



УДК 620.171

НАНОДЕФОРМИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА CD-ДИСКА

А.П. Кузьменко, Д.И. Тимаков

Юго-Западный государственный университет,
ул. 50 Лет Октября, 94, Курск, 305040, Россия, e-mail: apk3527@mail.ru

Юго-Западный государственный университет,
ул. 50 Лет Октября, 94, Курск, 305040, Россия, e-mail: timakov.dmitry@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты исследований наноструктурных изменений, вызываемых воздействием упругих концентрированных воздействий, полученные методами атомно-силовой микроскопии. Показано, что данные методики позволяют проводить измерения физико-химических свойств различных материалов.

Ключевые слова: упругие воздействия, атомно-силовая микроскопия, предел прочности, модуль Юнга, коэффициент Пуассона.

Введение

Неизменная миниатюризация характерных размеров базовых функциональных элементов и наноструктурирование материалов, создаваемых на основе нанотехнологических подходов, все более актуализируют задачи, как их получения, так и изучения, контроля и анализа их физико-химических свойств на микронном и субмикронном уровнях в статическом, динамическом режимах, а также при наличии внешних воздействий, в частности, при упругом и пластическом деформировании. Одним из активно развиваемых методов исследования таких объектов является наноиндентирование, которое в сочетании с методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) как нельзя лучше нацелено на комплексное решение подобного класса задач [1]. В настоящей работе предлагается подход, в котором удастся с достаточной пространственной точностью (до 5 нм) осуществлять, как деформацию образца, так и анализ, связанных с ней нано- и микроструктурных изменений с помощью АСМ.

Гетерогенность структуры большинства материалов, включая наноструктурированные, обуславливает скачкообразный характер микродеформирования. Методом лазерной интерферометрии при равноканальном угловом деформировании (в пределах 150 нм) показано, что шаг возникающей микропластической деформации, взаимосвязан с размером зерна наноструктурированных и обычных материалов [2]. Этим же методом в [3] изучен нелинейный характер изменения скорости деформирования полимерного материала (политетрафторэтилена) в условиях приложенного к образцам длительного (до 2500 с) постоянного напряжения, вызывающего незначительную деформацию $\varepsilon \sim 3 \cdot 10^{-4}$. Установлено возникновение знакопеременной разномасштабной деформации (от 4 нм до 150 мкм) полимерных образцов и с разными скоростями ($\dot{\varepsilon} \sim 10^{-7-1} - 10^{-5-1}$), а также влияние на нее магнитного поля с индукцией до 0.2 Тл.

На основе теории неравновесных границ в металлах предложена модель [4], устанавливающая взаимосвязь скорости сверхпластической деформации с размером зерна нано- и микроструктурных материалов, показано что при высокотемпературном (~ 0.77) деформировании, когда ее скорость в отличие от обычной: ($\dot{\epsilon} \sim d^{-2} = 10^{-4-1}$ становится существенно большей (10^{-1-1}), величина коэффициента зернограницной диффузии достигает энергии активации – $10.4 kT_{пл}$. Процесс деформирования полимерных материалов, как предложено в [5], в силу его кинетического характера может сопровождаться явлениями туннелирования при низких температурах, а при высоких над- и подбарьерным квантовым туннелированием. Действие какого-то из этих механизмов может определяться, как температурой, так и величиной прикладываемого напряжения.

§1. Результаты и обсуждения

В настоящей работе предлагается подход, в котором удается с достаточной пространственной точностью (до 5 нм) осуществлять, как деформирование образца, так и анализ, связанных с ним нано- и микроструктурных изменений с помощью АСМ.

В качестве объектов исследования использовались прямоугольные образцы ($5 \times 5 \times 1.2$ мм) поликарбоната с нанесенными характерными метками шириной порядка 500 нм (рис. 1), а также с заданным рисунком нанесенным методом нанолитографии (vector pulse) (рис. 2.) так, что две из были параллельны приложенному напряжению, а две – перпендикулярны.

