

**ТУННЕЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ СКОЛА  
МОНОКРИСТАЛЛА  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\sigma}$  ПРИ 4,2 К**

*С.Л.Прядкин, В.С.Цой*

Разработана конструкция и изготовлен сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), позволяющий проводить скол образца и измерения при температуре жидкого гелия. Получены СТМ-изображения поверхности скола монокристалла  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\sigma}$  в сверхпроводящем состоянии. Обнаружено уменьшение величины  $\Delta$ , определенной из туннельных вольт-амперных характеристик, при уменьшении расстояния между острием и образцом.

Одна из причин, не позволяющих реализовать высокое пространственное разрешение СТМ<sup>1</sup> при исследовании кристаллографической и электронной структуры поверхности ВТСП – присутствие на поверхности относительно толстого диэлектрического слоя (100 Å) (см., например,<sup>2, 3</sup>). Очевидны недостатки метода использования СТМ для получения вольт-амперных характеристик (ВАХ) ВТСП, когда для установки остия в требуемый режим необходимо протыкать им приповерхностный диэлектрический слой.

Ранее СТМ-изображения ВТСП с высоким пространственным разрешением (вплоть до атомного) были получены на сколах керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\sigma}$ <sup>4</sup>. Скол производился

при атмосферном давлении, после чего образец помещался в вакуумную камеру (давление  $10^{-6}$  торр), измерения проводились при комнатной температуре.

В данной работе получение стабильной атомно-чистой поверхности ВТСП производилось путем скола монокристалла при температуре жидкого гелия. С помощью СТМ<sup>5</sup>, модифицированного для работы при низкой температуре, изучались рельеф поверхности и ВАХ скола монокристалла  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\sigma}$ .

Кристаллы представляли собой пластины с характерными размерами  $1 \times 1 \times 0,2$  мм. Вектор С (направление  $[001]$ ) перпендикулярен плоскости пластины. Согласно измерениям магнитной восприимчивости образцов температура сверхпроводящего перехода образцов 90 К, его ширина  $\approx 2$  К. Скалываемый кристалл находился в жидком гелии. Скол осуществлялся следующим способом. Образец большими по площади гранями приклеивался к двум плоским металлическим поверхностям подложки и рычага. При приложении к рычагу силы с помощью соответствующего привода рычаг отделялся от подложки вместе с частью образца. После этого к поверхности скола с расстояния  $\sim 5$  мм подводилось острие СТМ. В качестве острия использовалась механически заточенная Pt — Ir-проволка диаметром 0,3 мм. Как правило, поверхность скола содержала плоские зеркальные участки значительного размера.

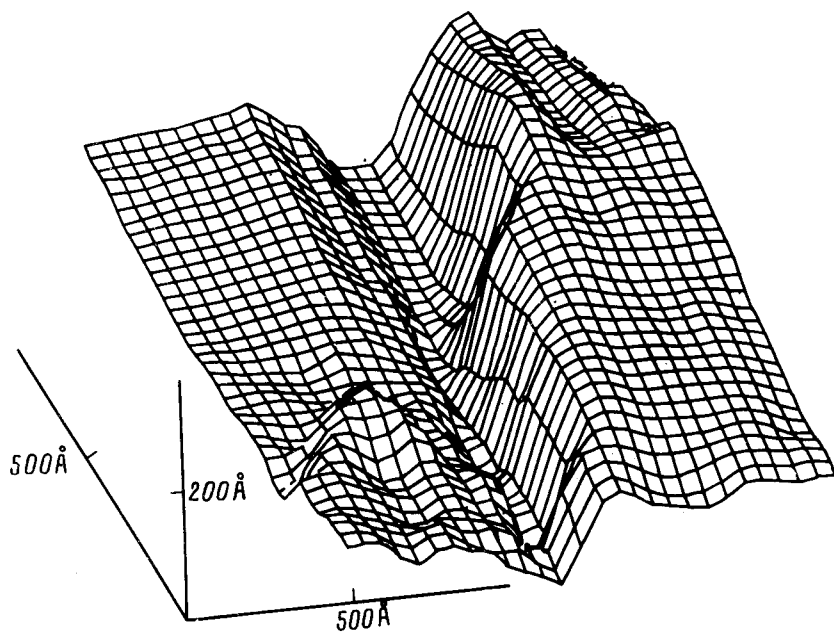


Рис. 1. СТМ-изображение поверхности скола. Напряжение между острием и образцом 200 мВ, туннельный ток 1 нА

Измерения дифракции медленных электронов, оже-спектров и характеристических потерь энергии электронов, проведенные на сколах, выполненных тем же способом при комнатной температуре в сверхвысоком вакууме, показали: 1. Значительная часть поверхности скола представляет собой атомно-чистую грань (001), дающую интенсивную дифракционную картину; характерный размер плоских участков, определенный из ширины дифракционных рефлексов, больше 100 Å. 2. В приповерхностном слое имеет место сильный дефицит кислорода.

