

07;12

Оптическое ограничение лазерного излучения в диспергированных жидкокристаллических структурах с фуллеренами

© Н.В. Каманина, Л.Н. Капорский

Всероссийский научный центр "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", С.-Петербург

Поступило в Редакцию 16 октября 1998 г.

На уровне лабораторных исследований изучено проявление эффекта обратного насыщения полостями (оптического ограничения) в жидкокристаллических композитах на основе полиимидов и поливинилового спирта при введении фуллеренов. Установлено десятикратное ослабление лазерного излучения в исследованных структурах. Проведено сравнение экспериментальных данных со значениями пропускания аналогичных систем без фуллереновой добавки.

Введение

Перспективность исследования и дальнейшего использования тонких пленок диспергированных в полимерную основу капель жидкого кристалла¹ в настоящее время бесспорна. Это определяется, во-первых, тем обстоятельством, что подобные системы сохраняют ряд свойств полимерной матрицы, в частности пленкообразующую способность и высокую механическую прочность, и во-вторых, сочетают в себе уникальные электрооптические свойства жидкокристаллической мезофазы. Данные системы позволяют работать без поляризационных устройств, что существенно увеличивает яркость дисплеев [1], имеют более высокие времена переключения [2], в них отсутствуют особые требования к ориентирующим поверхностям [1,3], легко решаются проблемы порога и гистерезиса [4].

¹ В дальнейшем жидкокристаллический композит либо полимер — диспергированный жидкий кристалл (Polymer Dispersed Liquid Crystal, PDLC).

Механизм действия ячеек на основе PDLС состоит в следующем [4]. Подбирается жидкий кристалл, в данном случае нематик, показатель преломления которого для обыкновенного луча n_0 близок к показателю преломления полимерной матрицы n_p . В исходном состоянии вследствие произвольной ориентации директора жидкого кристалла на границе раздела капля ЖК–полимер существует градиент показателя преломления, что вызывает сильное рассеяние света таким композитом. При приложении электрического или светового воздействия для света, распространяющегося нормально к поверхности ячейки $n_0 \simeq n_p$, градиенты показателя преломления очень малы, директор жидкого кристалла ориентируется по полю либо по направлению электрического вектора световой волны, рассеяния не происходит, система просветляется. Равенству показателей преломления способствует и тот факт, что при интенсивном световом или электрическом воздействии происходит частичный нагрев жидкого кристалла [5]. При снятии электрического или светового воздействия композит возвращается в исходное, рассеивающее состояние.

В последнее время для эффективного управления пропусканием жидкокристаллических [6], полимерных [7–9] систем используется дополнительное введение фуллереновых кластеров, что позволяет не только регулировать пороги лазерного воздействия, но и существенно ослаблять лазерное излучение. Кроме того, системы с фуллеренами используются для записи голограмм [8], удвоения, утроения частоты [10], в качестве лазерных затворов [11].

Целью данной работы было исследование эффекта оптического ограничения в светууправляемых диспергированных жидкокристаллических структурах с фуллеренами.

Эксперимент

Исходная диспергированная смесь готовилась при тщательном перемешивании и нематика в соотношении 3 : 2 до получения однородной эмульсии. Мелкодисперсный порошок фуллерена (смесь C_{60} и C_{70}) либо добавлялся в исходный жидкий кристалл, либо вводился в тетрахлорэтан при приготовлении раствора полиимида. Полученную эмульсию поливали на подложку с калиброванными спейсерами и давали подсохнуть для удаления растворителя. Толщина образцов была $\sim 10 \mu\text{m}$. Размер капель нематика в полимерной матрице составлял 2–3 μm . В качестве

нематика были использованы ЖК999, ЖК1289 и E7(BDH). В качестве полимерной основы применялись составы: 3 и 6.5%-ные растворы полиимида 6В в тетрахлорэтаноле и 10%-ный водный раствор поливинилового спирта.