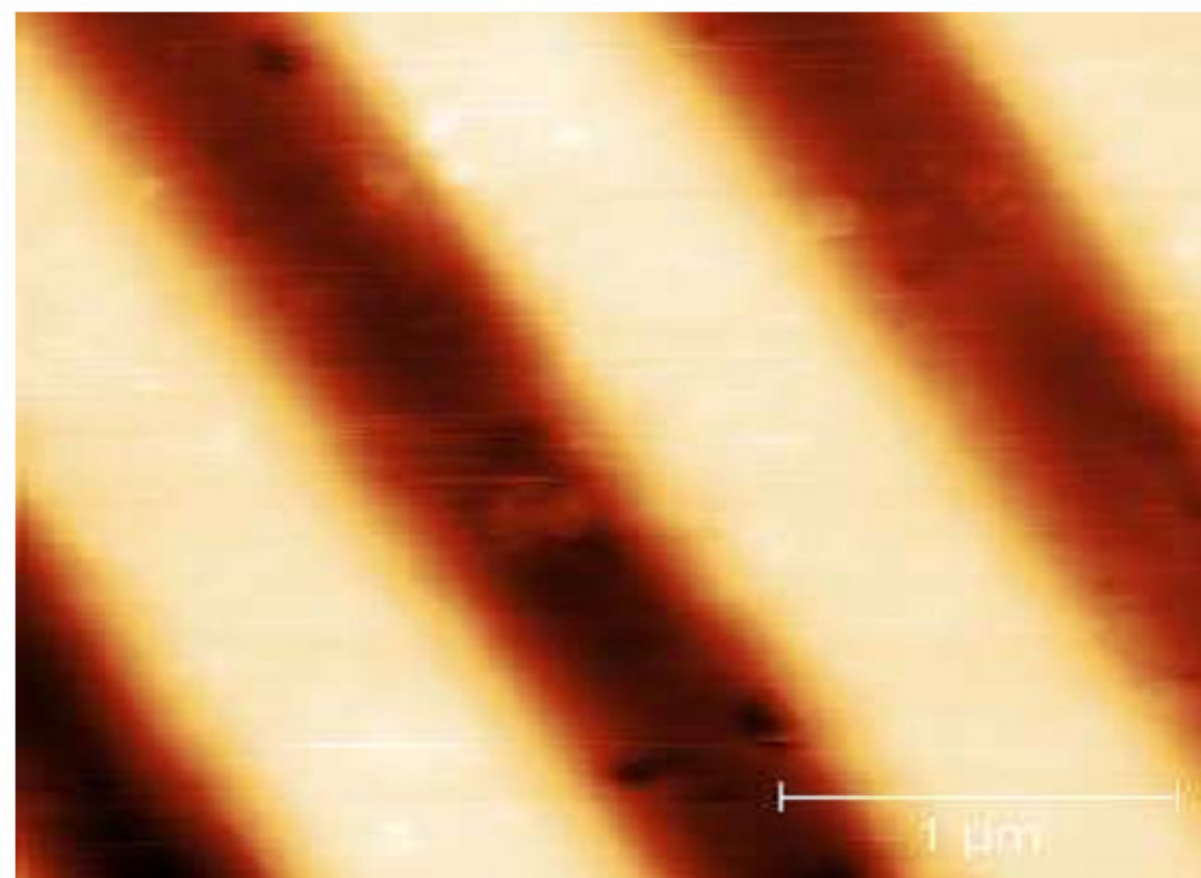


Рис. 1. АСМ изображение характеристических меток.

Напряжение для деформирования образца создавалось специальным устройством, которое размещалось непосредственно на сканере АСМ AIST-NTSmartSPM (г. Зеленоград). АСМ измерения проводились сразу же после сжатия образца контактным кантилевером frC01S, с радиусом закругления иглы менее 10 нм. Профили сканируемой поверхности образца анализировались с помощью программного пакета Gwyddion 2.19. Усредненное (по 10 точкам) расстояние между двумя соседними метками определялось по уровню 0.5. Для оценки величины прикладываемого нормального напряжения (в

