

УДК 532.738

МЕТОД ОПТИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ УПОРЯДОЧЕННЫХ МИКРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОЛИМЕРА

А.Л. МАРГАРЯН^{1*}, В.К. АБРАМЯН¹, Н.Г. АКОПЯН¹, В.М. АРУТЮНЯН¹,
П.К. ГАСПАРЯН¹, В.В. БЕЛЯЕВ², А.С. СОЛОМАТИН², Д.Н. ЧАУСОВ²

¹Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

²Московский государственный областной университет, Москва, Россия

*e-mail: marhakob@ysu.am

(Поступила в редакцию 21 декабря 2018 г.)

Разработан метод записи матрицы кольцеобразных микроструктур за счет постполимеризации уже сориентированного слоя жидкокристаллического полимера под воздействием интенсивного сфокусированного светового излучения. С использованием разработанной техники реализован элемент в виде матрицы микроструктур. Исследован процесс переориентации микроструктуры с твист-ориентацией в гомогенно планарно-ориентированной среде при приложении электрического поля.

1. Введение

Недавно синтезированные жидкокристаллические (ЖК) полимеры [1], сочетающие двулучепреломление жидких кристаллов с механическими свойствами полимеров, в силу своих уникальных свойств позволили создать оптические элементы нового поколения с применением различных методов оптической записи. На основе этих материалов были созданы не только периодические структуры с уникальными свойствами, но и оптические элементы с более сложным геометрическим распределением периодики [2, 3]. В последние годы особую актуальность приобрели матричные системы микролинз в связи с применением в таких областях как оптическая коммуникация, 2D/3D переключаемые дисплеи, создание 3D изображения и т.д.

Сегодня существуют различные методы изготовления матрицы микролинз на основе ЖК полимера. Так, например, в [4], методом ламинации формируются углубления, в которые вводится ЖК мономер и затем полимеризуется под воздействием УФ излучения. Такая система обладает множеством преимуществ: она электрически управляемая, для линейно поляризованного света проявляет практически 100% эффективность и имеет короткие времена отклика.

Возможно также создание структур с переключаемым фокальным расстоянием линзы от отрицательных до положительных значений [5]. В работе [6] представлена матрица микролинз с несколькими управляющими электродами, изготовленная в нематической ЖК ячейке методом поляризационной голографии. В другом случае [7] матрица микролинз реализована в виде ЖК ячейки, верхняя подложка которой покрыта сплошным слоем ИТО (оксиды индия и олова), а нижняя имеет два структурированных ИТО электрода. Такая система позволяет формировать необходимый профиль градиента показателя преломления в слое ЖК-мономер и изменять фокусное расстояние линзы.

С другой стороны, ЖК полимеры уникальны в связи с возможностью создания на их основе периодических микроструктур (круговая дифракционная волновая пластина, вихревые структуры разных порядков, линзы Френеля, оптические элементы Панчаратнама-Берри и т.д.) методом фотоориентирования, когда ориентация молекул ЖК задается с помощью поляризации записывающего света. Однако, как показывают наши исследования, с помощью интенсивного сфокусированного светового излучения за счет процесса постполимеризации в уже ориентированном полимерном слое возможно формирование кольцеобразных микроструктур и матриц на их основе.

2. Эксперимент

Как отмечено выше, для создания оптических элементов на основе ЖК полимера широко используется метод фотоориентирования. Технология предполагает выполнение двух основных операций: нанесение методом центрифугирования слоя фото-ориентируемого полимера толщиной 10–50 нм с последующим формированием необходимых граничных условий ориентирования путем полимеризации под воздействием поляризованного излучения; нанесение слоя ЖК полимера толщиной 1–2 мкм, который ориентируется соответственно заданным граничным условиям, и фиксация ориентации молекул ЖК под воздействием неполяризованного УФ излучения. В результате получается стабильная, оптически прозрачная среда, которая, соответственно граничным условиям, приобретает определенную функциональность. Например, планарно-ориентированный слой может функционировать как фазовая пластина. Более того, используя ее в качестве оптической среды, можно сфокусированным лазерным лучом создать в ней упорядоченные микроструктуры, например, в виде матрицы. По сути, это является дополнительным, постпроцессным шагом формирования оптического интерфейса и представляет собой метод поточечной, или, как принято называть, прямой записи оптического элемента. По вышеописанной методике нами реализован элемент в виде матрицы микроструктур. Ниже приводим описание техники изготовления.