На рис. 1 приведено СТМ-изображение рельефа поверхности скола, полученное при напряжении между острием и образцом — 200 мВ и туннельном токе — 1 нА. Качество СТМ-изображений различных участков разное. На изображении отчетливо видны плоские участки поверхности, параллельные (001).

На рис. 2 приведены ВАХ и их производные, снятые в одной и той же точке образца при различных значениях ширины туннельного барьера. ВАХ получены следующим образом. В режиме изображения профиля поверхности острое останавливалось в выбранной точке, на несколько секунд отключалась обратная связь и варьировалось в заданных пределах напряжение на туннельном переходе. Значение  $\Delta$  определялось как половина расстояния между ближайшими к нулю напряжения максимумами на кривой  $\frac{\partial I}{\partial U}(U)$ . Из рис. 2 видно, что  $\Delta$  зависит от ширины туннельного барьера. Для ВАХ, изображенных на рис. 2, изменение  $\Delta$  составляет  $\approx 30\%$ . Наибольшее изменение достигало почти 100%. Всегда при уменьшении ширины туннельного барьера измеряемое значение  $\Delta$  уменьшалось.

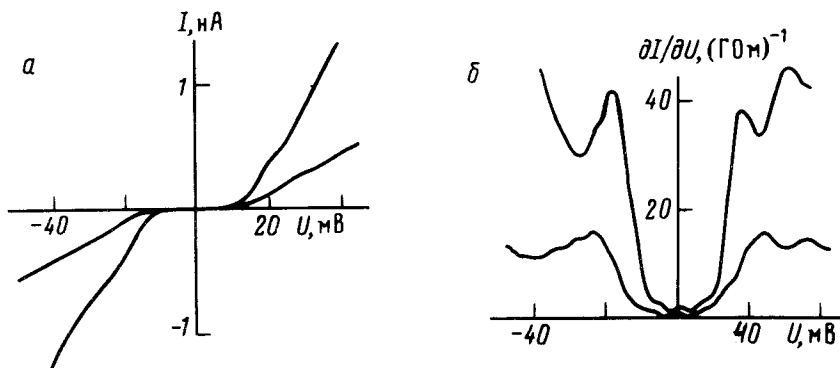


Рис. 2. а – ВАХ туннельного перехода в одной и той же точке поверхности при разных значениях ширины туннельного барьера; б – производные ВАХ на рис. 2 а

ВАХ были сняты в нескольких точках вдоль отрезка длиной 4000 Å. От точки к точке вид ВАХ менялся, в частности изменялись  $\Delta$  и отношение  $\frac{\partial I/\partial U(U=\Delta)}{\partial I/\partial U(U=0)}$ . Значения  $\Delta$  лежали в интервале 18 ÷ 34 мВ, что соответствует  $4,6 \leq \frac{2\Delta}{kT_c} \leq 8,7$ .

Таким образом, в работе получены СТМ-изображения поверхности скола монокристалла  $YBa_2Cu_3O_{7-\sigma}$  при 4,2 К, обнаружена для фиксированного участка поверхности зависимость величины  $\Delta$ , определенной из ВАХ, от ширины туннельного барьера. Причинами наблюдавшейся зависимости могут быть эффект близости и кристаллографическая анизотропия  $\Delta$ . Возможно этими причинами обусловлен широкий диапазон  $\Delta$ , определенных методом туннельной спектроскопии.

Авторы благодарны Ю.А.Осипьяну за интерес к работе и ее поддержку, Г.М.Элиашбергу за обсуждение результатов, Г.А.Емельченко за предоставление монокристаллов, Н.И.Головко за определение характеристик сверхпроводящего перехода образцов.

#### Литература

1. Binning G., Rohrer H. IBM J. Res. Dev., 1986, 30, 355.
2. Kirtley J.R., Feenstra R.M., Fein A.P., Raider S.I., Gallagher W.J., Sandstrom R., Dinger T., Shafer M.W., Koch R., Laibowitz R., Bumble B. J. Vac. Sci. Tech. A, 1988, 6 (2), 259.
3. Володин А.П., Хайкин М.С. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 466.
4. Zheng N.J., Knipping U., Tsong S.T., Petiskey W.T., Barry J.C. J. Vac. Sci. Tech. A, 1988, 6 (2), 457.
5. Прядкин С.Л., Цой В.С. ЖЭТФ, 1988, 94, 336.