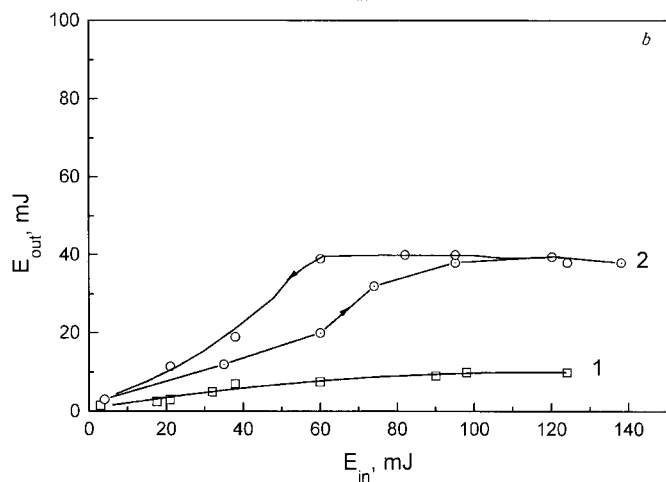
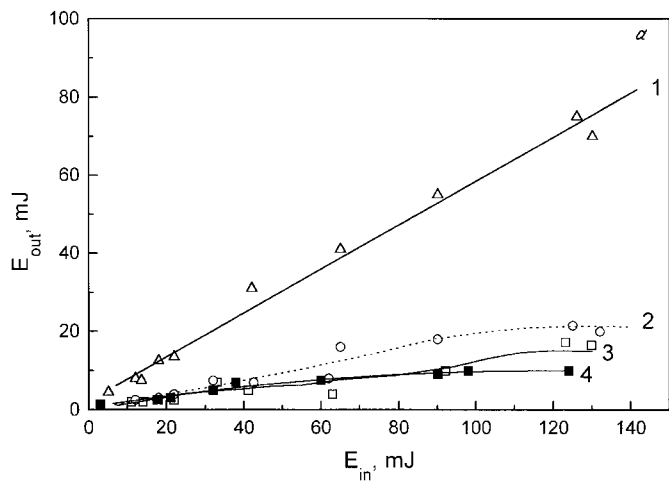
Для исследования оптического ограничения лазерного излучения использовали вторую гармонику импульсного неодимового лазера ($\lambda = 532 \text{ nm}$). Диаметр пятна излучения на образце составлял $\sim 3 \text{ mm}$. Интенсивность излучения варьировалась калиброванными светофильтрами. В нашем эксперименте безразмерный параметр k^*R , где $k^* = 2\pi n_p / \lambda$, а R — радиус капле, находился в диапазоне 96–104, т.е. $k^*R \gg 1$, и по классификации, представленной в [4], реализуется режим аномальной дифракции для ”оптически мягких” капле.

Результаты и обсуждение

Основные результаты экспериментов представлены на рисунке, *a* и *b*.

Установлено, что под воздействием лазерного излучения миллиджоульного диапазона происходит ослабление лазерного излучения, по крайней мере, в 10–15 раз для всех образцов с фуллеренами.

В общем случае принцип оптического ограничения для сред с фуллеренами связан с тем, что при поглощении молекулой C_{60} или C_{70} кванта света с $\lambda = 532 \text{ nm}$ образуется молекула в триплетном состоянии с сечением поглощения бóльшим, чем сечение поглощения для невозбужденной молекулы [12,13]. Поглощение увеличивается с ростом интенсивности лазерного излучения из-за увеличения заселенности возбужденных состояний. При этом в нашем эксперименте длительность импульса воздействия $\tau_p \sim 15 \text{ ns}$, а время синглет-триплетного взаимодействия составляет $\sim 1.2 \text{ ns}$ [11]. Тогда $\tau_p > \tau_{S_1 \rightarrow T_1}$ и накопителем возбужденных состояний является триплетное состояние. При этом эффект обратного насыщения поглощения, а следовательно и принцип оптического ограничения лазерного излучения, осуществляется по каналу $T_1 \rightarrow T_n$. Процесс заселения, насыщения и разрушения уровней, участвующих в оптическом ограничении излучения, хорошо описывается шестиуровневой схемой и детально проанализирован в работах [10–12]. В наших экспериментах мы регистрировали увеличение поглощения с увеличением интенсивности засветки, дальнейшее насыщение и ограничение для всех фуллеренсодержащих образцов.



Зависимость энергии излучения на выходе образцов (E_{out}) от значений энергии излучения на входе (E_{in}): *a*: 1 — структура на основе 3%-ного полиимида 6В и ЖК999 без фуллерена; 2 — фуллеренсодержащая структура на основе 6.5%-ного полиимида 6В и ЖК999; 3 — фуллеренсодержащая структура на основе 3%-ного полиимида 6В и ЖК999; 4 — фуллеренсодержащая структура на основе ПВС и ЖК E7; *b*: 1 — фуллеренсодержащая структура на основе ПВС и ЖК E7; 2 — структура на основе ПВС и ЖК E7 без фуллерена (стрелками показан прямой и обратный ход кривой).

Обратим внимание на проявление особенностей диспергированных систем в эффекте оптического ограничения. Как видно из рисунка, *a*, ход кривых 2 и 3 несколько отличен друг от друга. При одинаковом соотношении нематика и полимера и одинаковом количестве вводимой фуллереновой добавки насыщение для PDLC с 6.5%-ным раствором полиимида наступает при больших интенсивностях засветки, чем для 3%-ной полиимидной основы. В первом случае это соответствует плотности мощности излучения $\sim 0.7-0.8 \text{ J/cm}^2$, а во втором — около 0.4 J/cm^2 . Казалось бы, что оптически более плотная среда должна иметь меньший уровень насыщения, а не наоборот, как регистрируется в эксперименте. По-видимому, данное несоответствие можно объяснить эффектом ориентирования ЖК-диполей вдоль стенок полимер-ЖК; это влияние стенок сохраняется дольше при увеличении интенсивности засветки в случае 6.5%-ного полиимида, чем 3%-ного. Возможно также, что для разной концентрации полимера существует свое эффективное соотношение n_0/n_p , вызывающее существование различной рассеивающей компоненты даже при нормальном падении света на образец.

