

УДК 538.945;538.975

ИЗУЧЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ТУННЕЛЬНОГО МИКРОСКОПА ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПЛЕНКИ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

С. В. Антоненко¹, М. А. Горячев¹, С. М. Толкачева¹, Н. П. Шабанова

Методом сканирующей туннельной микроскопии исследовано влияние облучения ионами He^{++} на структуру сверхпроводящей эпитаксиальной пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. В зоне облучения обнаружены кластерообразные повреждения поверхности размером несколько десятков нанометров, а также размытие кристаллитов. Наблюдалась заметная нерегулярность профиля по сравнению с профилем необлученной части образца.

Исследовалась сверхпроводящая эпитаксиальная пленка высокотемпературного сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, выращенная методом лазерного распыления на подложке $SrTiO_3(001)$ [1]. Подложка имела блочную структуру с небольшой ($\sim 1'$) относительной разориентацией блоков. Поверхность подложки была предварительно подвергнута химическому травлению для удаления нарушений поверхностного слоя, полученных в результате механической полировки. Пленка имела узкий сверхпроводящий индуктивный переход с критической температурой $T_c = 90 K$ и удельным сопротивлением вблизи перехода $200 \mu\Omega \cdot cm$.

Образец был подвергнут облучению ионами He^{++} с энергией $3.6 MeV$ до относительно небольшой дозы $2.6 \times 10^{15} cm^{-2}$, не вызывающей резкого снижения критической температуры. В результате облучения удельное сопротивление пленки повысилось на 50%, T_c составила $85 K$.

¹Московский инженерно-физический институт (Государственный университет), 115409, Москва, Каширское шоссе, 31, SV.Antonenko@EMAIL.MEPhI.RU

Поверхность пленки изучалась с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) нанотехнологического комплекса (НТК) "Умка". Результаты представлены на рис. 1 и 2.

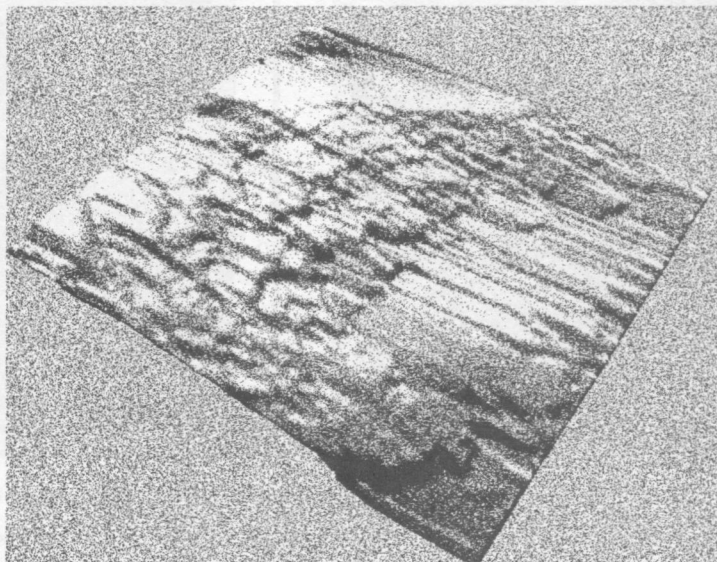


Рис. 1. 3D изображение поверхности необлученной части пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ размером $1.10 \times 1.10 \times 0.23 \mu m^3$, полученное с помощью СТМ. В нижней части образца виден облученный участок.

На рис. 1 показан необлученный участок пленки размером $1.10 \times 1.10 \times 0.23 \mu m^3$. Кристаллиты образца ориентированы вдоль поверхности подложки. Ось c в кристаллитах ориентирована перпендикулярно подложке [1]. Размеры кристаллитов несколько десятков нанометров в поперечнике. Анализируя снимки поверхности пленки, можно сделать вывод, что в целом она повторяет блочную субструктуру подложки. Поверхность состоит из участков, в пределах которых ориентация кристаллитов примерно однородна. Между областями кристаллитов присутствует отклонение ориентации от некоторого среднего направления. Профиль поверхности пленки определяется небольшой общей разориентацией поверхности подложки по кристаллографическим направлениям (отклонение около 4°) и некоторыми дефектами подложки, обусловленными ее травлением.

На этом же изображении пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, снятом на СТМ, в нижней ее части видна зона облучения (рис. 1). На рис. 2 облученный участок образца показан полностью, при увеличенном разрешении, в трехмерном (3D) и двумерном (2D) изображении,

полученном с помощью СТМ. Размер области сканирования $0.22 \times 0.22 \times 0.04 \mu\text{m}^3$. Видны кластерообразные повреждения.

