

УДК 532.783:535.5

**Г. М. Жаркова, А. П. Петров, С. А. Стрельцов, В. М. Хачатурян**

Институт теоретической и прикладной механики  
им. С. А. Христиановича СО РАН  
ул. Институтская, 4/1, Новосибирск, 630090, Россия

E-mail: zharkova@itam.nsc.ru

### **ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ РЕШЕТКИ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТАХ \***

Исследовано формирование голографических поляризационных решеток с использованием техники голографической полимеризации полимерно-жидкокристаллического композита. Структура решетки создается путем записи в композите интерференционной картины, образуемой двумя когерентными пучками с ортогональной поляризацией. Исследовано влияние режима формирования, состава предполимерной композиции, азимутального угла поляризации пробного пучка на характеристики поляризационных голографических решеток. Изучены электрооптические эффекты в решетках, продемонстрирована возможность их термооптического переключения.

*Ключевые слова:* жидкие кристаллы, жидкокристаллические композиты, поляризационная голография.

#### **Введение**

Разработка и исследование новых активных оптических сред для отображения оптической информации, а также для управления свойствами и направлением распространения света в устройствах фотоники остаются востребованными в условиях бурно развивающихся информационных технологий.

Поляризационные голографические решетки благодаря их оптически активным свойствам перспективны для создания высокофункциональных оптических устройств, таких как модуляторы света, затворы, поляризационные мультиплексоры и демultipлексоры, разветвители поляризованного излучения [1–7].

Такие решетки записывают на поляризационно-чувствительных материалах: фоторефрактивных кристаллах и жидкокристаллических полимерах [8–10], системах «гость – хозяин» [11–13], азополимерах [14–15].

Сравнительно недавно появились сообщения о записи поляризационных решеток в жидкокристаллических композитах (ЖК-композитах), не содержащих азокрасителя [7; 16].

ЖК-композиты представляют собой полимерную матрицу, в объеме которой диспергированы капсулы нематических жидких кристаллов (НЖК). Они привлекательны тем, что сочетают в себе полезные свойства полимеров (механическая прочность, стабильность, гибкость, невысокая стоимость) с уникальными физическими свойствами жидких кристаллов (анизотропия оптических и диэлектрических свойств). Такие композитные материалы позволяют использовать относительно простую, одноэтапную технологию оптической записи, долговременно хранить поляризационное состояние, что обеспечивает высокую поляризационную селективность записанных поляризационных решеток. Кроме того, дифракционной эффективностью поляризационных

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 36.

голографических решеток, записанных в ЖК-композитах, можно управлять электрическим и тепловым полями.

Поляризационные голографические решетки формировались в тонком слое ЖК-композита в результате разделения фаз НЖК – полимер при фотополимеризации, вызванной световым полем, возникающим при наложении в плоскости образца двух плоских когерентных волн, поляризованных во взаимно-перпендикулярных плоскостях, или двух лево- и правополяризованных волн. В этом случае модуляция интенсивности света отсутствует, а изменение разности фаз между интерферирующими волнами приводит только к изменению поляризационного состояния результирующего светового поля. Поскольку НЖК чувствителен к направлению результирующего поля и способен ориентироваться в направлении вектора светового поля, то в ЖК-композите после экспонирования формируется решетка с повторяющимися ориентациями молекул НЖК в полимерных капсулах.

Функциональность сформированных решеток, эффективность управления их электрооптическими свойствами определяются физическими свойствами НЖК и связаны с особенностями надмолекулярной структуры, которая реализуется в композите при его формировании. В качестве параметров, влияющих на надмолекулярную структуру, следует отметить тип НЖК и полимера, соотношение ЖК-полимер, особенности технологического процесса (энергия записи, температура формирования).

Из-за большого числа компонентов, входящих в предполимерную систему, баланс между их концентрациями и соответствующими им физико-химическими свойствами формируемых решеток, которые определяют управляемость решетки электрическим полем, необходимо исследовать. В литературе описано влияние всех компонентов смеси на свойства отражательных и пропускающих решеток, сформированных при фотополимеризации светом с модулированной интенсивностью [15–16]. В этих случаях формирование периодических надмолекулярных структур происходит при конкуренции процессов фотополимеризации, диффузии, фазового разделения полимер-НЖК и стеклования. При формировании же поляризационных решеток исходная композиция освещается светом с постоянной интенсив-

ностью, поэтому не возникает концентрационных градиентов компонентов в темных и светлых полосках интерференционной картины, из-за чего процессы диффузии веществ отсутствуют. Поэтому качество поляризационных решеток определяется процессами фотополимеризации, фазового разделения полимер-НЖК и стеклования. Указанные процессы в значительной степени определяются составом исходной композиции и условиями записи. В настоящее время для поляризационных решеток не существует четких условий оптимизации всех процессов, участвующих в формировании решеток с максимальной дифракционной эффективностью из-за недостатка экспериментальных данных. Связано это с тем, что для каждой отдельной системы существуют свои оптимальные соотношения компонентов и условия экспонирования.