2.1. Изготовление опорного образца

Опорный образец (мастер) представляет собой фазовую пластину, изготовленную на стеклянной подложке, на которую методом центрифугирования нанесен слой линейно-фотополимеризуемого полимера. Планарная ориентация формируется с помощью линейно-поляризованного излучения He:Сd лазера (325 нм). Далее наносится слой ЖК полимера и полимеризуется облучением неполяризованным излучением УФ светодиода (365 нм). В результате получается фазовая пластина с высоким качеством планарной ориентации.

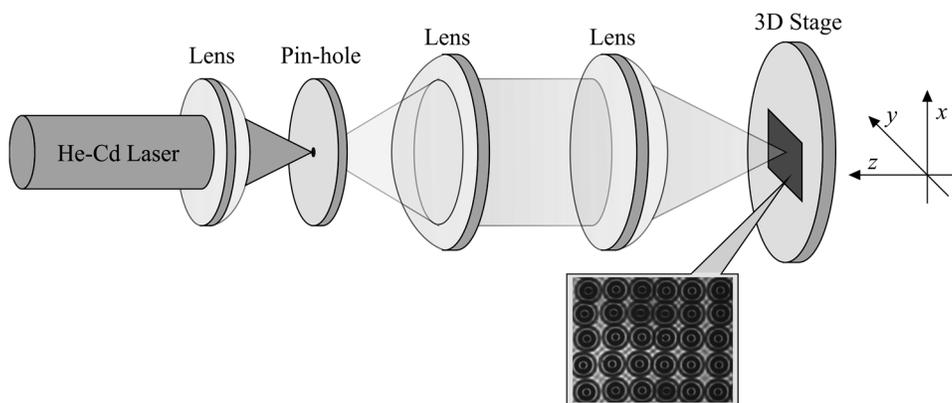


Рис.1. Оптическая схема записи.

Для формирования матрицы опорный образец устанавливается на трехкоординатный столик и облучается пространственно-отфильтрованным и сфокусированным лучом He:Сd лазера (рис.1).

Когда подложка установлена строго в плоскости фокуса, в каждой точке облучения в течение определенного времени Δt образуется изотропный участок («дырка»). Причиной образования такой микроструктуры, скорее всего, является стимулированная сфокусированным лазерным лучом термическая диффузия молекул жидкого кристалла. Перемещая образец по координатам x и y , можно поточечно формировать матрицу «дырок». Перемещение по координате z вдоль перетяжки приводит к формированию микроструктуры в виде группы concentric окружностей. Размер такого элемента определяется количеством окружностей, число которых можно регулировать перемещением подложки вдоль координаты z (рис.1). Описанным методом нами получены матрицы упорядоченных микроструктур, микроскопические изображения которых приведены на рис. 2а, а дифракционная картина, полученная на выходе записанных матриц, приведена на рис.2б. Как видно из рисунка, форма дифракционной картины практически повторяет форму соответствующего микроэлемента.

