

ОРИЕНТАЦИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ СТРУКТУР

Волков А.В., Казанский Н.Л., Соловьев В.С.
Институт систем обработки изображений РАН,
Самарский государственный аэрокосмический университет

Введение

Ориентация молекул жидкокристаллических веществ (ЖКВ) представляет значительный практический интерес [1]. Для ориентации ЖКВ используют многочисленные методы обработки поверхности химическими реагентами, а также способы создания дополнительных ориентирующих слоев [1]. Например, широко распространен способ ориентации с помощью напыления пленок металлов под большим углом к нормали поверхности. При этом на поверхности образуются микробороздки, которые ориентируют ЖКВ. Также распространен способ ориентирования с помощью создания электростатического поля. Приведенные способы ориентирования не позволяют решить все задачи, возникающие при создании устройств на основе ЖКВ. Целью настоящей работы было исследование поведения ЖКВ на ориентированных микроструктурах с различным пространственным разрешением.

1. Создание ЖК-ячейки на основе дифракционной решетки

Для исследования поведения ЖКВ на ориентированных микроструктурах были использованы рельефные дифракционные решетки, изготовленные на основе олигоэфирных жидких фотополимеризующихся композиций (ЖФПК) [2-3] с частотой 200 л/мм и 500 л/мм. Олигоэфирная ЖФПК засвечивалась ультрафиолетовым излучением через металлизированный шаблон (рис. 1), выполненный на хrome.

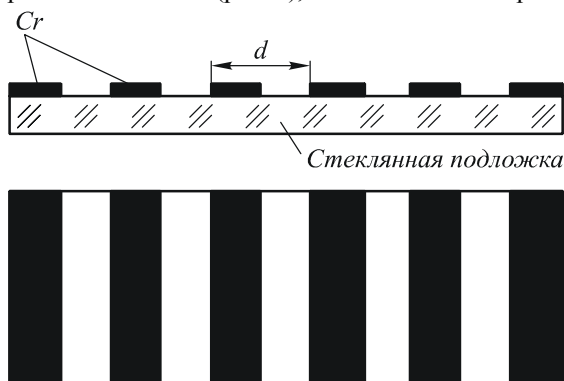


Рис. 1. Металлизированный шаблон, изготовленный на стекле с напыленным слоем хрома толщиной 0,1 мкм, (d – период решетки от 2 до 5 мкм)

В зависимости от времени засветки по одноэтапной технологии ЖФПК на основе явления массопереноса [3, 4] получались дифракционные решетки с различной высотой микрорельефа (в диапазоне 0,1-0,4 мкм). Пример профиля полученной решетки показан на рис. 2. Для исследования использовали ЖКВ K15 и жидкокристаллический (ЖК) полимер С6М. Первое представляет собой смесь нематических ЖК, а второй является сетчатым ЖК олигомером.

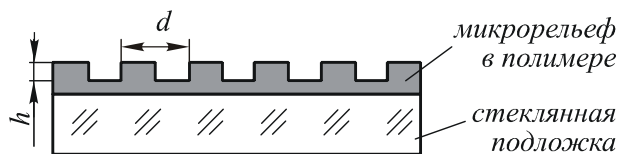


Рис. 2. Дифракционная решетка, изготовленная методом фотополимеризации ЖФПК (h – микрорельефа от 0,1 до 0,4 мкм)

Большинство молекул в жидком кристалле имеет вытянутую форму. Например, в технологии создания ЖК-дисплеев [5] нематический (характеризуется тем, что в неподвергнутой внешним воздействиям системе его молекулы ориентированы в одном направлении) кристалл с обеих сторон зажат между специальными пленками. Они задают направление, в котором в спокойном состоянии укладываются продолговатые молекулы. Каждая из пленок покрыта мельчайшими засечками, одинаково сориентированными по направлению плоскости поляризации поляроида, к которому она прижата. «Лежащие на боку» молекулы ЖК у противоположных поляроидов оказываются перпендикулярными друг другу, по мере сближения – все более повернутыми в сторону поляризации противоположного поляроида – в итоге образуется спираль, по которой сворачивается плоскость поляризации света. Это называется скрученным нематическим кристаллом [5].

