

УДК [535:530.182]:532.783

ОРИЕНТИРУЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕТА НА ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОЛИМЕР С ДОБАВКОЙ КРАСИТЕЛЯ

И. А. Будаговский¹, А. С. Золотко¹, М. П. Смаев¹, С. А. Швецов^{1,2},
А. Ю. Бобровский³

Обнаружена и исследована светоиндуцированная переориентация директора жидкокристаллического полимера, допированного красителем. Директор поворачивается от направления светового поля, что соответствует отрицательной оптической нелинейности. Коэффициент нелинейности в несколько раз превышает соответствующую величину для низкомолекулярного жидкого кристалла, допированного тем же красителем.

Ключевые слова: жидкокристаллический полимер, оптическая ориентация, оптическая нелинейность, азобензольный краситель.

Введение. Для нематических жидких кристаллов (НЖК) хорошо известны эффекты светоиндуцированного поворота директора [1]. В прозрачных НЖК поворот происходит в результате воздействия светового электрического поля на индуцированные диполи. В поглощающих НЖК (нематическая матрица с добавкой красителя) ориентационное воздействие света связано с изменением взаимодействия с нематической матрицей возбужденных молекул красителя, распределение которых определяется направлением светового поля и несимметрично относительно директора НЖК [2–4].

Ранее исследования ориентационного взаимодействия света с НЖК ограничивались, насколько нам известно, случаем низкомолекулярных нематических матриц. В полимерных нематических жидких кристаллах переориентация директора наблюдалась только под действием низкочастотного электрического и магнитного полей [5–7].

¹ ФИАН, 119991, Москва, Ленинский пр., 53; e-mail: zolotko@lebedev.ru.

² Московский физико-технический институт, 141700, Московская область, Долгопрудный, Институтский пер., 9.

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, 1.

1 (LCS-DTL-364, Laser Export) с длиной волны $\lambda = 473$ нм проходил через двойной ромб Френеля 2, фокусировался ($w_0 = 43$ мкм) с помощью линзы 3 на образец 4, помещенный между нагревательными пластинами 5. Температура измерялась при помощи термопары. Исследовался случай наклонного падения ($\alpha = 40^\circ$). Вектор поляризации и невозмущенный директор находились в плоскости падения (горизонтальная плоскость); при этом в ЖКП возбуждалась необыкновенная волна. Поляризация света, прошедшего через образец, определялась с помощью анализатора 6. Аберрационная картина в виде системы концентрических колец наблюдалась на экране 7, расположенном за образцом. Число колец N определяется нелинейным набегом фазы на оси пучка [9] и связано со светоиндуцированным показателем преломления соотношением

$$|\Delta n| = \frac{N\lambda \cos \beta}{L},$$

где β – угол преломления света в ЖКП.

Результаты эксперимента. Измерения проводились в температурном диапазоне 90–110 °С. При прохождении светового пучка мощностью $P \sim 0.5$ мВт через образец на экране возникала система аберрационных колец; поляризация света не изменялась. При добавлении зондирующей обыкновенной волны, т.е. небольшом повороте плоскости поляризации от горизонтали, и вертикальном положении анализатора аберрационная картина не наблюдалась. Это свидетельствует о том, что показатель преломления обыкновенной волны не изменился и исключает тепловой механизм нелинейности. Следовательно, наблюдаемая нелинейность ЖКП обусловлена переориентацией директора в плоскости падения светового пучка.

Трансформация аберрационной картины при сдвиге кристалла относительно светового пучка позволяет определить знак оптической нелинейности [8]. В нашем случае при сдвиге ЖКП вверх исчезала верхняя часть аберрационной картины, что свидетельствует об отрицательной нелинейности, то есть об уменьшении показателя преломления необыкновенной волны при повороте директора от светового поля.

На рис. 2 представлены временные зависимости светоиндуцированного показателя преломления при освещении образца световым пучком необыкновенной поляризации для различных значений температуры образца. Видно, что при увеличении температуры происходит значительное уменьшение времени установления стационарного состояния. Этот эффект связан с уменьшением вязкости полимера.

При постоянной температуре $T = 110$ °С и увеличении мощности светового пучка (рис. 3) возрастает значение стационарного светоиндуцированного показателя преломления ЖКП. Время переориентации при этом уменьшается.