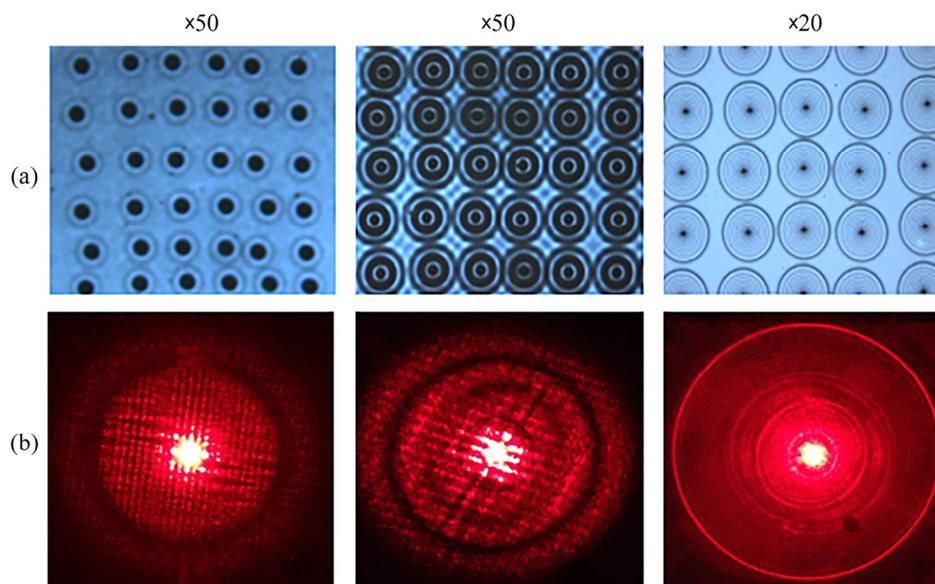


Рис.2. (а) – микроскопические изображения матриц упорядоченных микроструктур, полученных при различных позициях подложки вдоль перетяжки лазерного луча (координаты z); (б) – дифракционная картина, полученная на выходе записанных матриц.

2.2. Тиражирование

Прямая запись матрицы упорядоченных микроструктур является длительным процессом, включающим как время поточечного сканирования, так и время, необходимое для формирования отдельного элемента. Значительно быстрее является описанный ниже метод тиражирования.

Для простоты примем, что каждый элемент матрицы представляет собой микроотверстие в планарно-ориентированной среде ЖК полимера. Матрица освещается линейно-поляризованной плоской световой волной. Свет, прошедший через микроотверстие, не меняет поляризацию, а свет, прошедший через среду вокруг него меняет поляризацию на 90° , т.к. среда является двулучепреломляющей (рис.3). Впритык к мастеру устанавливается подложка, покрытая слоем фотоориентанта. После освещения на площадке за микроотверстием ориентация молекул ЖК не меняется, а вокруг этой площадки ориентация будет перпендикулярна начальной.

После экспозиции на ориентирующий слой наносится ЖК полимер и получается фазовая пластина с соответствующей структурой, где ориентация молекул ЖК на участках, соответствующих микроотверстиям, отлична от ориентации вокруг них.

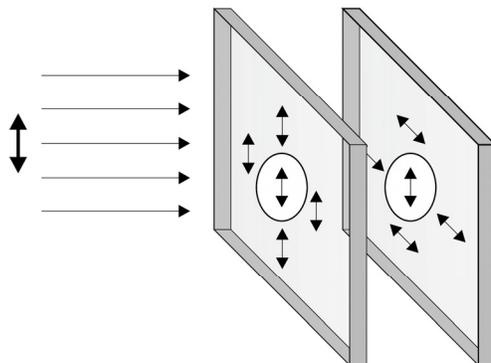


Рис.3. Схема, демонстрирующая принцип процесса тиражирования.

2.3. Изготовление и исследование ЖК ячейки

С целью исследования поведения матрицы микроструктур под воздействием электрического поля нами изготовлена специальная ЖК ячейка. Используются стеклянные подложки, покрытые прозрачным проводящим ITO слоем, на одной из которых задана гомогенно-планарная ориентация, а на другой сформирована матрица микроотверстий согласно вышеописанной технике. Подложки накладываются друг на друга таким образом, чтобы в области микроотверстия обеспечивалась твист, а вокруг нее – параллельно-планарная ориентация. Между подложками устанавливаются спейсеры толщиной 20 мкм. Ячейка заполняется жидким кристаллом в вакууме и герметизируется.

Исследован процесс переориентации микроструктуры с твист-ориентацией в гомогенно планарно-ориентированной среде при приложении электрического поля. Наблюдения велись под поляризационным микроскопом между