Для формирования тонкого слоя ЖКВ в описываемом эксперименте брали две стеклянные пластины (рис. 3), на одну из которых копировалась дифракционная решетка, занимавшая половину ее поверхности [6].

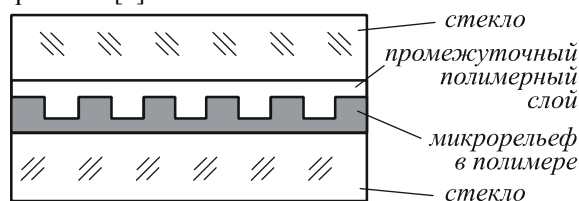


Рис. 3. ЖК ячейка, собранная из двух стекол, пространство между которыми заполнено ЖФПК со сформированным микрорельефом и жидкокристаллическим веществом (см. рис. 4)

Стекла склеивали между собой с зазором 27 мкм, высота которого фиксировалась разделительными прокладками. Стекла нагревали до температуры существования мезофазы ЖКВ [1]. Мезофаза – это состояние между твердым кристаллическим и изотропным жидким состоянием вещества: оно и текуче, и сохраняет порядок расположения молекул – для ЖКВ состояние устойчиво в большом диапазоне температур [1, 5]. После нагревания область зазора заполняли ЖКВ. Под действием капиллярных сил ЖКВ втягивалось в зазор между стеклами и образовывало тонкий равномерный слой. Таким образом,

создавалась ЖК ячейка, состоящая из двух прозрачных подложек с зазором, определяемым суммарной толщиной слоев ЖФПК и ЖКВ.

2. Результаты измерений

Измерение распределения интенсивности светового потока проводили методом оптической микроскопии с увеличением $\times 750$ в поляризованном свете в скрещенных поляроидах. В качестве поляроидов использовали поляроидную пленку. Результаты исследований для ЖКВ K15 представлены на фотографиях, показанных на рис. 4 и рис. 5 (для ЖКВ С6М были получены аналогичные результаты).



Рис. 4. Фотография распределения интенсивности светового потока в ЖК ячейке с разрешением решетки 200 л/мм

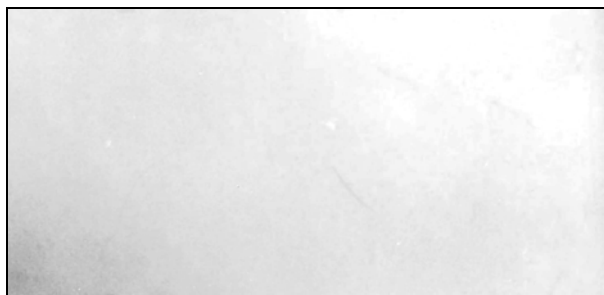


Рис. 5. Фотография распределения интенсивности светового потока в ЖК ячейке с разрешением решетки 500 л/мм

На рис. 4 видно синусоидальное распределение интенсивности светового потока. Период синусоиды соответствует периоду дифракционной решетки с разрешением 200 л/мм. На белом фоне, соответствующем ориентированным участкам – впадинам, просматриваются темные полосы (неориентированные участки – выступы дифракционной решетки).

На рис. 5 поверхность по плотности практически однородна – серого цвета, то есть ЖКВ, находящееся на дифракционной решетке (с разрешением 500 л/мм), также однородно по всей поверхности, невзирая на впадины и выступы. Это означает, что молекулы ЖКВ сориентированы как во впадинах, так и на выступах дифракционной решетки.

3. Анализ результатов измерений

Сравнение приведенных микрофотографий показывает, что при частоте решетки 200 л/мм происходит неполное ориентирование ЖКВ. Полное ориен-

тирование ЖКВ становится возможным, начиная с частоты 500 л/мм.

Авторы предполагают, что ориентация происходит в результате гидродинамического течения ЖКВ, которое в момент заполнения находилось в ЖК фазе.

Для анализа расположения молекул ЖКВ при их ориентации за счет дифракционной решетки рассмотрим рис. 6.

