

05.4; 12

© 1992

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
(T_c , ΔT_c) ВТСП ПЛЕНОКС.Г. К о н н и к о в, С.А. С о л о в ь е в,
В.А. С о л о в ь е в, М.Э. Г а е в с к и й

Большими информативными возможностями при изучении локальных свойств сверхпроводящих (в том числе ВТСП) пленок обладает метод низкотемпературной растровой электронной микроскопии (НТРЭМ) [1-3]. Этот метод может быть эффективно использован для визуализации областей с различными значениями как критической температуры T_c [3], так и плотности критического тока j_c [4], для исследования границ зерен в бикристаллических и поликристаллических пленках [5], а также для изучения джозефсоновских переходов [6]. Анализ получаемых методом НТРЭМ изображений неоднородностей распределения сверхпроводящих свойств по поверхности образца позволяет лишь качественно оценить исследуемую структуру. Значительный интерес с точки зрения понимания природы процессов, влияющих на шумовые характеристики и величины критических токов приборных структур на основе ВТСП материалов, представляет задача определения параметров перехода из нормального в сверхпроводящее состояние локальных участков ВТСП пленок.

В данной работе предложена методика измерений локальных характеристик сверхпроводящего перехода тонких ВТСП пленок с использованием сигнала напряжения, индуцированного электронным зондом (НИЭЗ). Принципиальная возможность использования этого способа обусловлена тем обстоятельством, что сигнал НИЭЗ, как было показано в теоретической работе [2], пропорционален изменению удельного сопротивления участка сверхпроводящей пленки, подвергнутого тепловому воздействию электронного пучка.

Исследуемые пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ были выращены методом магнетронного распыления на подложках MgO (100) с подслоем $BaSrTiO_3$ и имели толщину 0.2 мкм. Методом фотолитографии из них были изготовлены микромостики шириной 40 мкм и длиной 500 мкм.

Измерения сигнала НИЭЗ проводились на автоматизированной установке „Сам Scan“, оборудованной системой охлаждения образцов (диапазон температур 77-300 К, точность поддержания температуры 0.1 К) и высокочувствительным усилителем НИЭЗ. Ток смещения изменялся в пределах 1-5 мА, не превышающих характерные значения критических токов для данных микромостиков ($j_c \approx 10^6$ А/см²). Для регистрации сигнала НИЭЗ использовалась

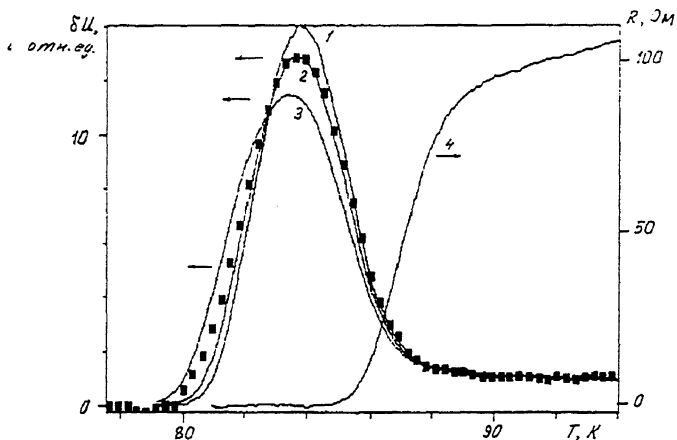


Рис. 1. Экспериментальная (точки) и расчетные (δT : 1 - 3 К, 2 - 3.4 К, 3 - 4 К) зависимости сигнала НИЭЗ от температуры, полученные для микромостика с интегральной характеристикой $R(T)$ (4).

система синхронного детектирования с частотой стробирования электронного зонда 1 кГц. При этом учет влияния поглощенного тока на форму температурной зависимости сигнала НИЭЗ, которое при данных параметрах электронного зонда (ускоряющее напряжение $U_B = 10$ кВ, ток пучка $I_B = 10^{-8}$ А) может быть существенным, осуществлялся путем математической обработки экспериментальных данных.

Для повышения чувствительности метода НТРЭМ при исследовании реальных ВТСП структур требуются значительные мощности теплового возбуждения (10^{-5} - 10^{-4} Вт), что приводит к существенному локальному разогреву образца (1-10 К), сравнимому с шириной перехода ΔT_C из сверхпроводящего состояния в нормальное [7]. В этом случае прямое определение локальных параметров сверхпроводящего перехода T_C и ΔT_C из экспериментальной зависимости сигнала НИЭЗ от температуры некорректно. Для восстановления реальной температурной зависимости сопротивления выбранного участка $\rho(T)$ требуется точное знание температуры разогрева этого участка электронным пучком δT . Оценки величины δT , приводимые в ряде работ, например в [7], позволяют определить ее значение для выбранного режима работы РЭМ (U_B , I_B) лишь по порядку величины, так как в расчетах используется ряд параметров (теплопроводность, тепловое сопротивление между пленкой и подложкой, длина пробега электронов и т.д.), точное значение которых для данного материала неизвестно.