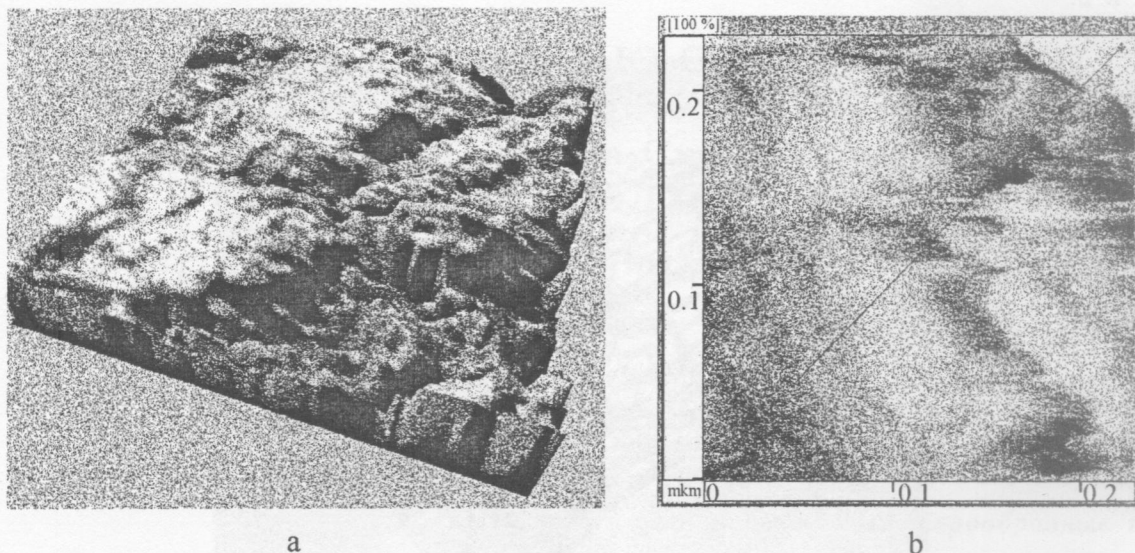


Рис. 2. Участок пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, облученной до дозы $2.6 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$. а) 3D- и б) 2D-СТМ – изображение размером $0.22 \times 0.22 \times 0.04 \mu\text{m}^3$.

Следует отметить, что пучок не обладал идеальной формой эллипса. Присутствуют отдельные фрагменты вытравленных участков пленки вблизи границы пучка вследствие филаментации (расслоения) пучка. Глубина вытравленных пучком участков составляет десятки нанометров (в отдельных местах до 100nm), хотя пробег ионов гелия в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ значителен и составляет несколько микрон [2, 3].

По дозе облучения и по изменению критической температуры можно оценить число смещений на атом [2]. Полученное относительное число смещенных атомов 2×10^{-3} достаточно мало. Однако при этом повреждения поверхности пленки хорошо видны с помощью СТМ (рис. 2). Это указывает на то, что при облучении образуются не только отдельные точечные дефекты, но и происходит их срастание вплоть до образования целых групп дефектов.

При большом разрешении скопления дефектов видны в виде кластерообразных повреждений поверхности, размерами по плоскости до нескольких десятков нанометров, по глубине – до $10 - 30 \text{nm}$. Расстояние между кластерами составляет от нескольких нанометров до десятков нанометров. Профиль по глубине представлен хаотическим расположением небольших выпуклостей и впадин (рис. 3). Были определены параметры

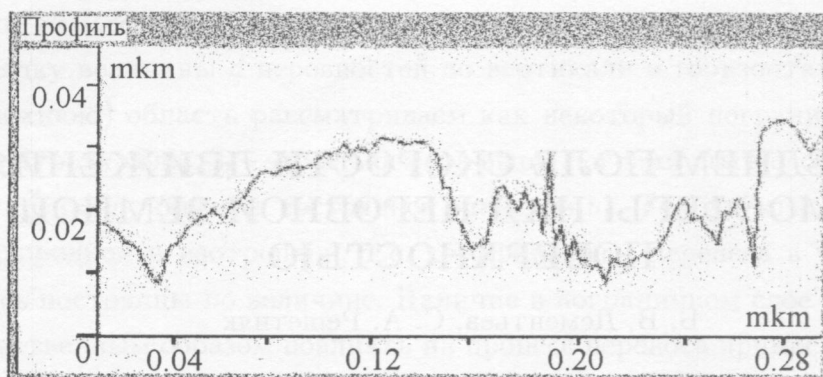


Рис. 3. График по глубине, снятый на пленке $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ вдоль линии, представленной на рис. 2b.

среднеквадратичной (RMS) и среднеарифметической (AA) шероховатости [4]: $RMS = 23.2 \text{ nm}$, $AA = 6.3 \text{ nm}$.

Таким образом, на поверхности пленки, подвергнутой облучению небольшой дозой ионов гелия, обнаружены кластеры размером порядка десятков нанометров, расстояние между кластерами составляет от нанометров до десятков нанометров. В зоне облучения наблюдается размытие кристаллитов, нерегулярность профиля по сравнению с профилем пленки на необлученном участке. Все это должно давать вклад в увеличение электросопротивления образцов, что и наблюдается на эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Васильев А. Л. и др. ФТТ, **33**, N 1, 25 (1991).
- [2] Antonenko S. V. et al. Physica, **C 153 – 155**, 336 (1988).
- [3] Антоненко С. В. и др. Письма в ЖЭТФ, **46**, 362 (1987).
- [4] Технология тонких пленок. Под ред. Л. Майссела и Р. Глэнга. Нью-Йорк (1970). Пер. с англ. под ред. М. И. Елисона, Г. Г. Смолко. М., Советское радио, 1977, гл. 6, 508 с.

Поступила в редакцию 2 октября 2006 г.