

Изменение наноструктуры тонкой твердой пленки азокрасителя AD-1 под действием немодулированного светового излучения

А.М.Дубровкин, А.А.Ежов, В.М.Козенков, С.А.Магницкий, Н.М.Нагорский, В.И.Панов

Зарегистрирован эффект фотоиндуцированной модификации рельефа тонкой наноструктурированной пленки низкомолекулярного азокрасителя AD-1 под действием света, однородного как по интенсивности, так и по поляризации. При облучении пленки толщиной 320 нм линейно поляризованным некогерентным светом с длиной волны 470 нм и интенсивностью около 1 мВт/см² обнаружено интенсивное формирование выпуклостей каплевидной формы с радиусом порядка 200 нм, покрывающих большую часть поверхности пленки.

Ключевые слова: нанофотоника, азокраситель, транспорт массы, нанорельеф.

Одним из неординарных проявлений взаимодействия света с веществом является фотоиндуцированная подвижность молекул в твердых полимерных и аморфных средах [1]. Специфика физико-химических свойств, присущих молекулам азокрасителей, обеспечивает их беспрецедентную фотоиндуцированную подвижность, что делает эти азокрасители предметом особого внимания исследователей [2]. В частности, с их помощью можно создавать механические наномашинки, приводимые в действие светом [3].

В наших предыдущих работах [4–6] мы предложили новый вид тонких наноструктурированных пленок, состоящих из чистого азокрасителя AD-1 [2] и обладающих свойствами, отличающими их от других азосодержащих сред. Так, при исследовании поведения таких пленок под действием лазерного излучения был обнаружен сильный эффект поляризационной анизотропии рассеяния, как однофотонный, так и двухфотонный [5], который может быть использован при создании устройств оптической памяти, а в работе [4] нам впервые удалось получить пространственную фотоориентацию молекул азокрасителя при двухфотонном возбуждении [6]. В настоящей работе сообщается о наблюдении другого проявления фотоиндуцированной подвижности молекул в пленках AD-1 – фотоиндуцированного переноса массы, приводящего к изменению рельефа поверхности.

Для облучения пленки использовался светодиод с длиной волны около 470 нм, попадающей в область поглощения красителя. Светодиод был снабжен коллиматором, обеспечивающим угол расходимости светового пучка около 20°. Для получения линейно поляризованного света использовался пленочный поляризатор. Световой пучок был направлен перпендикулярно поверхности пленки, интенсивность света на поверхности образца составляла около 1 мВт/см². Профиль поверхности пленки

сканировался с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) «Солвер PRO» (Россия), работающего в режиме прерывистого контакта при использовании стандартных кремниевых кантилеверов (NSG01 серии Golden, Россия).

Для надежного совмещения изображений, полученных при АСМ-измерениях в различные моменты времени, и определения толщины пленки она была прорезана до стекла двумя пересекающимися линиями. С использованием областей чистого стекла на АСМ-изображениях определялся и вычитался наклон образца. Профиль поверхности пленки до облучения, измеренный с помощью АСМ, представлен на рис. 1,а, где видна ровная стеклянная подложка, на которую нанесена пленка толщиной около 320 нм. Предварительные измерения показали, что многократное сканирование поверхности пленки не приводит к каким-либо изменениям ее рельефа. При освещении образца кантилевер АСМ удалялся от поверхности во избежание искажения им светового поля, воздействующего на пленку.

После одного часа облучения линейно поляризованным светом были обнаружены значительные изменения

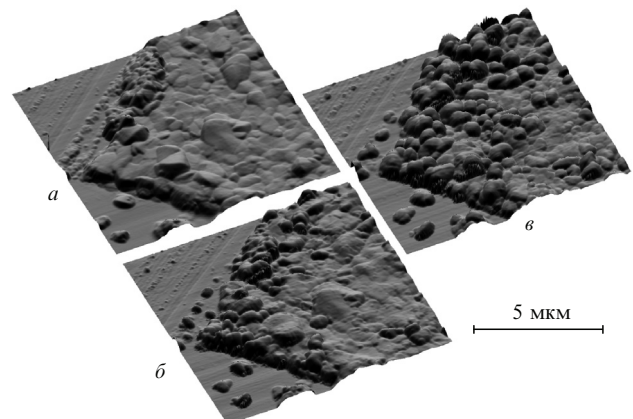


Рис.1. Трехмерные АСМ-изображения пленки (область размером 7 × 7 мкм) до облучения (а), после облучения линейно поляризованным светом (б) и после облучения пленки светом с ортогональной поляризацией (в).

А.М.Дубровкин, А.А.Ежов, В.М.Козенков, С.А.Магницкий, Н.М.Нагорский, В.И.Панов. Международный учебно-научный лазерный центр МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119991 Москва, Воробьевы горы; e-mail: nikolaynag@gmail.com

Поступило в редакцию 23 марта 2010 г.