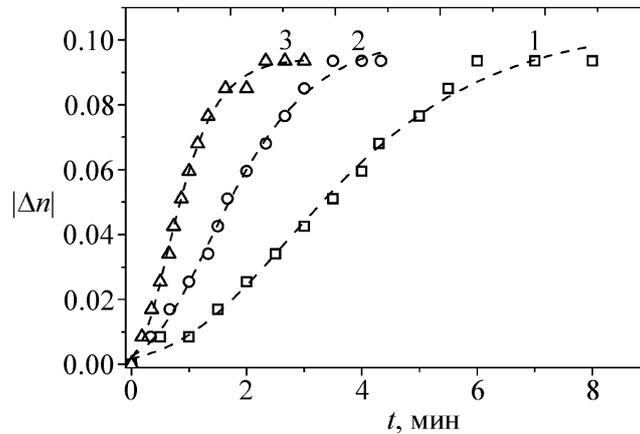


Рис. 2: Зависимость модуля светоиндуцированного показателя преломления $|\Delta n|$ от времени при наклонном падении светового пучка мощностью $P = 0.45$ мВт на планарно ориентированный полимер РАА+0.05% КД-1 для различных значений температуры: $T = (1) 90$ °С, $(2) 100$ °С, $(3) 110$ °С.

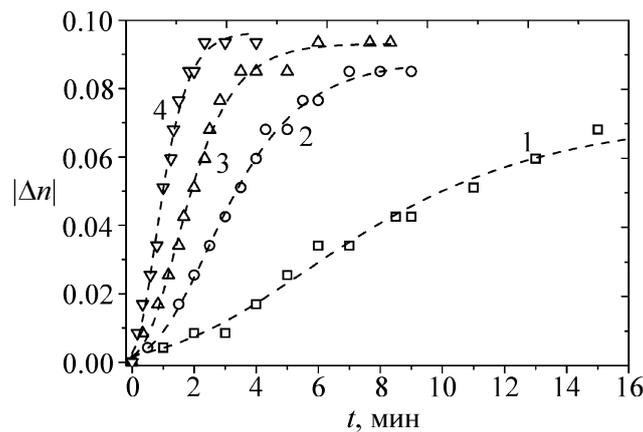


Рис. 3: Зависимость модуля светоиндуцированного показателя преломления $|\Delta n|$ от времени при наклонном падении светового пучка на планарно ориентированный полимер РАА+0.05% КД-1 при температуре $T = 110$ °С для различных значений мощности: $P = (1) 0.15$, $(2) 0.23$, $(3) 0.30$, $(4) 0.45$ мВт.

Переориентация директора ЖКП обратима. При прекращении облучения наблюдается экспоненциальная релаксация $|\Delta n(t)| = |\Delta n(0)| \exp(-t/t_0)$. Её характерное время при 110 °С составляло $t_0 = 14$ мин (рис. 4). Наличие релаксации указывает на то, что наблюдаемая переориентация директора ЖКП носит объемный характер и не связана с эффектом фотоориентации на подложках ячейки [10]. Время релаксации t_0 сравни-

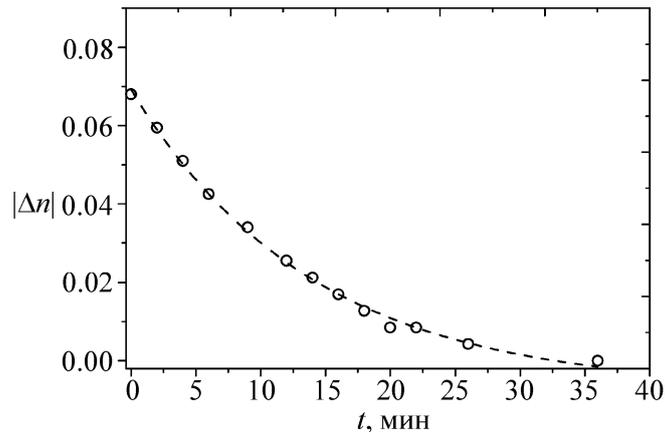


Рис. 4: Релаксация модуля светоиндуцированного показателя преломления $|\Delta n|$ для планарно ориентированного полимера РАА+0.05% КД-1 при температуре $T = 110$ °С.

мо со временем релаксации после переориентации директора ЖКП низкочастотным электрическим полем.

Приведенные выше экспериментальные результаты позволяют заключить, что в исследуемом образце имеет место светоиндуцированная переориентация директора, обусловленная изменением межмолекулярных сил при селективном возбуждении молекул красителя [2–4]. Поворот директора происходит от направления светового поля, приводя к уменьшению показателя преломления.