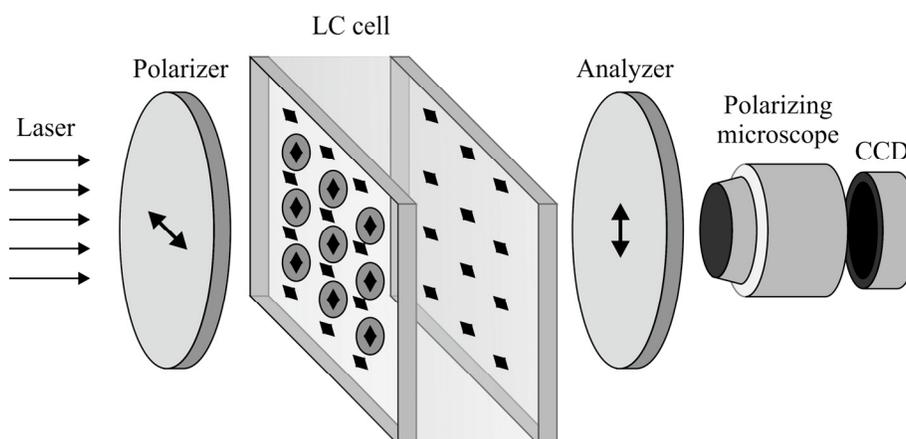


Рис.4. Оптическая схема исследования процесса переориентации микроструктуры под воздействием электрического поля.

скрещенными и параллельными поляризаторами для случаев когда планарная ориентация параллельна входному поляризатору и составляет с ним угол 45° (рис.4).

На рис.5. приведены изображения микроструктуры, полученные под поляризационным микроскопом, в отсутствие электрического поля и когда к ячейке приложено напряжение 30 В.

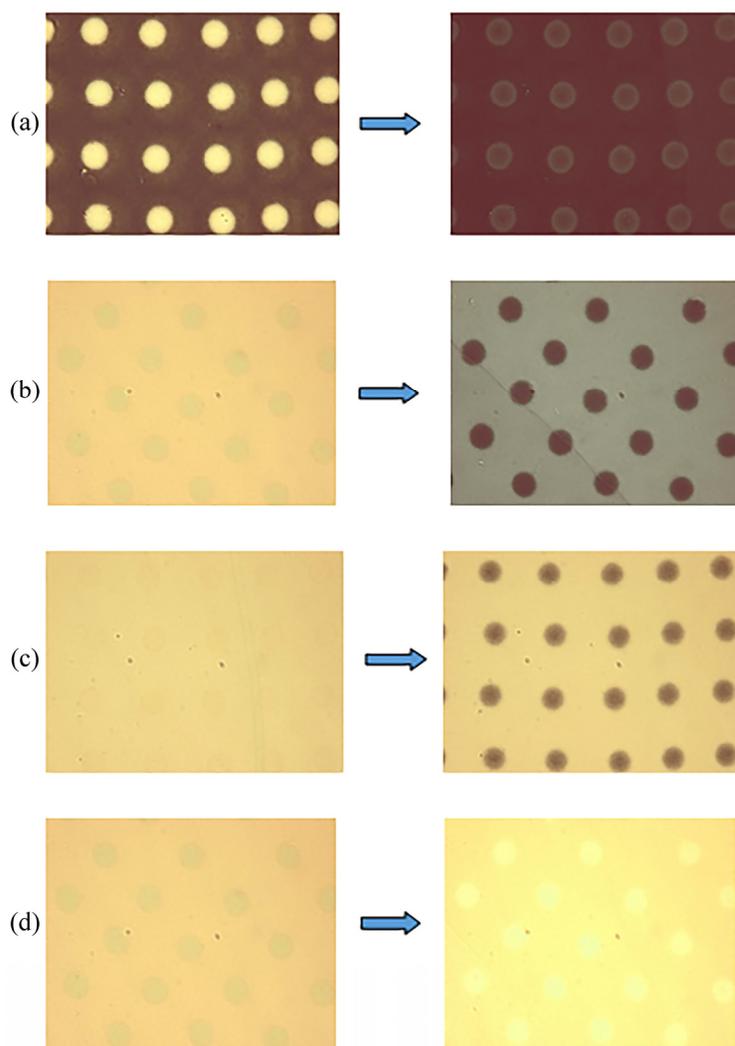


Рис.5. Изображения микроструктуры, полученные под микроскопом, когда ячейка установлена между: скрещенными поляризаторами, планарная ориентация параллельна входному поляризатору (a) и составляет с ним угол 45° (b); параллельными поляризаторами, планарная ориентация параллельна входному поляризатору (c) и составляет с ним угол 45° (d).