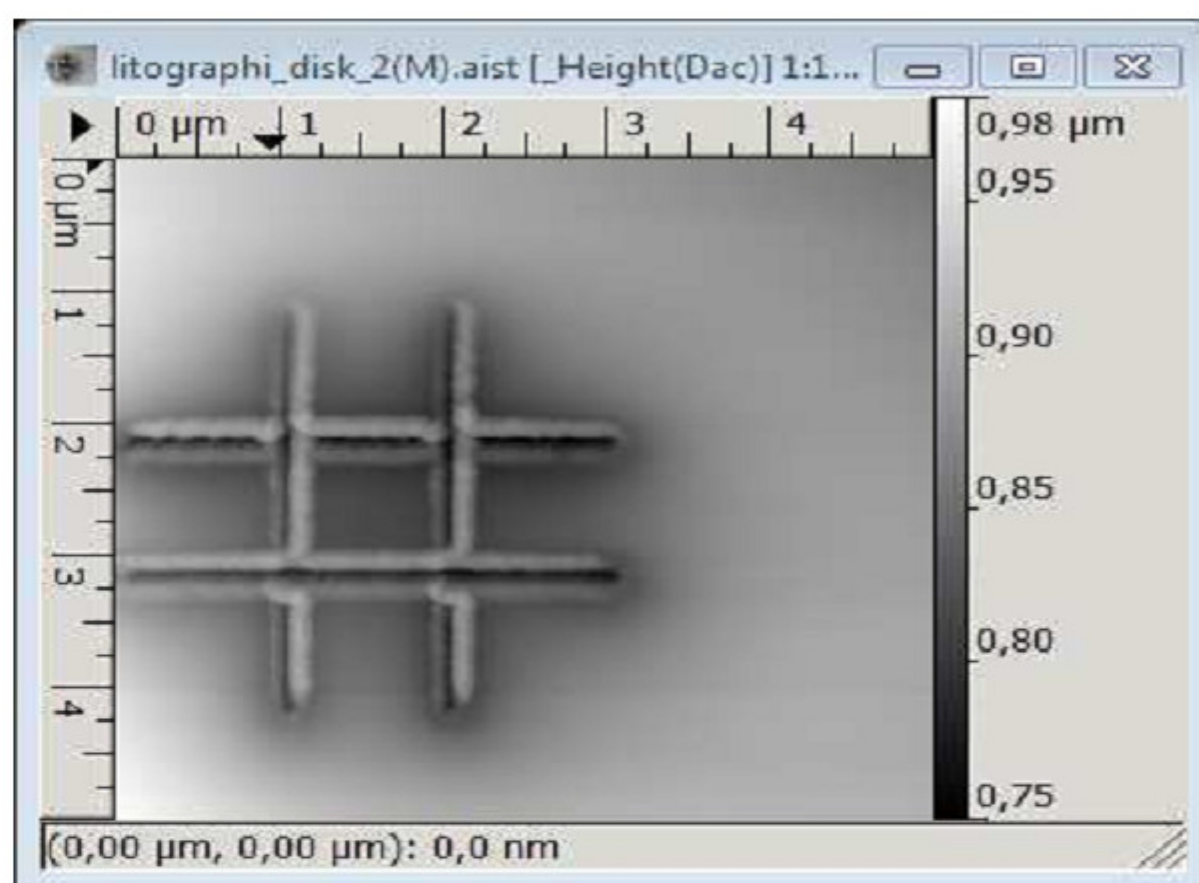


Рис. 2. АСМ изображение литографического рисунка на поверхности поликарбоната.

пределах упругой деформации) применялась зависимость: $E = (Fl)/(Sx)$, где E – модуль упругости, измеряемый (Па), F – сила (Н), S – площадь поверхности, по которой распределено действие силы (m^2), l – длина деформируемого стержня (м), x – изменения длины стержня в результате упругой деформации (м). Давление при пластичной деформации измерялось оптическим методом по изменению поляризованного излучения за счет фотоупругости с помощью конфокального микроскопа, входящего в комплекс AIST-NT OmegaScore.

