ПИСЬМА

PACS 33.80.–b; 78.66.–w; 42.65.Re

Фотоориентация молекул азокрасителя в тонкой твердотельной пленке при нелинейном возбуждении фемтосекундными лазерными импульсами

Янгсок Джанг, В.М.Козенков, С.А.Магницкий, Н.М.Нагорский

Впервые зарегистрирована ориентация молекул в аморфной пленке из чистого азокрасителя при нелинейном возбуждении. Одновременное увеличение и уменьшение пропускания пленки в 2.5 раза для ортогональных поляризаций зондирующего излучения свидетельствует о возникновении ориентационного порядка в пленке, обусловленного переориентацией молекул азокрасителя. Благодаря высокой фотостабильности красителя AD-1, продемонстрированной в однофотонных экспериментах, и высокой эффективности нелинейной ориентации, полученной в экспериментах с фемтосекундными импульсами, он может широко применяться в трехмерных устройствах нанофотоники, таких как фотонные кристаллы, оптические компьютеры, устройства оптической памяти.

Ключевые слова*: нанофотоника, азокраситель, нелинейное поглощение, фемтосекундные импульсы, фотоориентация.*

С точки зрения применений в устройствах нанофотоники интересным является класс азокрасителей, обладающих сильной фотоиндуцированной оптической анизотропией. Этот эффект может быть вызван как селективным фотохимичеким изменением молекул (эффект Вейгерта [1]), так и возникновением в среде ориентационного порядка за счет переориентации молекул [2]. Последний эффект представляет наибольший интерес для приложений, т. к. позволяет достичь максимальной оптической анизотропии.

В то время как эффекты ориентации молекул азокрасителей при однофотонном возбуждении продолжают детально обсуждаться в литературе [3], ориентация при нелинейном возбуждении является в настоящее время малоизученной областью (см., напр., [4, 5]). Насколько нам известно, в литературе отсутствует надежное экспериментальное свидетельство реализации фотоиндуцированной оптической анизотропии при нелинейном возбуждении, связанной с переориентацией молекул.

Цель настоящей работы – реализация высокоэффективного ориентационного упорядочения молекул азокрасителя AD-1 в тонких аморфных пленках с предельной концентрацией красителя при нелинейном возбуждении.

Для реализации эффективного ориентационного упорядочения молекул в пленке субмикронной толщины при нелинейно-оптическом возбуждении мы выбрали азокраситель AD-1 (4,4′-бис-(4-N,N-ди(n-бутил)аминофенилазо)бифенил). Спектр поглощения азокрасителя AD-1 в бензоле приведен на рис.1.

До настоящего времени данный краситель успешно применялся для изготовления фотоориентируемых пленочных поляризаторов и в качестве фотоориентанта лиотропных жидких кристаллов [6], где была достигнута почти предельная для подобных систем степень ориентационного упорядочения молекул с параметром порядка 0.86. В отличие от большинства красителей AD-1 имеет две азогруппы, что указывает на его потенциальную долговременную фотостабильность [7]. Наши исследования подтвердили, что это действительно имеет место. Так, пленки, изготовленные из данного азокрасителя, сохраняли свои характеристики в неупорядоченном состоянии при комнатной температуре и естественном освещении более 20 лет. Что касается высокоупорядоченного состояния, то наши наблюдения показали, что оно сохраняется в течение более 15 лет.

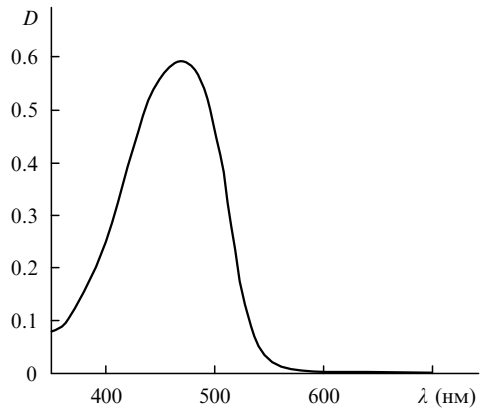

Рис.1. Спектр поглощения азокрасителя AD-1 в бензоле (D – оптическая плотность).

Образцы пленок изготавливались путем растворения красителя в дихлорэтане с последующим центрифугированием (3000 об/мин, 30 с) раствора на чистые стеклянные подложки и сушкой на воздухе при температуре 100 °C в течение 30 мин. Толщина пленки в исследуемой области составила 210 нм, оптическая плотность – примерно 0.6.

Янгсок Джанг, В.М.Козенков, С.А.Магницкий, Н.М.Нагорский. Международный учебно-научный лазерный центр МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы;
e-mail: magn@mem3.phys.msu.ru

Поступило в редакцию 28 сентября 2006 г.

