

О.С. Кабанова¹, И.И. Рушнова¹, Е.А. Мельникова¹,
А.Л. Толстик¹, А.А. Муравский²

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²ГНУ «Институт химии новых материалов» НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Введение

Оптические элементы на основе нематических жидких кристаллов (ЖК) отличаются компактностью, низким энергопотреблением, невысокой рыночной стоимостью, а также возможностью перестройки оптических параметров, что в совокупности обуславливает их широкое применение для решения как научно-исследовательских, так и прикладных задач современной фотоники [1]. Большой интерес, в частности, представляют тонкопленочные нематические ЖК-структуры с периодической модуляцией ориентации директора, представляющие собой высоко эффективные дифракционные решетки с электрически управляемыми оптическими свойствами [2].

В настоящей работе представлены способы создания динамических дифракционных ЖК-решеток с различными геометриями ориентации директора реализованные на основе технологии фотоориентации нематических жидких кристаллов. Экспериментально и теоретически исследованы поляризационные свойства дифракционных ЖК-решеток в зависимости от величины управляющего электрического напряжения.

1. Методики изготовления дифракционных ЖК структур

На рисунке 1 приведены структурные схемы разработанных дифракционных ЖК-элементов с твист-планарной ориентацией директора (рисунк 1 а), а также с планарной ортогональной ориентацией директора в смежных доменах (рисунк 1 б). Начальная ориентация молекул нематического жидкого кристалла в ячейках сэндвич-типа с периодически чередующимися микродоменами ($d=40$ мкм) создавалась методом фотоориентации азокрасителя AtA-2, синтезированного в Институте химии новых материалов НАН Беларуси [3]. Достоинством азокрасителя AtA-2, определившим его выбор в качестве ориентирующего материала, является возможность многократного изменения ориентации молекул посредством поворота плоскости

поляризации экспонирующего излучения, что легло в основу формирования выбранных геометрий ориентации директора ЖК в смежных доменах периодических (решетчатых) ЖК-структур.

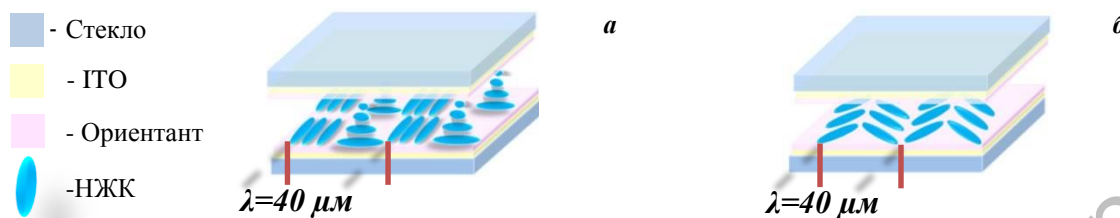


Рисунок 1 – Структурные схемы ЖК-решеток с а) твист-планарной геометрией ориентации директора и б) планарной-ортогональной ориентацией директора

На внутреннюю поверхность стеклянных пластин (рисунок 1) наносился тонкий слой (≈ 50 нм) прозрачного электропроводящего слоя из оксида индия-олова (ИТО), благодаря которому под действием внешнего электрического поля длинные оси молекул ЖК переориентируются из планарного положения в гомеотропное (т.е. перпендикулярно плоскости подложек ячейки) согласно эффекту Фредерикса.

Топология ориентации директора, соответствующая начальной твист-планарной геометрии (рисунок 1 а), была реализована в ЖК-ячейках методом фотоориентации тонких пленок азокрасителя AtA-2. Слой ориентанта AtA-2 наносился на стеклянные пластины с прозрачным электропроводящим слоем ИТО из 2%-го раствора в N,N-диметилформамиде методом род коутинга. Для удаления следов растворителя производился отжиг образцов при температуре $t=140^{\circ}\text{C}$. Экспонирование верхней подложки (рисунок 2 а) излучением светодиода на длине волны $\lambda=450$ нм происходило в два этапа: вначале выполнялась однородная засветка образца линейно поляризованным излучением с интенсивностью светового потока $I = 20$ мВт/см² в течение $\tau = 20$ с, что соответствовало дозе облучения $0,4$ Дж/см²; далее поляризатор поворачивался на 90° и происходило повторное экспонирование ячейки через амплитудную маску с П-образным профилем и периодом $d=40$ мкм, в течение $\tau = 60$ с, что соответствовало дозе облучения $1,2$ Дж/см². В областях ячейки, которые закрывались маской, ориентация молекул азокрасителя не изменялась (фотоориентация 1), в отличие от смежных (немаскированных) областей, где молекулы поворачивались согласно новому направлению колебаний вектора поляризации, что обеспечило планарную ориентацию ортогональную ориентацию