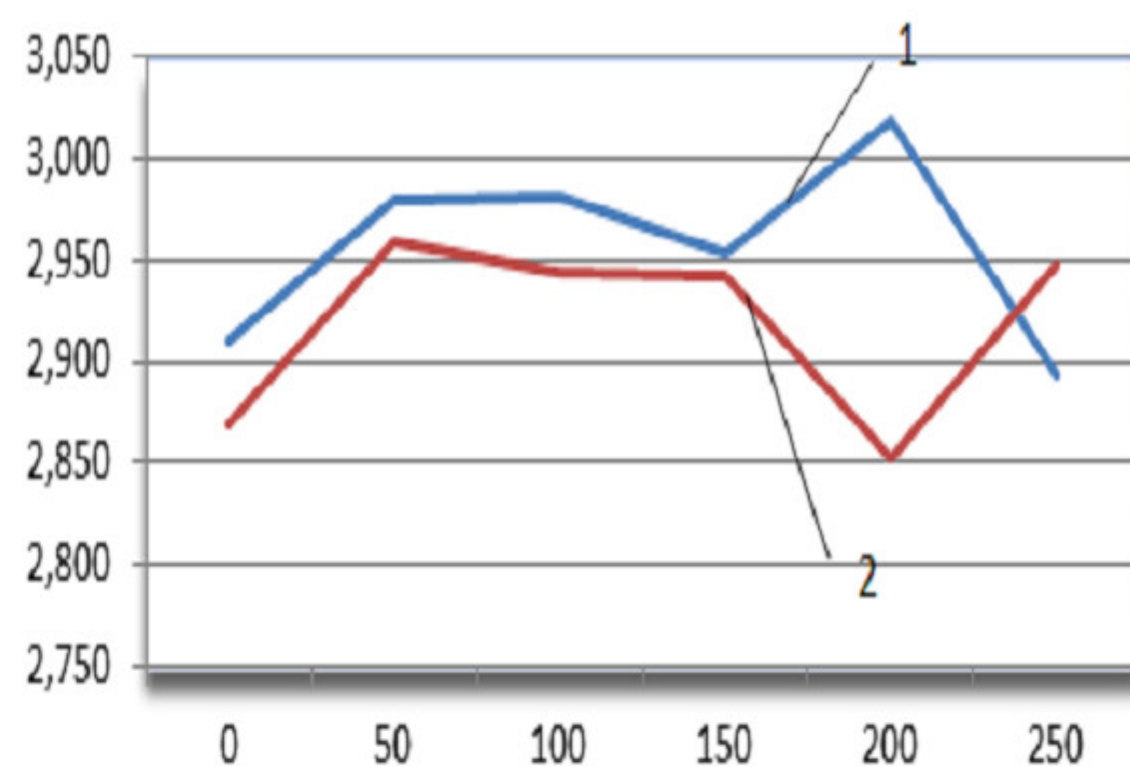


Рис. 3. Изменение длины (1) и толщины (2) образца.

Напряжения по методу фотоупругости рассчитывались на основании уравнения: $\sigma = N\lambda/(dK)$, где σ – нормальное напряжение, N – порядок интерференционной полосы, пропорциональный напряжению, λ – длина волны источника света, d – толщина образца, K – коэффициент фотоупругости поликарбоната $7 \cdot 10^{-11} m^2/H$.

Полученные таким образом результаты представлены на (рис. 3), на которых отмечается начальные участки упругой, пластической деформации и разрушения образца, в соответствии с [1-5].



Заключение

Таким образом, использование АСМ позволяет измерять предел прочности, текучести, модули упругости и сдвига для разных конденсированных материалов с наномасштабным разрешением. Предлагаемый метод является неразрушающим, полученные с таким разрешением физические характеристики могут транспонироваться на объемные материалы, то есть позволяет прогнозировать в них развитие дислокационных механизмов разрушения.

Работа выполнена в рамках ГК № 14.740.12.0855 «Изучение влияния особенностей структуры на физические свойства перспективных функциональных и конструкционных материалов (наноматериалов)» на оборудовании Центра коллективного пользования «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» БелГУ, а также реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2012 годы (ГК Р288).

Литература

1. Головин Ю.И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикрообъемах, тонких приповерхностных слоях и пленках / ФТТ. – 2008. – 50;12. – С.2113-2142.
2. Песчанская Н.Н., Смирнов Б.И., Шпейзман В.В. Скачкообразная микродеформация наноструктурных металлов / ФТТ. – 2008. – 50;5. – С.816-820.
3. Шпейзман В.В., Песчанская Н.Н. Многоуровневый характер деформации полимеров / ФТТ. – 2011. – 53;6. – С.1169-1174.
4. Чувильдеев В.Н., Щавлева А.В., Нохрин А.В., Пирожникова О.Э., Грязнов М.Ю., Лопатин Ю.Г., Сысоев А.Н., Мелехин Н.В., Сахаров Н.В., Копылов В.И., Мышляев М.М. Влияние размера зерна и структурного состояния границ зерен на параметры низкотемпературной и высокоскоростной сверхпластичности нано- и микрокристаллических сплавов / ФТТ. – 2010. – 52;5. – С.1026-1033.
5. Слуцкер А.И., Гиляров В.Л., Поликарпов Ю.И., Каров Д.Д. Возможные проявления квантового эффекта (туннелирования) в элементарных актах кинетики разрушения полимеров / ФТТ. – 2010. – 52;8. – С.1524-1530.



NANO DEFORMATION OF THE MATERIAL CD-ROM

A.P. Kuzmenko, D.I. Timakov

South-West State University,

50 Let Oktyabrya, Kursk, 305040, Russia, e-mail: apk3527@mail.ru

South-West State University,

50 Let Oktyabrya, Kursk, 305040, Russia, e-mail: timakov.dmitry@gmail.com

Abstract. The nanostructured changes were caused concentrated elastic effects on the polymer materials CD-disk obtained by atomic force microscopy it is studied. These methods make possible for the nanoscale investigations of physical properties of different materials it is shown.

Keywords: elastic effects, atomic force microscopy, tensile strength, Young's modulus, Poisson's ratio.