Особая структура НЖК в таких материалах предполагает зависимость дифракционной эффективности поляризационных голографических решеток от поляризации падающего излучения, а также различие в поляризационных состояниях дифрагировавшего и недифрагировавшего излучения, что позволяет контролировать направление распространения оптического излучения и его поляризацию.

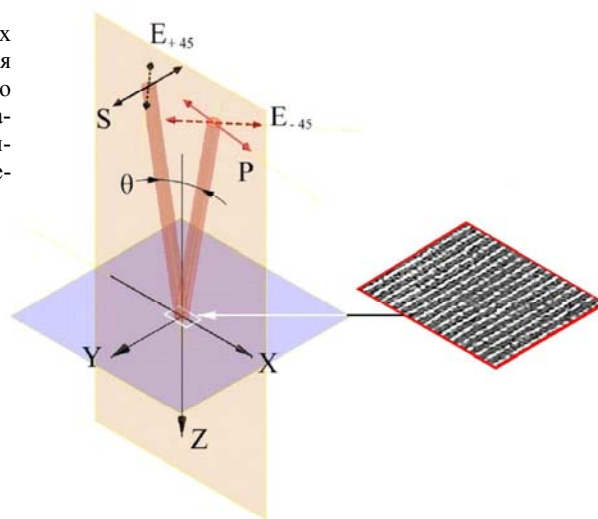
Так как на анизотропные свойства НЖК, входящего в состав предполимерной композиции, влияют температура и внешнее электрическое поле, то вызывают интерес особенности термо- и электрооптического переключений таких поляризационных голографических решеток, которые до настоящего времени не изучены.

Поэтому целью работы было исследование влияния условий формирования поляризационных голографических решеток на их дифракционную эффективность, изучение поляризационной селективности таких решеток и демонстрация возможности использования их в качестве модуляторов излучения, а также изучение особенностей термо- и электрооптического переключений поляризационных голографических решеток, записанных в ЖК-композитах.

### **Материалы и методика эксперимента**

Поляризационные решетки записывались в результате суперпозиции двух плоских

Рис. 1. Геометрия записи поляризационных голографических решеток и соответствующая пространственная модуляция поляризации по оси  $x$ . Фотография поляризационной голографической решетки получена методом поляризационной микроскопии, поляризаторы скрещены



Поляризация волн	$\delta=0$	$\delta=\pi/2$	$\delta=\pi$	$\delta=3\pi/2$	$\delta=2\pi$
$S \updownarrow \leftarrow P$					
$E_{+45} \quad E_{-45}$					

волн равной интенсивности с взаимно ортогональными линейными поляризациями. Волны в одном случае были поляризованы вертикально и горизонтально ( $s$  и  $p$ ), а в другом – под углом  $\pm 45^\circ$  ( $E_{+45}$  и  $E_{-45}$ ) к плоскости падения (рис. 1). При наложении волн с взаимно ортогональными поляризациями в плоскости образца ( $XZ$ ) изменяется лишь состояние поляризации, а модуляция интенсивности отсутствует.

На рис. 2 представлена схема записи поляризационных голографических решеток. Источником излучения служил полупроводниковый лазер с  $\lambda = 658$  нм мощностью 80 мВт. Плотность мощности излучения в плоскости образца составляла 42 мВт/см<sup>2</sup>. Угол схождения интерферирующих световых пучков составлял  $\theta = 1,3-2^\circ$ . Период полученных решеток был равен 19 и 30 мкм, что соответствовало пространственной частоте 53 и 34 мм<sup>-1</sup>.

Исходная предполимерная композиция представляла собой смесь акрилатного мономера, НЖК, связующего компонента и фотоиницирующей системы, включающей краситель с максимальной чувствительностью в видимой области спектра и соинициатор. В качестве мономера использовался

пентаэритритол тетраакрилат ( $n_p = 1,487$ ), а в качестве НЖК – смесь BL087 ( $n_o = 1,527$ ,  $n_e = 1,797$ ,  $\Delta n > 0$ ,  $T_{NI} = 100^\circ\text{C}$ ). N-винилпирролидон в композиции играет роль связующего компонента и растворителя для красителя и соинициатора. Красителем служил метиленовый голубой, обеспечивавший максимальную светочувствительность в диапазоне длин волн 650–680 нм. Концен-

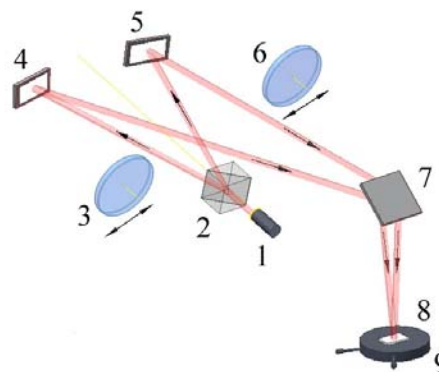


Рис. 2. Схема установки для записи поляризационных голографических решеток: 1 – лазерный диод ML101GR ( $\lambda = 658$  нм); 2 – призма Волластона; 3, 6 – пластинки  $\lambda/2$ ; 4, 5, 7 – зеркала; 8 – образец; 9 – столик-термостат