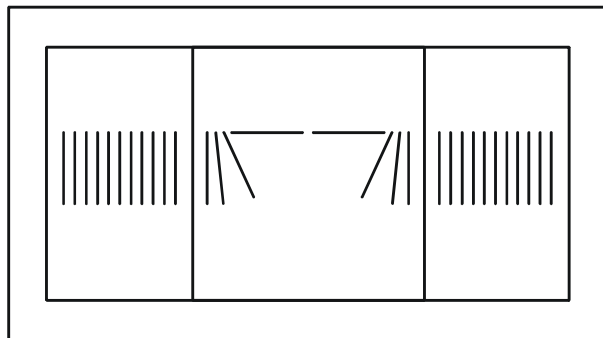


Рис. 6. Графическое представление ориентации молекул ЖКВ на поверхности дифракционной решетки

Во впадинах молекулы уложены параллельно линиям решетки, на выступах ориентация нарушается и постепенно переходит в перпендикулярную ориентирующим линиям.

При разрешении дифракционной решетки 200 л/мм (рис. 4) имеет место ориентация молекул ЖКВ только в канавках, а на горбах нет. Очевидно, это связано с большими расстояниями между канавками решеток. Как видно, на рис. 4 цвет в канавках белый, т.е. структура сориентировалась, а на горбах трансляционного порядка не достаточно, чтобы сохранить направленность ЖК-молекул вдоль линий дифракционной решетки.

В соответствии с теорией межмолекулярных взаимодействий [7] в упорядочивании молекул ЖКВ основную роль играют силы взаимодействия молекул ЖКВ между собой и силы взаимодействия молекул ЖКВ с поверхностью решетки. Расстояние, на которое может транслироваться заданная направляющими бороздками ориентация ЖК-молекул, определяется следующими факторами:

- величиной модуля упругости деформации кручения ЖК-молекул;
- соотношением энергии взаимодействия ЖК-молекул с поверхностью решетки и энергии взаимодействия молекул между собой.

При возрастании энергии взаимодействия молекул с поверхностью (особенно в присутствии на ней хаотичных неоднородностей) происходит ослабление трансляционного порядка. В исследованном случае ориентация на ступеньках дифракционной решетки сохраняется при частоте ориентирующих линий 500 л/мм и высоте рельефа 0,1 мкм. При уменьшении частоты решетки до 200 л/мм трансляционный порядок нарушается.

Заключение

Рельефные дифракционные решетки, сформированные на основе жидких фотополимеризующихся композиций, могут использоваться для ориентации нематического жидкокристаллического вещества толщиной несколько десятков микрон при пространственном разрешении решетки не ниже 500 л/мм и высоте микрорельефа 0,1-0,4 мкм. Данные параметры определяются гладкостью поверхности дифракционной решетки, получаемой с использованием ЖФПК, свойствами ЖКВ и материала дифракционной решетки (в том числе силами взаимодействия молекул ЖКВ и материала решетки). Результаты проведенных исследований оформлены в виде патента на изобретение [6].

Благодарности

Работа выполнена при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» («BRHE»), гранта Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ № НШ-1007.2003.01 и грантов Российского фонда фундаментальных исследований №№ 04-01-96517 и 04-02-08094.

Литература

1. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов // М: Наука, 1974.
2. Волков А.В., Волотовский С.Г., Гранчак В.М., Казанский Н.Л., Моисеев О.Ю., Сойфер В.А., Соловьев В.С., Якуненкова Д.М. Экспериментальное исследование массопереноса в жидких фотополимеризующихся композициях // Журнал технической физики, 1995, Том 65. № 9. С.181-185.
3. Golovashkin D.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Pavlyev V.S., Solovyev V.S., Usplenyev G.V., Volkov A.V. Technology of DOE Fabrication // Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements. Edited by Victor A. Soifer. A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc., 2002. P. 267-345.
4. Карпеев С.В., Соловьев В.С. Методы получения рельефных изображений с непрерывным профилем // Компьютерная оптика, 1989. № 4. с. 60-61.
5. Сокольников А., Хрупалов И. Матрица: эволюция // Компьютерра, 2005, № 10 (582). С. 26-31.
6. Соловьев В.С., Волков А.В., Сойфер В.А., Казанский Н.Л. Способ создания поляризующей ячейки // Решение о выдаче патента на изобретение от 22 марта 2005 года по заявке № 2004107801/28(008301) от 16.03.2004.
7. Лопаткин А.А. Теоретические основы физической адсорбции // М: МГУ, 1983. 344 с.