рельефа поверхности пленки (рис.1,б). На поверхности пленки отчетливо видны выпуклости каплевидной формы, сформировавшиеся в процессе облучения. Наши эксперименты показали, что за указанное время достигается состояние, близкое к стационарному – подвижные молекулы разворачиваются перпендикулярно поляризации активирующего излучения и процесс прекращается. Однако после поворота направления поляризации на 90° и освещения образца еще в течение 1 ч, изменение рельефа идет намного интенсивнее, затрагивая практически всю площадь поверхности образца (рис.1,в).

Рост неоднородностей на поверхности пленки можно охарактеризовать наблюдающимся в эксперименте увеличением среднеквадратичного перепада высот $\sigma_z = ((z^2) - \langle z \rangle^2)^{1/2}$. До начала облучения перепад σ_z был равен 35 нм, после первого часа облучения линейно поляризованным светом он составил 41 нм, а после еще одного часа облучения светом с ортогональной поляризацией достиг 58 нм, что более чем в 1.5 раза превышает начальное значение.

Уникальной особенностью описываемого эффекта является то, что инициирующий свет не был промодулирован вдоль поверхности пленки ни по интенсивности, ни по поляризации. Такая модификация рельефа не может быть объяснена ни одной из предложенных в литературе теоретических моделей [7–10], в которых основой процесса является модуляция инициирующего света вдоль поверхности.

Однако наиболее неожиданной особенностью данного эффекта оказалась форма растущих выпуклостей. Из приведенных изображений видно, что на поверхности изначально достаточно ровной структуры формируются выступы, которые по мере роста по форме приближаются к полусферам с характерным радиусом ~ 200 нм. Особенно наглядно это продемонстрировано на рис.2, где в увеличенном масштабе представлено трехмерное изображение одной из сформировавшихся в процессе облучения выпуклостей.

По всей видимости, мы имеем дело с новым механизмом, управляющим фотоиндуцированным движением молекул, похожим на образование капель жидкости на плохо смачиваемой поверхности. Обнаруженный эффект может найти практическое применение, например, в нанотехнологии для подъема грузов в качестве оптического

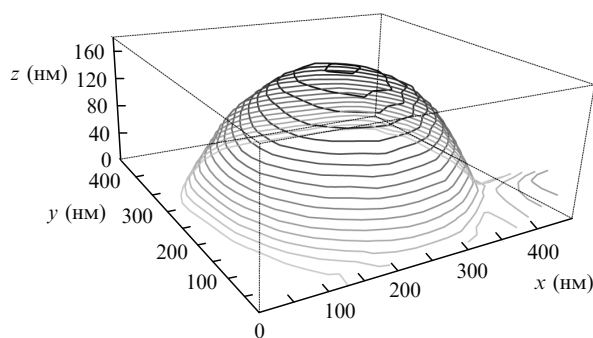


Рис.2. Увеличенное трехмерное изображение одной из выпуклостей, сформировавшихся на поверхности пленки.

нанодомкрата. Есть все основания надеяться, что такой нанодомкрат будет развивать большие усилия по сравнению с возможными аналогичными устройствами, которые могли бы быть созданы на базе других азоматериалов. Основанием для такого утверждения является сильное взаимодействие между молекулами азокрасителя AD-1 в наноструктурированной пленке, а также высокая фотоиндуцированная подвижность этих молекул, продемонстрированная в экспериментах.

Работа частично поддержана РФФИ (гранты № 10-02-01089, 08-02-01460-а и 09-02-01306-а).

1. Neckers D.C., von Büнау G., Jenks W.S. (Eds) *Advances in Photochemistry* (Hoboken: Wiley, 2002, vol. 27).
2. Chigrinov V.G., Kozenkov V.M., Kwok H.S., in *Optical Applications of Liquid Crystals* (Bristol: IOP, 2003).
3. Yager K.G., Barrett C.J. *J. Photochem. Photobiol. A*, **182**, 250 (2006).
4. Джанг Я.С., Козенков В.М., Магницкий С.А., Нагорский Н.М. *Квантовая электроника*, **36**, 1056 (2006).
5. Dubrovkin A.M., Jung Y., Kozenkov V.M., Magnitskii S.A., Nagorskiy N.M. *Laser Phys. Lett.*, **4**, 275 (2007).
6. Magnitskiy S.A., Nagorskiy N.M., Kozenkov V.M. *Laser Phys.*, **18**, 1400 (2008).
7. Pedersen T.G., Johansen P.M., Holme N.C.R., Ramanujam P.S., Hvilsted S. *Phys. Rev. Lett.*, **80**, 89 (1998).
8. Lefin P., Fiorini C., Nunzi J.M. *Pure Appl. Opt.*, **7**, 71 (1998).
9. Kumar J., Li L., Jiang X.L., Kim D.Y., Lee T.S., Tripathy S. *Appl. Phys. Lett.*, **72**, 2096 (1998).
10. Sumaru K., Yamanaka T., Fukuda T., Matsuda H. *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 1878 (1999).