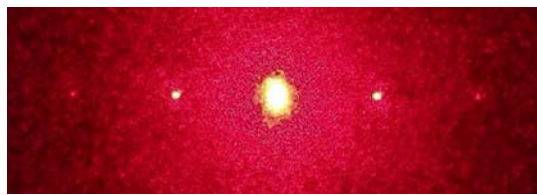


Рис. 3. Дифракционная картина, наблюдаемая на поляризационной решетке

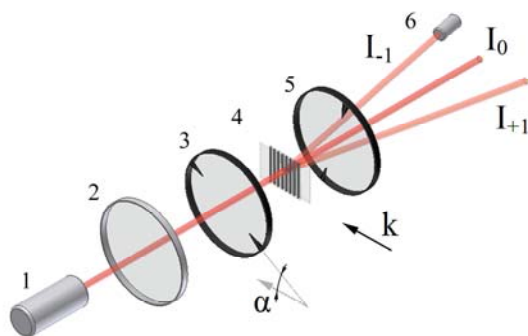


Рис. 4. Схема установки для исследования поляризационной селективности решеток: 1 – полупроводниковый лазер ( $\lambda = 658$  нм); 2 –  $\lambda/4$  пластинка; 3 – поляризатор; 4 – исследуемый образец; 5 – анализатор; 6 – фотоприемник

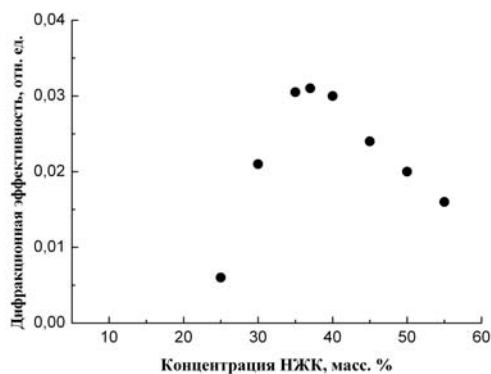


Рис. 5. Зависимость дифракционной эффективности поляризационных голографических решеток от концентрации НЖК в исходной предполимерной композиции. Толщина образца 20 мкм. Пространственная частота решетки  $34 \text{ мм}^{-1}$

трация НЖК в предполимерной композиции была равна 25–55 масс.%; концентрация красителя – 0,3 масс.%. Композиция готовилась в виде гомогенного раствора, который методом полива наносился на одну из стеклянных поверхностей, а затем накрывался

второй. Толщина образцов составляла 10–50 мкм.

При дифракции излучения на сформированных поляризационных голографических решетках мы наблюдали высокие порядки дифракции (рис. 3). Параметр Клейна для них  $Q$ :

$$Q = 2\pi\lambda d / (n\Lambda^2) \leq 1,$$

где  $d$  – толщина образца;  $\Lambda$  – шаг решетки;  $n$  – показатель преломления (т. е. мы имеем дело с плоскими голограммами).

Качество записанных поляризационных голографических решеток оценивалось по их дифракционной эффективности.

Дифракционная эффективность таких решеток для света, дифрагировавшего в  $\pm 1$  порядок, определялась как  $\eta_{\pm 1} = I_{\pm 1} / I_0$ , где  $I_{\pm 1}$  – интенсивность света, дифрагировавшего в первый порядок,  $I_0$  – интенсивность света, падающего на решетку. Схема экспериментальной установки для исследования поляризационной селективности поляризационных решеток представлена на рис. 4. Пробный пучок был линейно поляризован, направление его поляризации составляло угол  $\alpha$  с направлением волнового вектора решетки  $\mathbf{k}$ .

### Экспериментальные результаты

Изменяя состав предполимерной композиции и режим ее засветки, можно регулировать кинетику фотополимеризации и фазового разделения компонентов, и тем самым влиять на надмолекулярную структуру получаемого композита, а следовательно, и на свойства формируемой поляризационной голографической решетки. Наибольшее влияние на морфологию сформированного композита оказывают: а) соотношение НЖК – полимер в исходной предполимерной композиции; б) энергия экспозиции.

Исследование влияния концентрации НЖК в исходной предполимерной композиции на дифракционную эффективность показало, что решетки с лучшей эффективностью формируются в достаточно узком концентрационном интервале НЖК (35–38 %), отклонение от которого приводит к заметному ухудшению их качества (рис. 5).

Исследуемые поляризационные решетки формируются в результате процессов полимеризации, фазового разделения. При небольших концентрациях НЖК (~ 25 %) про-

цесс фазового разделения полимерной и жидкокристаллической фаз находится в начальной стадии, а при концентрациях 45–55 % он почти завершен, что приводит к сильному рассеянию света на многочисленных границах раздела полимер-НЖК и, как следствие, к увеличению шумов рассеяния и уменьшению дифракционной эффективности решетки.

