. Шарангович // Электронные средства и системы управления: Материалы докладов X Международной научно-практической конференции (12-14 ноября 2014 г.). – 2014. – Ч.1. – С. 180-189.
6. Mensov S.N., Waveguiding elements optical formation at light beams interaction in transparent photopolymerizable compositions / S.N. Mensov, Yu.V. Polushtaytsev // CAOL 2005, 12-17 September 2005, Yalta, Crimea, Ukraine. – P. 137-139.
7. Менсов, С.Н. Оптическое формирование стабильных волноведущих структур из фотополимеризующейся композиции с неполимеризующимся компонентом / С.Н. Менсов, Ю.В. Полуштайцев // Квантовая электроника. – 2012. – №6. – С. 545-550.
8. Hybrid Photonic Integration on a Polymer Platform / Z. Zhang, D. Felipe, V. Katopodis et al. // Photonics. – 2015. – №2. – P. 1005-1026.
9. Liquid crystal photopolymer composite with a periodic structure / G.M. Zharkova, I.V. Samsonova, S.A. Streltsov et al. // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2004. – Vol. 40, № 1. – P. 76–81.
10. Sutherland, R.L. Polarization and switching properties of holographic polymer dispersed liquid-crystal grating. I. Theoretical model // JOSA B. – 2002. – Vol. 19, № 12. – P. 2995–3003.
11. Mass transfer processes induced by inhomogeneous photo- polymerization in a multicomponent medium / R. Caputo, A.V. Sukhov, N.V. Tabirian et al. // Chemical Physics. – 2001. – № 217. – P. 323–335.
12. Abbate, G. Dynamical electro-optical characterization of polycrystalline gratings / G. Abbate, A. Marino, F. Vita // Acta physica polonica A. – 2003. – Vol. 103, № 2–3. – P. 177–186.
13. Жаркова Г.М. Поляризационная зависимость дифракционной эффективности голографически сформированных полимерно-жидкокристаллических объемных решеток / Г.М. Жаркова, И.В. Самсонова, В.М. Хачатурян // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2008. – №2(24). – С. 46-53.
14. Sutherland, R.L. Polarization and switching properties of holographic polymer dispersed liquid-crystal grating. II. Experimental investigation // JOSA B. – 2002. – Vol. 19, № 12. – P. 3004–3012.
15. Влияние температуры на свойства поляризационных голографических решеток, сформированных в жидкокристаллических композитах / Г.М. Жаркова, А.П. Петров, С.А. Стрельцов, В.М. Хачатурян // Автометрия. – 2012. – Т.48, №4. – С. 55-59.