Величина оптического вращающего момента зависит от поляризации светового пучка, что проявляется в ускорении светоиндуцированной переориентации при добавлении обыкновенной волны. В эксперименте, проведенном при нормальном падении светового пучка на образец, при мощности необыкновенной волны $P = 0.38$ мВт и температуре $T = 110$ °С добавление обыкновенной волны той же мощности приводило к уменьшению времени переориентации в 4 раза. Зависимость величины оптического вращающего момента от поляризации светового пучка является типичной для ЖК с добавками азобензольных соединений [11–14]. Этот эффект связан с изменением соотношения концентраций цис- и транс-изомеров азобензольной добавки при изменении геометрии взаимодействия светового поля и директора нематика.

Характерное значение коэффициента нелинейности для исследуемого образца при $T = 110$ °С и $P = 0.15$ мВт составляет $n_2 = |\Delta n|/I = 1.2 \cdot 10^{-2}$ см²/Вт, где $I = 2P/\pi w_0^2$ – интенсивность на оси светового пучка. Для низкомолекулярного нематического жидкого кристалла с добавкой КД-1 [11] коэффициент нелинейности со-

ставляет $n_2 = 1.8 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{Вт}$ (при этом, в отличие от полимера, нелинейность положительна). Так как исследуемый эффект зависит от концентрации поглощающей добавки, более удобной величиной для сравнения является отношение n_2/α_{av} , где $\alpha_{av} = (\alpha_e + 2\alpha_o)/3$ – усредненный по ориентации коэффициент поглощения. Эта величина равна $1.4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{Вт}$ и $1.6 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3/\text{Вт}$ для систем ЖКП+KD-1 и НЖК+KD-1, соответственно. Краситель, находясь в более вязкой среде, приводит к существенному возрастанию нелинейно-оптического отклика. Увеличение нелинейности может быть обусловлено уменьшением коэффициента вращательной диффузии поглощающей добавки [2- 4]. Отметим, что значение n_2/α_{av} для системы ЖКП+KD-1 сравнимо с максимальным значением, полученным для системы НЖК+краситель [13].

Таким образом, в данной работе впервые наблюдалась светоиндуцированная переориентация директора жидкокристаллического полимера. Показано, что исследованная переориентация ЖКП связана с изменением межмолекулярных сил и приводит к большим значениям нелинейности.

Авторы благодарны В.Н. Очкину и В.П. Шibaеву за полезные обсуждения, а также А.В. Рябчуну за синтез РАА. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 14-02-00791, 13-03-00648, 13-03-12071 и 13-03-12456) и УНК ФИАН.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] I. C. Khoo, Phys. Rep. **471**, 221 (2009).
- [2] I. Janossy, L. Csillag and A. D. Lloyd, Phys. Rev. A **44**, 8410 (1991).
- [3] L. Marrucci and D. Paparo, Phys. Rev. E **56**, 1765 (1997).
- [4] А. С. Золотько, Письма в ЖЭТФ **68**, 410 (1998).
- [5] С. В. Беляев, Т. И. Зверкова, Ю. П. Панарин и др., Высокомолекулярные соединения, серия Б **28**, 789 (1986).
- [6] Е. Б. Барматов, Д. Б. Строганов, Р. В. Тальрозе и др., Высокомолекулярные соединения, Серия А **35**, 162 (1993).
- [7] P. Holstein, M. Bender, M. Winkler, et al., Polym. Adv. Technol. **9**, 659 (1998).
- [8] A. S. Zolot'ko, I. A. Budagovsky, V. N. Ochkin, et al., Mol. Cryst. Liq. Cryst., **488**, 265 (2008).
- [9] А. С. Золотько, В. Ф. Китаева, Н. Н. Соболев, А. П. Сухоруков, ЖЭТФ **81**, 933 (1981).

- [10] O. Yaroshchuk and Y. Reznikov, *J. Mater. Chem.* **22**, 286 (2012).
- [11] М. И. Барник, А. С. Золотько, В. Г. Румянцев, Д. Б. Тресков, *Кристаллография* **40**, 746 (1995).
- [12] E. Benkler, I. Janossy and M. Kreuzer, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **375**, 701 (2002).
- [13] И. А. Будаговский, А. С. Золотько, В. Н. Очкин и др., *ЖЭТФ* **133**, 204 (2008).
- [14] А. С. Золотько, М. П. Смаев, С. А. Швецов и др., *Квантовая электроника* **42**, 327 (2012).

Поступила в редакцию 24 декабря 2014 г.