На рис. 6 представлена зависимость дифракционной эффективности поляризационной голографической решетки, сформированной в ЖК-композите, от плотности энергии записи для решетки с пространственной частотой  $34 \text{ мм}^{-1}$ . Видно, что с увеличением энергии записи наблюдается рост дифракционной эффективности до величины  $\sim 3 \%$ , затем рост замедляется и наступает насыщение при  $\eta = 3,5 \%$  (для образца толщиной 20 мкм). Пороговая энергия записи, соответствующая дифракционной эффективности 1 % составляет  $0,65 \text{ Дж/см}^2$ , а полная энергия записи, при которой достигается максимум дифракционной эффективности, равна  $2,5 \text{ Дж/см}^2$ . Толщина образца влияет на эти значения. Чем меньше толщина ЖК-композита, тем меньшая плотность энергии необходима для завершения ориентационных процессов НЖК при заданной плотности мощности излучения.

С возрастанием пространственной частоты записываемой поляризационной решетки (с ростом угла схождения интерферирующих лучей) наблюдается увеличение полной энергии, необходимой для ее формирования, независимо от толщины решетки (рис. 7).

Процесс фазового разделения, при формировании поляризационной решетки, чувствителен к температуре, с ростом которой уменьшается вязкость НЖК и мономера, лучше и быстрее происходит разделение фаз НЖК-полимер, с ростом температуры возрастает и скорость полимеризации. Кроме того, температура влияет на процесс ориентации НЖК в капсулах.

На рис. 8 представлена зависимость дифракционной эффективности поляризационных голографических решеток от температуры формирования в диапазоне от комнатной до температуры перехода НЖК в изотропную жидкость.

Видно, что максимальная дифракционная эффективность достигается при температурах формирования  $35\text{--}45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Видимо, это

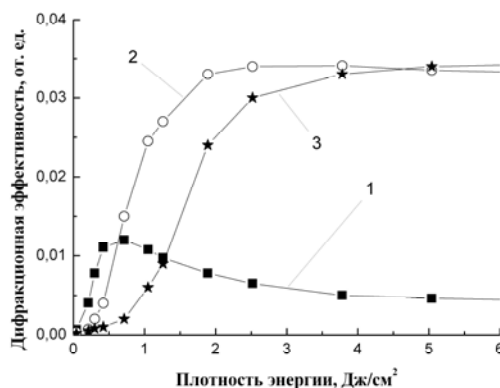


Рис. 6. Зависимость дифракционной эффективности поляризационных голографических решеток от плотности энергии для ЖК-композитов различной толщины: 1 – 10 мкм; 2 – 20 мкм; 3 – 50 мкм. Концентрация НЖК 37 масс.%. Пространственная частота решетки  $34 \text{ мм}^{-1}$

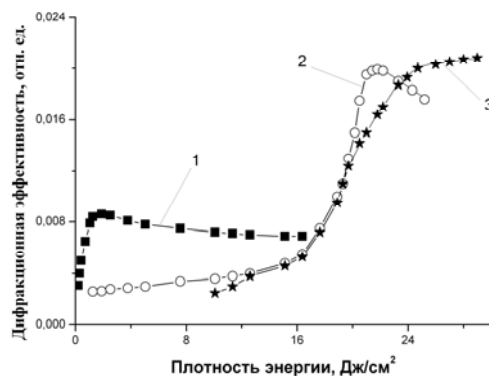


Рис. 7. Зависимость дифракционной эффективности поляризационных голографических решеток от плотности энергии для ЖК-композитов различной толщины: 1 – 10 мкм; 2 – 20 мкм; 3 – 50 мкм. Концентрация НЖК 37 масс.%. Пространственная частота решетки  $53 \text{ мм}^{-1}$

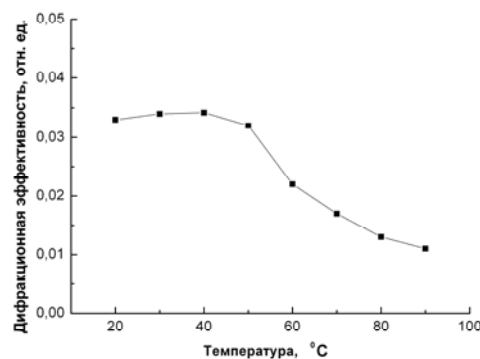


Рис. 8. Зависимость дифракционной эффективности поляризационных решеток от температуры формирования. Толщина образца 20 мкм. Пространственная частота решетки  $34 \text{ мм}^{-1}$

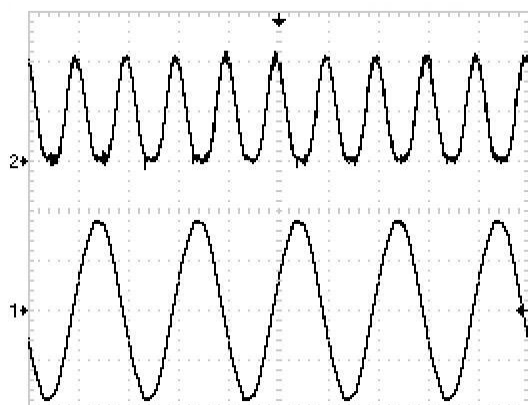


Рис. 9. Оптический отклик поляризационной голографической решетки (2) на переменное напряжение частотой 50 Гц (1)