молекул в периодически чередующихся микродоменах. Изготовление нижней подложки включало: нанесение ориентирующего материала на стеклянную пластину с прозрачным электродом; отжиг образца и облучение линейно поляризованным излучением с интенсивностью светового потока $I = 20 \text{ мВт/см}^2$ в течение $\tau = 20 \text{ с}$, вследствие чего на поверхности формировалась однородная планарная ориентация молекул. Далее собиралась ячейка, где толщина ЖК слоя задавалась спейсером и составила 7 мкм. Заполнение ячейки нематическим ЖКматериалом НЖК-1289 с анизотропией показателя преломления $\Delta n = 0,156$ на длине волны $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ осуществлялось в условиях изотропной фазы.

Топология, соответствующая начальной планарной ортогональной ориентации директора в смежных доменах (рисунок 1 б), где директор ЖК составлял угол 45° с осью OY , была реализована в ЖК-ячейках при помощи технологического процесса, схема которого приведенного на рисунке 2.

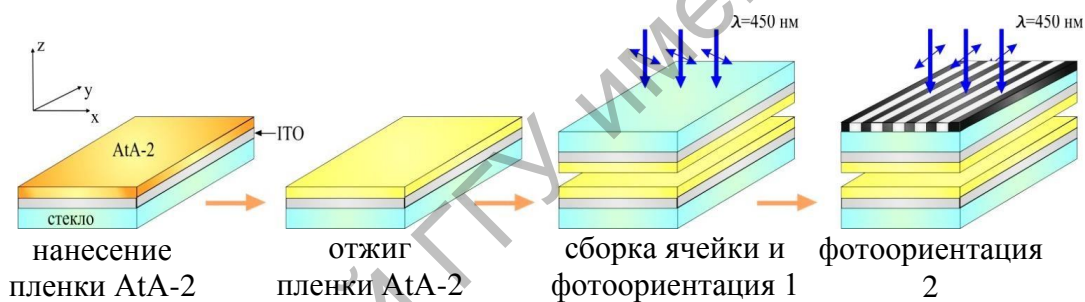


Рисунок 2 – Схема процесса изготовления дифракционных ЖК-ячеек с планарной-ортогональной геометрией ориентации директора в смежных микродоменах

После сборки корпуса ячейки из подложек, покрытых фотоориентантом, производилась однородная засветка образца линейно поляризованным излучением с интенсивностью светового потока $I = 20 \text{ мВт/см}^2$ в течение $\tau = 20 \text{ с}$. Далее поляризатор поворачивался на 90° и производилось повторное экспонирование ячейки через амплитудную маску с П-образным профилем и периодом $d = 40 \text{ мкм}$ в течение $\tau = 60 \text{ с}$. Экспонирование уже собранных ячеек позволило реализовать самосовмещение планарных жидкокристаллических доменов, характеризующихся одинаковым направлением ориентации директора в смежных доменах.

2. Экспериментальные результаты

Для экспериментального исследования дифракционных свойств разработанных ЖК-решеток вертикально поляризованное излучение He–Ne-лазера с длиной волны 632,8 нм направлялось перпендикулярно плоскости подложек исследуемой электроуправляемой ЖК-ячейки. Интенсивность дифрагированного излучения регистрировалась при помощи высокочувствительного фотодетектора. На рисунке 3 приведены поляризационные микрофотографии ЖК-решеток с твист-планарной и планарной-ортогональной геометриями ориентации директора соответственно, зарегистрированные при разных значениях управляющего напряжения на ячейках.

