

07

© 1992

НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ И „ЗАМОРОЖЕННЫЕ“ СТРУКТУРЫ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЯХ

Р.Б. А л а в е р д я н, В.Э. Д р н о я н,
Т.Н. С м и р н о в а, С.М. А р а к е л я н,
Ю.С. Ч и л и н г а р я н

1. Среди материалов для устройств оптической записи информации и оптического переключения, разработанных в последнее время, значительный интерес представляют жидкокристаллические фотополимеризующиеся композиции (ЖФПК), сочетающие в себе сильную оптическую нелинейность жидких кристаллов и возможность записи светоиндуцированных структур в фотополимерной матрице. При этом модуляция излучения, прошедшего через такую систему, обусловлена его самовоздействием, с одной стороны, в полимеризующейся матрице, а с другой – жидкокристаллической компоненте ЖФПК.

К настоящему времени из литературы известны сообщения об исследовании различных механизмов самовоздействия излучения в жидких кристаллах (ЖК), диспергированных в полимерной матрице. В частности, в [1] описан эффект переключения образца с ЖК-полимером из режима с сильным рассеянием с режимом с высоким пропусканием в результате фазового перехода ЖК в изотропное состояние из-за лазерного нагрева. Возможность записи фазовых решеток благодаря светоиндуцированной трансформации пространственной формы мезогенных групп на молекулярном уровне продемонстрирована в [2]; по-видимому, сходный механизм записи – из-за фотопревращения молекул (фотоизомеризация) при поглощении излучения – рассмотрен в [3].

В отличие от приведенных примеров, в которых ориентационный порядок ЖК не играет существенной роли, в настоящей работе исследована светоиндуцированная модуляция показателя преломления нематического жидкого кристалла (НЖК) в фотополимерной матрице на основе именно ориентационного механизма. Физика этого явления сводится к следующему.

Воздействия лазерного поля на НЖК делает неустойчивым исходное равновесное состояние среды с определенной пространственной ориентацией молекул, в которой начинают развиваться эффекты перереориентации [4]. Поворот директора НЖК – локального направления его оптической оси – из-за большой оптической ориентационной нелинейности жидких кристаллов приводит к самовоздействию излучения и индуцированию в самом НЖК структурных фазовых переходов. Однако в отсутствие излучения наведенная структура

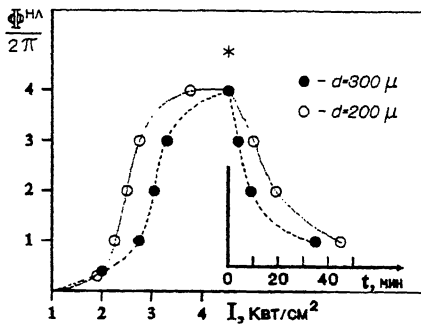


Рис. 1. Нелинейный фазовый набег Φ^{NL} , индуцированный лазерным излучением в ЖФПК, как функция от интенсивности излучения накачки (для двух разных толщин образца: $d=300$ мкм и $d=200$ мкм). После установления стационарной картины переориентации производится полимеризация наведенной структуры с помощью дополнительного источника излучения (момент его включения отмечен звездочкой). Там же на вкладке приведена зависимость от времени t , которая показывает релаксацию к остаточной (устойчивой) структуре в процессе полимеризации.

быстро релаксирует, и система возвращается в свое первоначальное состояние. В [5] показано, что исходная ориентация жидкокристаллических мономеров, достигнутая обычным для ЖК-материалов способом (с помощью магнитного или электрического полей или использованием ориентирующего действия поверхностей), может быть закреплена путем фотополимеризации. Полученные в [5] полимерные сетки обладали высокой степенью ориентационного порядка, зависящей от температуры полимеризации, но сохраняющейся в широком температурном интервале.

В настоящей работе показано, что введение в НЖК фотополимеризующейся композиции делает возможным закрепить индуцированное световым полем неоднородное пространственное распределение директора НЖК, приводящее к самодифракции проходящего через образец излучения.