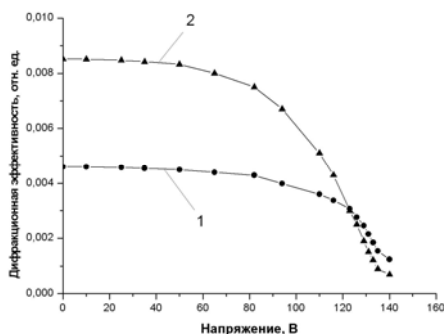


Рис. 10. Зависимость дифракционной эффективности поляризационной голографической решетки от приложенного напряжения: 1 – плотность энергии записи 1,2 Дж/см<sup>2</sup>; 2 – 0,45 Дж/см<sup>2</sup>. Толщина ЖК-композиата 10 мкм. Пространственная частота решетки 53 мм<sup>-1</sup>

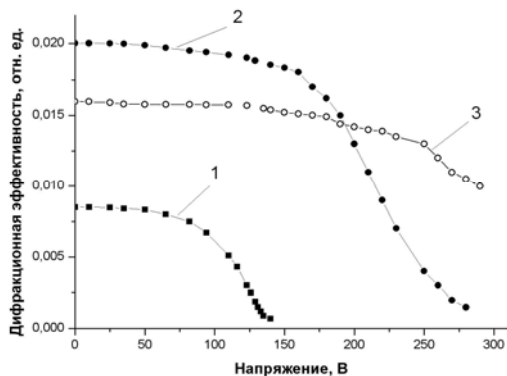


Рис. 11. Зависимость дифракционной эффективности поляризационной голографической решетки от приложенного напряжения для различных толщин ЖК-композиатов: 1 – 10 мкм; 2 – 20 мкм; 3 – 50 мкм. Пространственная частота решетки 53 мм<sup>-1</sup>

тот диапазон температур, при котором гармонично протекают процессы полимеризации, разделения фаз НЖК-полимер и ориентации НЖК под действием результирующего поля. При дальнейшем росте температуры эти процессы начинают конкурировать между собой, и при температурах выше 50 °С дифракционная эффективность заметно снижается.

Чувствительность материала для записи голограмм принято характеризовать параметром [20]

$$g = \eta^{1/2}/W,$$

где  $W$  – плотность энергии записи;  $\eta$  – соответствующая дифракционная эффективность.

Для наших образцов этот параметр колеблется в пределах 0,04–0,15 см<sup>2</sup>/Дж, в зависимости от толщины, что меньше чем у фоторефрактивных материалов (0,2–0,5 см<sup>2</sup>/Дж) [21].

При наложении электрического поля молекулы НЖК ориентируются вдоль поля (так как  $\Delta\epsilon > 0$ ), и для излучения, падающего на поляризационную голографическую решетку, градиент показателя преломления становится очень мал, в результате дифракции излучения на такой решетке не происходит.

На рис. 9 представлен оптический отклик дифрагировавшего на поляризационной голографической решетке излучения на управляющее переменное электрическое поле. Видно, что выполнение для директора в НЖК условия  $\mathbf{n} = -\mathbf{n}$  обеспечивает удвоение частоты управляющего поля по оптическому отклику.

Величина электрического поля, необходимого для переориентации НЖК, зависит от многих факторов: толщины ЖК-композиата, размеров капсул, оптической и диэлектрической анизотропии НЖК [22].

На рис. 10 представлена зависимость дифракционной эффективности поляризационной голографической решетки от приложенного переменного напряжения частотой 50 Гц для разных условий формирования решетки. Видно, что зависимость носит пороговый характер, а наклон кривых обусловлен полидисперсностью образовавшихся в ЖК-композиате капсул НЖК.

Кроме того, видно, что для ЖК-композиатов одной толщины режим формирования поляризационных голографических решеток влияет на величину критического напряе-

ния. Критическое напряжение для решеток, сформированных при более низкой плотности энергии, меньше, чем для решеток, записанных при более высокой плотности энергии. Связано это с влиянием энергии облучения на морфологию ЖК-композита и, в частности, на размеры капсул НЖК, а критическое напряжение обратно пропорционально размеру капсул [22].

Из рис. 11 видно, что значение критического напряжения сильно зависит от толщины ЖК-композита, в котором сформирована поляризационная голографическая решетка. С увеличением толщины увеличивается и критическое напряжение.

Управлять дифрагировавшим излучением можно также, используя температуру, поскольку физические свойства НЖК чувствительны к этому параметру. В связи с этим для поляризационных решеток может наблюдаться термооптическое переключение в состояние, когда решетка «стирается».