Видно, что, когда ячейка расположена между скрещенными поляризаторами и планарная ориентация параллельна входному поляризатору (рис.5а), микроструктура имеет твист-ориентацию, так как свет проходит через нее. При приложении напряжения микроструктура и окружающая область закрываются, но остается небольшой контраст. Между параллельными поляризаторами оба участка открыты, а при приложении напряжения возникает контраст (рис.5с). Когда планарная ориентация составляет угол 45° с входным поляризатором, разница между участками с планарной и твист ориентациями практически не заметна. Однако, при приложении напряжения контраст восстанавливается как при наблюдении между скрещенными, так и параллельными поляризаторами (рис.5b и рис.5d). Здесь следует обратить внимание, что при приложении напряжения переориентация молекул ЖК в микроструктурах происходит с сохранением контраста, что, вероятно, обусловлено периодичностью сил твист и планарной деформаций.

3. Заключение

В работе представлена методика формирования оптического интерфейса, позволяющая создать матрицу элементов типа микролинз в уже сориентированной среде ЖК полимера. Реализованы жидкокристаллические микроструктурные оптические элементы и рассмотрены их дифракционные свойства. Показана возможность управления такими элементами с помощью электрического поля, когда на одной из подложек ЖК ячейки сформирована матрица микроэлементов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта № SCS 18RF-118/ РФФИ 18-57-05002_Арм_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **V. Chigrinov, V. Kozenkov and H.-S. Kwok.** Photoalignment of Liquid Crystalline Materials: Physics and Applications. John Wiley & Sons (2008).
2. **S. Nersisyan, N. Tabiryan, D.M. Steeves, B.R. Kimball.** Optics Express, **17**, 11926 (2009).
3. **S.R. Nersisyan, N.V. Tabiryan, L. Hoke, D.M. Steeves, B. Kimball.** Optics Express, **17**, 1817 (2009).
4. **H. Ren, Y.-H. Fan, S.-T. Wu.** Optics Letters, **14**, 1608 (2004).
5. **C.-J. Hsu, C.-H. Liao, B.-L. Chen, S.-Y. Chih, C.-Y. Huang.** Optics Express, **22**, 25925 (2014).
6. **U. Ruiz, P. Pagliusi, C. Provenzano, E. Lepera, G. Cipparrone.** Applied Optics, **54**, 3303 (2015).
7. **H. Ren, S. Xu, S.-T. Wu.** Optics Letters, **38**, 3144 (2013).

ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՊՈԼԻՄԵՐՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԿԱՐԳԱՎՈՐՎԱԾ
ՄԻԿՐՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Հ.Լ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Վ.Կ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Ն.Հ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Վ.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ,
Պ.Կ. ԳԱՄՊԱՐՅԱՆ, Վ.Վ. ԲԵԼՅԱԵՎ, Ա.Ս. ՍՈԼՈՄՍՏԻՆ, Դ.Ն. ՉԱՌԻՍՈՎ

Մշակված է ինտենսիվ կիզակետված լուսային ճառագայթի ազդեցությամբ հեղուկ բյուրեղային պոլիմերի շերտում հետպոլիմերիզացման շնորհիվ շրջանաձև միկրոկառուցվածքների գրանցման տեխնիկան: Մշակված մեթոդով պատրաստված է միկրոկառուցվածքների մատրիցայի տեսքով տարր: Ուսումնասիրված է էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ թվիստ կողմնորոշմամբ միկրոկառուցվածքի վերակողմնորոշման պրոցեսը պլանար կողմնորոշված միջավայրում:

OPTICAL RECORDING METHOD OF PATTERNED MICROSTRUCTURES BASED ON LIQUID CRYSTAL POLYMER

H.L. MARGARYAN, V.K. ABRAHAMYAN, N.H. HAKOBYAN,
V.M. AROUTIOUNIAN, P.K. GASPARYAN, V.V. BELYAEV,
A.S. SOLOMATIN, D.N. CHAUSOV

A technique for recording a matrix of ring-shaped microstructures by post-polymerization of an already oriented layer of liquid crystal polymer under the influence of high intensive focused light radiation is developed. Using the developed technique, a microstructures matrix patterned element is realized. The reorientation process of the microstructure with twist orientation in a homogeneously planar-oriented medium under the influence of electric field is investigated.