2. В эксперименте использовалась оптимизированная для наблюдения нелинейно-оптических эффектов четырехкомпонентная ЖФПК, являющаяся при нормальных условиях однофазной жидкокристаллической средой. Компоненты системы соответствуют фотополимеризующейся композиции ФПК-488 [6, 7] и включают в себя бифункциональный олигомер, полифункциональный мономер и инициатор. Кроме того, ФПК-488 содержит также четвертую, химически инвертную и оптически изотропную компоненту с высоким относительно мономера и олигомера коэффициентом преломления в видимой области спектра.

В отличие от описанного в [6, 7] ФПК в нашей смеси ЖФПК в качестве химически инвертной компоненты используется НЖК

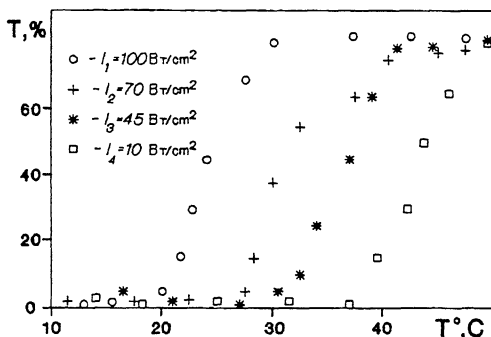


Рис. 2. Оптическое пропускание образца как функция от температуры (при ее увеличении) при разных интенсивностях записывающего пучка. Выход на стационарное значение пропускания определяет температуру просветления ячейки.

5ЦБ – среда с большой анизотропией показателя преломления ($\Delta n = 0.19$). Слой ЖФПК формировался между двумя подложками из оптического стекла с зазором от 100 до 300 мкм. Для предварительной гомеотропной ориентации молекул НЖК (начальное положение директора перпендикулярно подложкам) в композицию вводилось небольшое количество поверхностно-активного вещества ЦТАБ.

Индукцированная лазерным излучением (Ar^{3+} – лазер, $\lambda = 0.51$ мкм, диаметр пучка – 600 мкм, мощность до 2 Вт) переориентация директора НЖК в ЖФПК измерялась как по характерной абберационной картине в прошедшем через образец записывающем пучке, так и с помощью слабого зондирующего пучка $He-Ne$ лазера ($\lambda = 0.63$ мкм, эффективная область зондирования – 10 мкм), позволяющего исследовать локальные области ЖФПК и динамику процесса формирования неоднородной структуры. Наведенное светом распределение директора НЖК в образце, соответствующее топологии светового поля, фиксировалось во времени однородной полимеризацией всего слоя ЖФПК излучением ультрафиолетовой лампы. „Замороженные“ таким образом структуры сохранялись практически неограниченное время (в нашем случае – уже больше года).

3. Зависимость нелинейного набега фазы $\phi^{НЛ}$ для проходящего света от интенсивности I падающего на образец лазерного пучка (записывающее поле) показана на рис. 1 для двух случаев с различной толщиной регистрирующего слоя. Величина $\phi^{НЛ}$ определялась по числу колец абберационной картины N ($N \approx \phi^{НЛ} / 12\pi$). С увеличением I число колец увеличивалось и достигало значения 4 при $1 \sim 5$ кВт/см². По временам релаксации и характеру абберационной картины последнюю можно идентифицировать как возникающую в результате светоиндуцированной переориентации НЖК.

На том же рисунке показана динамика поведения наведенной в ЖФПК нелинейности в процессе фотополимеризации ультрафиолето-

вым излучением (процесс „усадки“), кольцевая структура в прошедшем через образец излучении к концу фотополимеризации достигала величины в 1–2 кольца. Именно она проявляется в поле зондирующего пучка после прекращения процесса полимеризации.