На рис. 12 представлена зависимость дифракционной эффективности поляризационных решеток от температуры. Видно, что с ростом температуры дифракционная эффективность снижается, и при  $\sim 80^\circ\text{C}$  дифракционные свойства решетки исчезают, т. е. нематический жидкий кристалл переходит в изотропную жидкость. Температура перехода «НЖК – изотропная жидкость» для исследуемых образцов заметно меньше, чем для чистого НЖК, используемого в исходной композиции, что может быть обусловлено загрязнением НЖК веществами, входящими в предполимерную композицию, прежде всего полимером. При охлаждении решетки ее дифракционные свойства восстанавливаются с небольшим гистерезисом.

Особая структура НЖК, возникающая при записи поляризационных голографических решеток, приводит к зависимости дифракционной эффективности таких решеток от поляризации падающего излучения, а также к различию в состояниях поляризации дифрагировавшего и недифрагировавшего излучения. В обоих случаях – и при записи поляризационной решетки  $s$ - и  $p$ -поляризованными пучками, и при записи пучками, поляризованными под углом  $\pm 45^\circ$  – интенсивности пучков, дифрагировавших в первый порядок  $I_{+1}$  и  $I_{-1}$ , были одинаковы.

На рис. 13 представлена зависимость дифракционной эффективности поляриза-

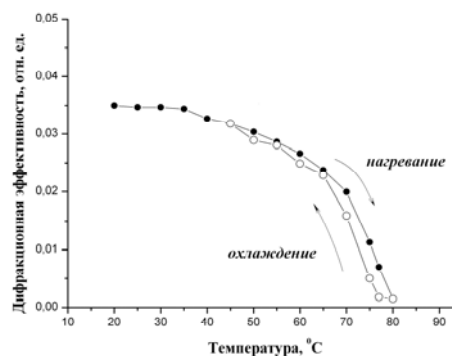


Рис. 12. Зависимость дифракционной эффективности поляризационных решеток от температуры. Толщина образца 20 мкм. Пространственная частота решетки  $34\text{ мм}^{-1}$

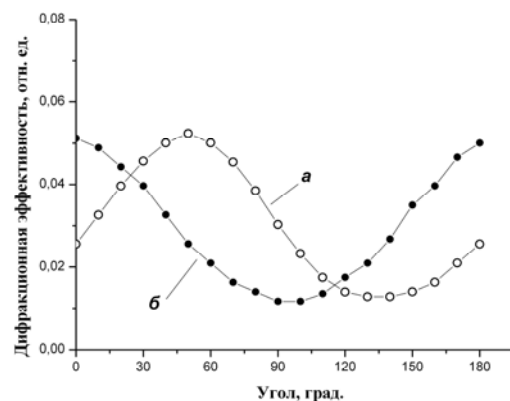


Рис. 13. Зависимость дифракционной эффективности поляризационной голографической решетки от азимутального угла поляризации пробного пучка: *а* – решетка записана  $s$ - и  $p$ -поляризованными пучками; *б* – решетка записана пучками, поляризованными под углом  $\pm 45^\circ$  к плоскости падения. Пространственная частота решетки  $34\text{ мм}^{-1}$

ционной голографической решетки от азимутального угла поляризации пробного пучка *а*. Видно, что записанные решетки обладают поляризационной селективностью, дифракционная эффективность сильно зависит от направления поляризации пробного пучка, падающего на поляризационную решетку. При падении  $s$ - или  $p$ -поляризованного пробного пучка на решетку, сформированную также  $s$ - и  $p$ -поляризованными пучками, недифрагировавший пучок (0-й порядок) имел ту же поляризацию, что и падающий, а пучки, дифрагировавшие в первый порядок имели ортогональную поляризацию, т. е. если падал



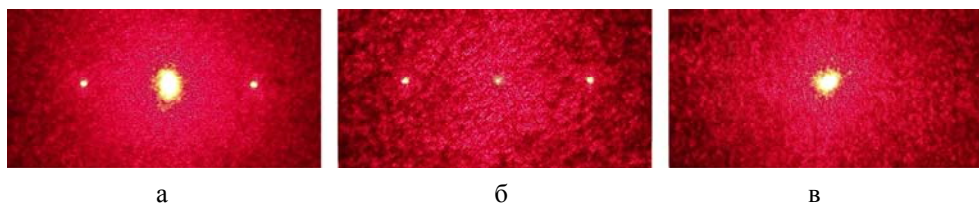


Рис. 14. Фотографии дифракционных картин: *a* – без анализатора; *б* – поляризатор и анализатор скрещены; *в* – поляризатор и анализатор параллельны

пучок с *s*-поляризацией, то пучки, дифрагировавшие в первый порядок, имели *p*-поляризацию, и наоборот. Если на образец падал свет, поляризованный под углом  $\pm 45^\circ$ , то недифрагировавший пучок (0-й порядок), а также пучки, дифрагировавшие в первый порядок, имели одинаковую поляризацию, совпадающую с поляризацией падающего на образец света.