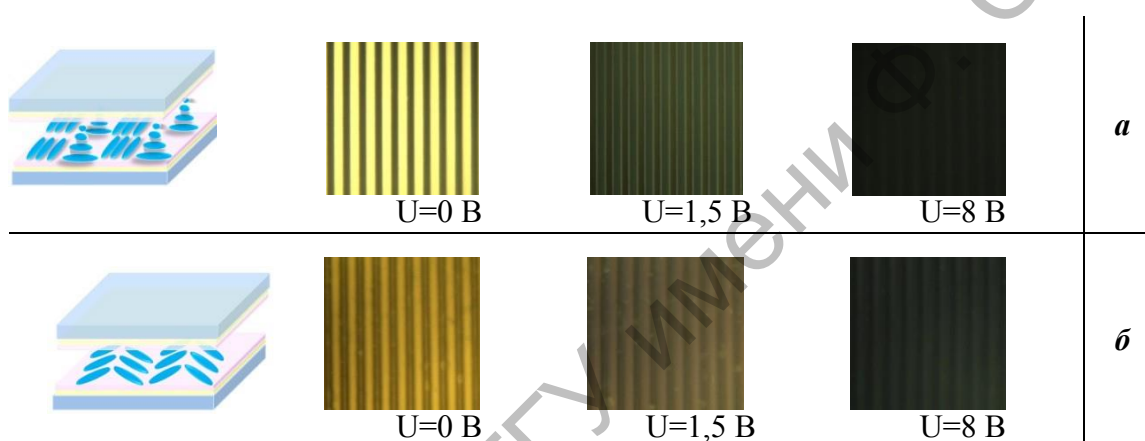


Рисунок 3 – Поляризационные микрофотографии ЖК-решеток (размер области 400X400 мкм) с а) твист-планарной геометрией ориентации директора и б) планарной-ортогональной геометрией ориентации директора при разных управляющих напряжениях U

На рисунке 4 приведена экспериментальная зависимость дифракционной эффективности ЖК-решетки с твист-планарной геометрией ориентации директора от величины управляющего напряжения на ячейке.

Разработанные ЖК-решетки с выбранными геометриями ориентации директора характеризуется высокой дифракционной эффективностью. Так в ЖК-элементе с твист-планарной геометрией ориентации директора дифракционная эффективность для первого порядка дифракции составила $\eta_1=33\%$ и зарегистрирована с величиной контрастного отношения 520:1.

Также в процессе выполнения работы для ЖК-решетки с твист-планарной геометрией ориентации директора с помощью теоретических и экспериментальных методов были изучены поляризационные диаграммы для нулевого порядка дифракции на выходе ЖК-элемента при

различных управляющих напряжениях. Получено хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными данными.

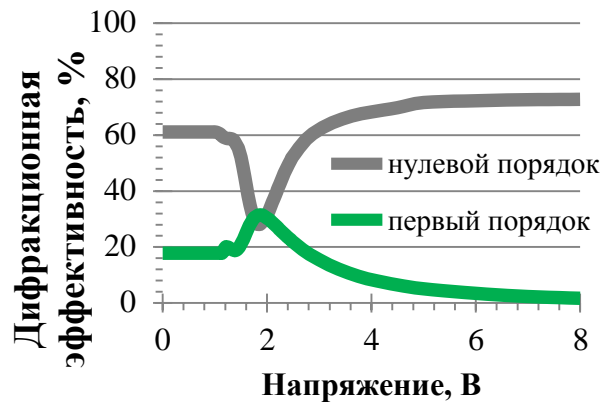


Рисунок 4 – Зависимость дифракционной эффективности 0^{го} и 1^{го} порядков для ЖК-решеток с твист-планарной геометрией ориентации директора

Заключение

В данной работе на основе технологии фотоориентации тонких пленок азокрасителя AtA-2 реализовано два простых и эффективных метода создания периодических (локально-неоднородных) дифракционных ЖК-решеток с различными геометриями ориентации директора.

Разработанные ЖК-решетки с твист-планарной и планарной ортогональной ориентациями директора в смежных доменах реализуют переключение между нулевым и \pm первым дифракционными порядками при достаточно низком значении управляющего электрического напряжения ($U=8$ В) и характеризуются высокими значениями дифракционной эффективности и величинами контрастного отношения. Экспериментально и теоретически исследованы поляризационные свойства ЖК-решеток в зависимости от величины внешнего электрического напряжения.

Миниатюрные дифракционные ЖК-решетки с электрически управляемыми оптическими свойствами могут быть использованы для создания новейших оптических устройств пространственно поляризационного управления световыми пучками, включая переключаемые дифракционные компоненты.

Литература

1. Chigrinov, V.G. Liquid crystal applications in photonics / V.G. Chigrinov // Front. Optoelectron. China. – 2010. – Vol. 3. – № 1. – P. 103–107.
2. Simulation and optimization of liquid crystal gratings with alternate

twisted nematic and planar aligned regions / J. Li [et al.] // Appl. Opt. – 2014. – Vol. 53. Is. 22. – P. E14–E18.

3. Electrically controlled spatial-polarization switch based on patterned photoalignment of nematic liquid crystals / E.A. Melnikova [et al.] // Appl. Opt. – 2016. – Vol. 55. – Is. 23. – P. 6491–6495.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. СКОРИНЫ