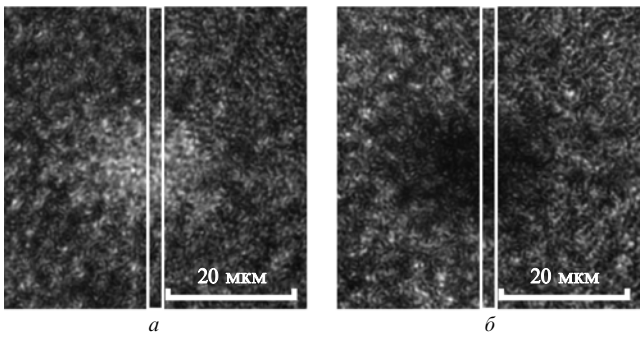

Рис.2. Фотографии поверхности образца, полученные после воздействия фемтосекундного излучения накачки при параллельных (*а*) и ортогональных (*б*) поляризациях накачки и зондирующего излучения.

Для активации использовалось линейно поляризованное непрерывное или фемтосекундное (длительность импульсов $\sim$60 фс, энергия $\sim$0.6 нДж, частота повторения 80 МГц) излучение титан-сапфирового лазера с длиной волны 800 нм, сфокусированное на пленку в пятно диаметром около 15 мкм. Для зондирования применялись светодиодные матрицы (длина волны 450 – 470 нм), снабженные пленочными поляроидами.

После экспонирования образца в течение 1 мин непрерывным излучением мощностью 50 мВт никаких изменений оптических свойств пленки не наблюдалось. При облучении пленки при тех же параметрах в фемтосекундном режиме наблюдаются заметные анизотропные изменения ее оптических свойств (рис.2). На рис.3 показан профиль изменения оптической плотности образца вблизи области воздействия. В центре пучка оптическая плотность для зондирующего излучения с ортогональной накачке поляризацией увеличилась на 0.4 (соответственно пропускание уменьшилось в 2.5 раза), а с параллельной – уменьшилась на такую же величину. Профили изменения оптической плотности в вертикальном направлении (ось y), показанные на рис.3, получены путем построчного усреднения пространственного распределения изменения оптической плотности в узкой вертикальной полоске, выделенной на рис.2.

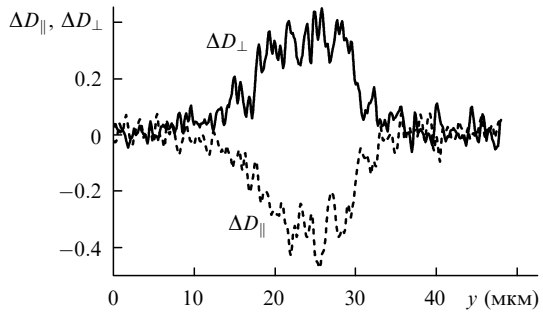

Рис.3. Пространственные профили изменений оптической плотности образца при параллельных ($\Delta D_{\parallel}$) и ортогональных ($\Delta D_{\perp}$) поляризациях накачки и зондирующего излучения.

Было установлено, что пленки из азокрасителя AD-1 субмикронной толщины имеют высокую нелинейно-оптическую чувствительность. Облучение пленки фемтосекундным лазерным излучением с пиковой интенсивностью $\sim$2 ГВт/см^2 в течение 1 мин (полная плотность энергии $\sim$800 кДж/см^2) привело к сильному поляризационному дихроизму пропускания: дихроичное отношение составило $\sim$6.

Таким образом, впервые зарегистрирован дихроизм пропускания аморфных пленок из чистого азокрасителя, вызванный нелинейным поглощением света. Полученные изменения оптических плотностей для двух ортогональных поляризаций излучения свидетельствуют о существенном вкладе в наблюдаемый дихроизм пространственной переориентации молекул, тогда как в предыдущих работах в основном имело место селективное фотохимическое обесцвечивание и ориентационное выжигание провалов.

Отсутствие изменений оптической плотности при воздействии непрерывного излучения доказывает нелинейность наблюдаемого эффекта.

Высокая стабильность азокрасителя AD-1 в сочетании с возможностью эффективной нелинейно-оптической ориентации молекул в аморфных пленках с предельной концентрацией красителя открывают перспективы его использования в современной фотонике.

Авторы выражают благодарность А.А.Ежову за измерение толщины пленки на атомно-силовом микроскопе.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 06-02-16938.

1. Weigert F. *Verh. Dtsch. Phys. Ges.*, **21**, 479 (1919).
2. Козенков В.М., Барачевский В.А. *Фоточувствительные материалы и их применения в голографии* (Л.: Наука,1987, с. 89).
3. Cimrova V., Neher D., Hildebrandt R., Hegelich M., von der Lieth A., Marowsky G., Hagen R., Kostromine S., Bieringer T. *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 1228 (2002).
4. Sekkat Z., Ishitobi H., Kawata S. *Opt. Commun.*, **222**, 269 (2003).
5. Churikov V., Lin J., Wu H., Lin J., Huang T., Hsu C. *Opt. Commun.*, **209**, 451 (2002).
6. Yip W., Kwok H., Kozenkov V.M., Chigrinov V.G. *Displays*, **22**, 27 (2001).
7. Meng X., Natansohn A., Rochon P. *Polymer*, **38**, 2677 (1997).