Для решеток, сформированных пучками, поляризованными под углом  $\pm 45^\circ$ , при падении пробного пучка, поляризованного под углом  $+45$  или  $-45^\circ$ , пучки, дифрагировавшие в первый порядок, имели ортогональную поляризацию, т. е.  $-45$  и  $+45^\circ$  соответственно. Недифрагировавший пучок (0-й порядок) имел ту же поляризацию, что и падающий. Если на такую решетку падал *s*- или *p*-поляризованный пробный пучок, то недифрагировавший пучок (0-й порядок), а также пучки, дифрагировавшие в первый порядок, имели одинаковую поляризацию, совпадающую с поляризацией падающего на образец света.

Описанные выше свойства сформированных поляризационных решеток позволяют управлять дифрагировавшим излучением. На рис. 14 представлены фотографии дифракционных картин, полученных при дифракции *s*-поляризованного пробного пучка на решетке, записанной *s*- и *p*-поляризованными пучками. При скрещенных поляризаторе и анализаторе (см. рис. 3) можно погасить недифрагировавший пучок (0-й порядок), а когда они параллельны – пучки, дифрагировавшие в первый порядок.

### Заключение

Таким образом, в результате одноэтапного процесса записи, с использованием метода поляризационной голографии, в ЖК-композициях сформированы высокоструктуриро-

ванные поляризационные голографические решетки, надмолекулярной структурой которых можно управлять. Дифракционная эффективность таких решеток зависит от энергии записи решетки, температуры ее формирования, концентрации НЖК в предполимерной композиции. Экспериментально установлено, что решетки с наибольшей дифракционной эффективностью формируются при температурах  $30\text{--}45^\circ\text{C}$ , при этом концентрация НЖК в предполимерной композиции должна составлять  $35\text{--}38$  масс.%. Пороговая энергия записи, соответствующая дифракционной эффективности  $1\%$ , составляет  $0,65$  Дж/см<sup>2</sup>, а полная энергия записи, при которой достигается максимум дифракционной эффективности, равна  $2,5$  Дж/см<sup>2</sup> (для решетки толщиной  $20$  мкм, с пространственной частотой  $34$  мм<sup>-1</sup>). С возрастанием пространственной частоты записываемой поляризационной решетки увеличивается полная энергия, необходимая для ее формирования, независимо от толщины решетки.

Оптическими свойствами поляризационных голографических решеток можно управлять электрическим полем, при этом обеспечивается удвоение частоты управляющего напряжения по оптическому отклику. Дифракционная эффективность таких решеток и критическое напряжение при этом зависят от толщины ЖК-композиции и плотности энергии записи самой решетки. Увеличение и того и другого параметра приводит к увеличению критического напряжения.

При нагревании решетки до температуры  $\sim 80^\circ\text{C}$  ее дифракционные свойства исчезают. Экспериментально установлено уменьшение температуры перехода «НЖК – изотропная жидкость» для исследуемых образцов по сравнению с чистым НЖК, что может быть обусловлено загрязнением НЖК



веществами, входящими в предполимерную композицию, прежде всего полимером. При охлаждении решетки ее дифракционные свойства восстанавливаются с небольшим гистерезисом.

Дифракционная эффективность поляризационных голографических решеток зависит от азимутального угла поляризации пробного пучка. Экспериментально установлено, что наибольшая дифракционная эффективность соответствует углу  $\alpha = 45^\circ$  для решеток, сформированных *s*- и *p*-поляризованными пучками, и углу  $0^\circ$  в случае пучков, поляризованных под углом  $\pm 45^\circ$ . Продемонстрирована возможность «гашения» дифрагировавших на поляризационной решетке пучков.

Синтезированные поляризационные голографические решетки свободны от ограничений селективности, однако их дифракционная эффективность меньше теоретического предела для плоских голограмм (33–40 %). Эта проблема наряду с уменьшением управляющих напряжений стоит на пути создания недорогих элементов фотоники (например, анализаторов поляризации, переключателей и др.) на основе голографических решеток на ЖК-композитах. Необходимо, на наш взгляд, оптимизировать состав предполимерной композиции, режимы формирования решетки с целью увеличения модуляции показателя преломления и минимизации влияния границ капсул.