В настоящей работе параметр δT определялся путем подгонки расчетной зависимости $\delta U(T)$, вычисляемой из интегральной кривой $R(T)$, к экспериментальной. При этом экспериментальная

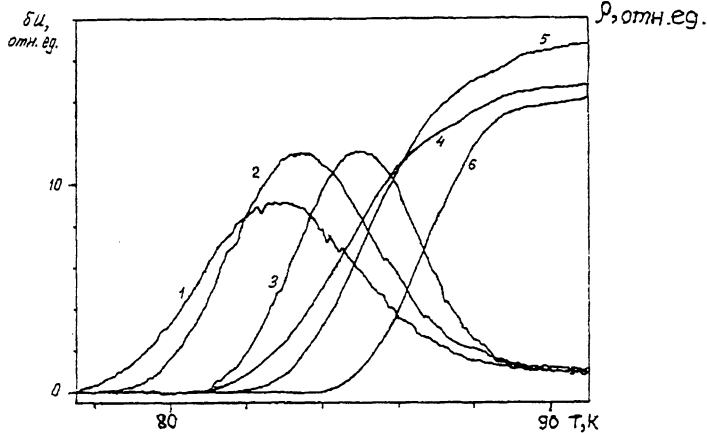


Рис. 2. Экспериментальные зависимости сигнала НИЭЗ от температуры (1, 2, 3), измеренные в разных точках ВТСП-микромостика, и соответствующие им расчетные характеристики $\rho(T)$ (4, 5, 6).

зависимость $\delta U(T)$ получалась при сканировании электронным зондом характерного для исследуемой структуры и однородного по площади участка размером $10 \times 10 \text{ мкм}^2$. Нормировка кривых проводилась на значение δU в области линейной зависимости $\rho(T)$. В этом случае остается всего один подгоночный параметр δT . Результаты определения величины локального разогрева δT представлены на рис. 1. Как видно, наилучшему совпадению кривых соответствует $\delta T = 3.4 \text{ К}$.

Измерение абсолютных значений сигнала НИЭЗ на пологом участке кривой $\delta U(T)$ дает возможность провести оценку эффективной площади δS , разогреваемой пучком, в соответствии с соотношением, приведенном в работе [3]. Отметим, что корректность проводимой таким способом оценки δS обеспечивается выбором температуры $T > T_C$, при которой практически весь объем ВТСП пленки переходит в нормальное состояние и сигнал НИЭЗ становится однородным по площади всего микромостика. В нашем случае ($U_B = 10 \text{ кВ}$) $\delta S = 0.8 \text{ мкм}^2$. Таким образом, пространственная разрешающая способность метода была не хуже 1 мкм . Действительно, на изображении одного из исследованных микромостиков наблюдались сильноконтрастные темные пятна диаметром $1-1.5 \text{ мкм}$.

На рис. 2 представлены локальные зависимости $\delta U(T)$, измеренные в нескольких характерных точках микромостика, и соответствующие им расчетные кривые $\rho(T)$. Параметры сверхпроводящего перехода T_C и ΔT_C в данных точках были равны

соответственно: точка 1 - 84.8 К и 4.8 К, 2 - 85.4 К и 4.0 К, 3 - 86.8 К и 3.2 К, при интегральных параметрах 87.0 К и 3.1 К. Таким образом, интегральная характеристика определяется параметрами участков с более высокой температурой сверхпроводящего перехода (точка 3) при условии наличия протекания тока по данной фазе. Локальные характеристики $\rho(T)$ отличаются друг от друга как величиной T_C (точки 2 и 3), так и наклоном резистивного участка (точки 1 и 2), что, по-видимому, связано с вариациями содержания кислорода по плоскости образца, наличием примесных фаз и дефектов кристаллической структуры. Хотя участки с параметрами T_C и ΔT_C , отличающимися от интегральных, могут не влиять на зависимость полного сопротивления микромостика $R(T)$, они могут приводить к снижению критических токов и к увеличению шумов ВТСП структур. Этот вопрос будет рассмотрен в отдельной публикации.

Работа выполнена в рамках проекта № 803 Научного Совета по проблеме ВТСП.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Clem J.R., Huebener R.P. // J. Appl. Phys. 1980. V. 51. P. 2764-2773.
- [2] Huebener R.P., Gross R., Bosch J. // Z. Phys. B. - Cond. Matt. 1988. V. 70. P. 425-430.
- [3] Umansky V.E., Solov'ev S.A., Konnikov S.G. et al. // Materials Letters. 1990. V. 9. P. 417-419.
- [4] Gross R., Mannhart J., Hippler K. et al. // Phys. C. 1989. V. 162-164. Pt. 2. P. 1603-1604.
- [5] Mannhart J., Gross R., Hippler K. et al. // Science (Reports). 1989. V. 245. P. 839-841.
- [6] Gross R., Doderer T., Huebener R.P. et al. // Phys. B. 1991. V. 169. P. 415-421.
- [7] Gross R., Hartmann M., Hippler K. et al. // IEEE Trans. Magn. 1989. V. 25 N 2. P. 2250-2253.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
20 октября 1992 г.