Интересна также температурная зависимость пропускания закрепленной ЖФПК (рис. 2). При увеличении температуры происходит довольно резкое увеличение пропускания системы (наблюдаемого с помощью зондирующего пучка) – наступает просветление образца. Причем температура просветления существенно зависит от интенсивности записывающего пучка, использованного при наведении в НЖК модулированных структур. А именно: температура просветления тем меньше, чем выше величина записывающей интенсивности (ср. с. [1, 5]). При обратном изменении температуры пропускание образца восстанавливается, но, возможно, с гистерезисом (это зависит от скорости изменения температуры, которая может и не удовлетворять условию достижения локального равновесного состояния среды).

Значения массовых коэффициентов преломления жидкой и заполимеризованной фаз как для ФПК (без химически инертной компоненты), так и для ЖФПК в пределах погрешности измерений совпадают с соответствующими величинами, приведенными в [6] для ФПК-488. Далее, полученные для исследуемого ЖФПК кривые, описывающие кинетику пропускания регистрирующего слоя при полимеризации образующихся структур излучением ультрафиолетовой лампы или излучением в синей области спектра Ar^{3+} -лазера, близки к соответствующим кривым, полученным в [7] для того же ФПК.

Так например, кинетика пропускания ЖФПК, как и в случае ФПК-488, при полимеризации ультрафиолетовым излучением характеризуется наличием минимума пропускания, связанного с ростом мутности среды при формировании гетерогенной дисперсной структуры из полимерных частиц (микрогеля). Затем система просветляется в результате сращивания микрогеля в полимерное тело, и оптическое пропускание среды достигает величины, приблизительно совпадающей с первоначальным значением.

При полимеризации слоя излучением Ar^{3+} -лазера (использовалась генерация одновременно на всех частотных линиях, включая синюю область спектра) величина пропускания, аналогично приведенной в [7] зависимости, существенно уменьшается из-за рассеяния на шумовых голограммах, возникающих в когерентном свете; в конце процесса лазерной полимеризации пропускание достигает своего минимального значения.

Отмеченные факты свидетельствуют о применимости описанного в [6] механизма фотополимеризации к рассматриваемой в настоящей работе ЖФПК.

4. В заключение отметим, что исследованная ЖФПК может оказаться особенно интересной при наведении и закреплении в ней пространственных периодических структур, когда становятся возможными эффекты динамической самодифракции и резкие скачки оптических параметров среды в условиях возбуждения в ней оптической

бистабильности для проходящего света; в частности, это происходит для объемных решеток анизотропии, наведенных вдоль толщины образца при одном падающем на среду лазерном пучке. Подобные системы могут использоваться также для записи и визуализации изображения, в том числе голографических. Таким образом, оказывается возможным создание устойчивых тонкопленочных анизотропных оптических элементов универсального назначения с заранее заданной топологией пространственного распределения молекул в образце для управления параметрами проходящих лазерных пучков (в частности, для их сканирования по пространству) в широком диапазоне изменения их значений.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S i m o n i F., C i p p a r r o n e G., U m e t o n C. et al. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. 10, P. 896-897.
- [2] E i c h M., W e n d o r f f J. // J. Opt. Soc. Am. B. 1990. V. 7. 8. P. 1428-1436.
- [3] О д у л о в С.Г., Р е з н и к о в Ю.А., С о с к и н М.С., Х и ж н я к А.И. // ЖЭТФ. 1982. Т. 82. С. 1475-1484.
- [4] А р а к е л я н С.М., Ч и л и н г а р я н Ю.С. Нелинейная оптика жидких кристаллов, М.: Наука, 1984. 360 с.
- [5] B r o e r D.J., C o s s i n k R.G., H i k m e t R.A.M. // Angew. Makeomol. Chem. 1990. V. 183. P. 45-66.
- [6] Г ю л ь н а з а р о в Э.С., С м и р н о в а Т.Н., Т и х о н о в Е.А. // Оптика и спектроскопия. 1989. Т. 67. № 1. С. 175-179.
- [7] Г ю л ь н а з а р о в Э.С., С м и р н о в а Т.Н., С у р о в ц е в Д.В., Т и х о н о в Е.А. // Журнал прикл. спект. 1989. Т. 51. № 1. С. 111-117.

Ереванский государственный
университет

Поступило в Редакцию
27 мая 1992 г.