### Список литературы

1. Matharu A.S., Jeeva S., Ramanujam P. S. Liquid Crystals for Holographic Optical Data Storage // Chem. Soc. Rev. 2007. Vol. 36. P. 1868–1880.
2. Yu W., Konishi T., Hamomoto T. et al. Polarization-Multiplexed Diffractive Optical Elements Fabricated by Subwavelength Structures // Appl. Opt. 2002. Vol. 41. No. 1. P. 96–100.
3. Ono H., Takahashi F., Emoto A. et al. Polarization Holograms in azo Dye-Doped Polymer Dissolved Liquid Crystal Composites // J. of Appl. Phys. 2005. Vol. 97. P. 053508.
4. Cipparrone G., Mazzulla A., Palto S. P. et al. Permanent Polarization Gratings in Photosensitive Langmuir-Blodgett Films // Appl. Phys. Lett. 2000. Vol. 77. No. 14. P. 2106–2108.
5. Wu Y. L., Natansohn A., Rochon P. Photoinduced Birefringence and Surface Relief Gratings in Novel Polyurethanes with Azobenzene Groups in the Main Chain // Macromolecules. 2001. Vol. 34. P. 7822–7828.
6. Bunning T. J., Natarajan L. V., Tondiglia V. P. et al. Holographic Polymer-Dispersed Liquid Crystals (H-PDLCs) // Annu. Rev. Mater. Sci. 2000. Vol. 30. P. 83–115.
7. Cipparrone G., Mazzulla A., Russo G. Diffraction Gratings in Polymer-Dispersed Liquid Crystals Recorded by Means of Polarization Holographic Technique // Appl. Phys. Lett. 2001. Vol. 78. No. 9. P. 1186–1188.
8. Sturman B. I., Goul'kov M. Yu., Odoulov S. G. Phenomenological Analysis of the Parametric Scattering Processes in Photorefractive Crystals // J. Opt. Soc. Am. B. 1996. Vol. 13. P. 577–583.
9. Emoto A., Matsumoto T., Yamashita A. et al. Large Birefringence and Polarization Holographic Gratings Formed in Photocross-Linkable Polymer Liquid Crystals Comprising Bistolane Mesogenic Side Groups // J. of Appl. Phys. 2009. Vol. 106. P. 073505.
10. Fu Shencheng, Hu Weilin, Xie Minggui et al. Erasure Mechanisms of Polarization Holographic Gratings in Spirooxazine-Doped Polymer Films // Journal of Applied Polymer Science. 2009. Vol. 111. P. 2157–2162.
11. Slussarenko S., Francescangeli O., Simoni F. High Resolution Polarization Gratings in Liquid Crystals // Appl. Phys. Lett. 1997. Vol. 71. P. 3613–3615.
12. Jen-Chun Chao, Wei-Yen Wu, Andy Ying-Guey Fuh Diffraction Characteristics of a Liquid Crystal Polarization Grating Analyzed Using the finite-Difference Time-Domain Method // Optics Express. 2007. Vol. 15. P. 16702–16711.
13. Ono H., Sasaki T., Emoto A. et al. Polarization Gratings in Twisted-Nematic Liquid Crystal Composites Doped with Azobenzene Dye // Optics Letters. 2005. Vol. 30. No. 15. P. 1950–1952.
14. Ono H., Nakamura M., Emoto A. et al. Diffraction Properties in Polarization Holography Written by Elliptical Polarized Light // Jap. J. of Appl. Phys. 2010. Vol. 49. P. 032502.
15. Cipparrone G., Pagliusi P., Provenzano C. et al. Polarization Holographic Recording in Amorphous Polymer with Photoinduced Linear and Circular Birefringence // J. Phys. Chem. B. 2010. Vol. 114. P. 8900–8904.

16. *Mazzulla A., Pagliusi P., Provenzano C. et al.* Surface Relief Gratings on Polymer Dispersed Liquid Crystals by Polarization Holography // *Appl. Phys. Lett.* 2004. Vol. 85. No. 13. P. 2505–2507.

17. *Жаркова Г. М., Петров А. П., Стрельцов С. А. и др.* Влияние надмолекулярной структуры жидкокристаллических композитов на их оптические свойства // *Жидкие кристаллы и их практическое использование.* 2007. Вып. 3. С. 45–58.

18. *Beev K., Criante L., Lucchetta D. et al.* Total Internal Reflection Holographic Gratings Recorded in Polymer-Dispersed Liquid Crystals // *Opt. Comm.* 2006. Vol. 260. P. 192–195.

19. *Cipparrone G., Mazzulla A., Russo G.* Diffraction from Holographic Gratings in Po-

lymer-Dispersed Liquid Crystals Recorded by Means of Polarization Light Patterns // *J. Opt. Soc. Am. B.* 2001. Vol. 18. P.1821–1826.

20. *Ducharme S., Scott J. C., Twieg R. J. et al.* Observation of the Photorefractive Effect in a Polymer // *Phys. Rev. Lett.* 1991. Vol. 66. P. 1846–1849.

21. *Eich M., Wendorff J. H.* Laser-Induced Gratings and Spectroscopy in Monodomains of Liquid-Crystalline Polymers // *J. Opt. Soc. Am. B.* 1990. Vol. 7. P. 1428–1436.

22. *Жаркова Г. М., Сонин А. С.* Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: Наука, 1994. 214 с.

*Материал поступил в редколлегию 21.12.2011*

**G. M. Zharkova, A. P. Petrov, S. A. Streltsov, V. M. Khachatryan**

#### **POLARIZATION HOLOGRAPHIC GRATINGS ON POLYMER DISPersed LIQUID CRYSTALS**

The formation of switchable polarization gratings and their properties are presented. The grating structures are created in polymer-liquid crystal composite by recording the interference pattern generated by two coherent laser beams with orthogonal polarization. The influence of the regime of formation, composition of composite and the azimuthal angle of the polarization of probe beam on the diffraction effectiveness of such grating are investigated. Electro-optical effects are studied, the possibility of the thermal-optical switching of grating are demonstrated.

*Keywords:* liquid crystals, liquid crystal composites, polarization holography.