Кривой 4 соответствует проявление оптического ограничения для фуллеренсодержащего PDLC на основе поливинилового спирта. Стоит сказать, что здесь ход зависимостей $E_{out} = f(E_{in})$ практически совпадает для систем с ЖК1289 и с E7. Ограничение выходной мощности составляет $\sim 12-15$ раз для ЖК1289 и E7 соответственно, что определяется более точным согласованием n_0 и n_p для E7 ($n_0 = 1.525$ [14]) и ПВС ($n_p = 1.54$) по сравнению с ЖК1289 ($n_0 = 1.50$ [2]).

Изучая оптическое ограничение в фуллеренсодержащих диспергированных системах, мы провели исследование аналогичных структур без фуллеренов, чтобы разграничить обычное просветление ЖК-композигов под действием интенсивного лазерного облучения от эффекта обратного насыщения поглощения. Результаты сравнительных экспериментов представлены на рисунке, *b*. Как видно, в отсутствие фуллеренов для образца E7 с поливиниловым спиртом уровень пропускания соответствует 38–40% (кривая 2), что уменьшает прошедшее излучение в 1.7–2.5 раза для разных уровней засветки и никак не уменьшает его на порядок, как показано на рисунке, *b*, кривая 1. Кроме того, в эксперименте мы зарегистрировали гистерезис на кривой пропускания 2, что не противоречит существованию долговременной памяти нематиков в ЖК-композитах [4], проявляемой после уменьшения светового воздействия.

Заметим, что в случае эффекта оптического ограничения петель гистерезиса мы не обнаружили ни для одного из исследуемых образцов. Однако, учитывая влияние стенок ЖК–полимер на переориентацию нематика в каплях, категорически отрицать проявление гистерезиса в фуллеренсодержащих PDLC не стоит. Возможно, гистерезис может быть обнаружен в более узком интервале интенсивностей засветки, чем предложен в нашем эксперименте.

Заключение

Проведенные исследования определяют перспективность использования фуллеренсодержащих диспергированных жидкокристаллических систем в качестве лазерных затворов, ограничивающих мощность лазерного излучения в диапазоне $\leq 0.4 \text{ J/cm}^2$. Заметим, что данный диапазон может быть расширен в ту и другую сторону при дополнительном электрическом управлении подобных систем, которое даже при учете ослабляющих неоднородностей на границе капли нематика–полимер приводит к пороговой переориентации директора жидкого кристалла в электрическом поле за счет перехода Фредерикса.

Авторы благодарят Н.А. Василенко (НИФХИ им. Л.Я. Карпова, Москва) и О.Д. Лаврентовича (Kent State University, USA) за помощь в работе.

Работа выполнена при частичной поддержке подпрограммы "Опто-электронные и лазерные технологии".

Список литературы

- [1] Shimada E., Uchida T. // Jap. J. Appl. Phys. Part 2. (1992). V. 31. L352–L354.
- [2] Василенко Н.А., Грознов М.А., Мокшин В.М., Мыльников В.С., Тополь С.С., Трухтанов В.В., Швец В.В., Сомс Л.Н. // ЖТФ. 1991. Т. 61 (4). С. 80–86.
- [3] Yamaguchi R., Sato S. // Jap. J. Appl. Part 2. 1992. V. 31 (3A). L254–L256.
- [4] Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: ВО "Наука", 1994. 214 с.
- [5] Simoni F., Cipparrone G., Umeton C., Arabia G., Chidichimo G. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54 (10). P. 896–897.

- [6] Данилов В.В., Калинцев А.Г., Каманина Н.В., Тульский С.А. Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24 (9). С. 66–69.
- [7] Kost A., Tutt L., Klein M.B., Dougherty T.K., Elias W.E. // Opt. Lett. 1993. V. 18 (5). P. 334–336.
- [8] Белоусов В.П., Белоусова И.М., Беспалов В.Г., Будтов В.П., Волынкин В.М., Григорьев В.А., Данилов О.Б., Жевлаков А.П., Калинцев А.Г., Пономарев А.Н., Тульский С.А., Ютанова Е.Ю. // Опт. журнал. 1997. Т. 64 (9). С. 82–84.
- [9] Kamaniina N.V., Kaporskii L.N., Kotov B.V. // Opt. Commun. 1998. V. 152 (4–6). P. 280–282.
- [10] Hoshi H., Nakamura N., Maruyama Y., Nakagawa T., Suzuki S., Shiromaru H., Achiba Y. // Jap. J. Appl. Phys. Part 2. 1991. V. 30 (8A). L1397–L1398.
- [11] Белоусов В.П., Белоусова И.М., Будтов В.П., Данилов В.В., Данилов О.Б., Калинцев А.Г., Мак А.А. // Опт. журнал. 1997. Т. 64 (12). С. 3–37.
- [12] Couris S., Koudoumas E., Ruth A.A., Leach S. // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 1995. V. 28. P. 4537–4554.
- [13] Елецкий А.В., Смирнов Б.М. // УФН. 1993. Т. 163 (2). С. 33–60.
- [14] Simoni F., Gipparrone G., Umeton C. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57 (19). P. 1949–1951.