

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТОВ НА МИКРОТРЕЩИНЕ В Bi - Sr - Ca - Cu - O : Pb

Б.А.Аминов, А.А.Буш, А.Р.Кауль, М.А.Куликов, Л.И.Леонюк,
Т.Е.Оськина, М.В.Педяш, Д.К.Петров, Х.Т.Рахимов, К.Сетупати,
М.В.Судакова, Я.Г.Пономарев

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
119899, Москва

Поступила в редакцию 30 мая 1991 г.

Исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) контактов на микротрещине в образцах $\text{BiSrCaCuO} : \text{Pb}$ содержащих срastания фаз $2 : 2 : 1 : 2$ и $2 : 2 : 2 : 3$. На ВАХ контактов на микротрещине в этих образцах обнаружен участок вертикального роста тока при $V_g = \pm 2\Delta/e$ и "колено", типичное для туннельных структур типа $S_1 - S_2 - I - S_2 - S_1$. Температурные зависимости щелевого параметра Δ у этих образцов указывают на сильное влияние эффекта близости.

Одночастичное туннелирование в $S - I - S$ -структурах позволяет определить с хорошей точностью температурную зависимость щелевого параметра $\Delta(T)$ в сверхпроводнике в широком интервале температур вплоть до критической температуры T_c ¹. В настоящей работе зависимость щелевого параметра от температуры $\Delta(T)$ у $\text{BiSrCaCuO} : \text{Pb}$ ($2 : 2 : 2 : 3$ - и $2 : 2 : 1 : 2$ - фазы) определялась из вольт-амперных характеристик контактов на микротрещине (Break junctions²) в монокристаллических и поликристаллических образцах. Микротрещина в образце генерировалась при прогибе подложки с образцом при гелиевой температуре.

По данным рентгеноструктурного анализа монокристаллические образцы $\text{BiSrCaCuO} : \text{Pb}$ (в настоящей работе - серия *LIL*) имели структуру фазы $2 : 2 : 1 : 2$. Критическая температура, определенная по исчезновению щелевой структуры на ВАХ, для образцов серии *LIL* лежала в интервале $63 \text{ K} \leq T_c \leq 75 \text{ K}$. Величина щелевого параметра $\Delta(T)$ находилась из расстояния $V^* = 4\Delta/e$ между пиками динамической проводимости на $dI(V)/dV$ -характеристике.

У большинства исследованных образцов серии *LIL* отношение $2\Delta(0)/kT_c$ лежит в интервале $(5,8 \div 6,8)$, а температурная зависимость щели $\Delta(T)$ хорошо описывается в приведенных координатах формулой Таулесса³, расчет по которой дает результат, практически совпадающий с формальной теорией БКШ. Аналогичный результат получен нами для поликристаллических образцов со структурой фазы $2 : 2 : 2 : 3$ (серия *VS*) с критической температурой $98 \text{ K} \leq T_c \leq 104 \text{ K}$. Следует отметить, что щелевая структура на ВАХ контактов на микротрещине в монокристаллических образцах серии *LIL* и поликристаллических образцах серии *VS* была размыта в большей или меньшей степени, так что характерный для классических $S - I - S$ контактов вертикальный рост тока при смещении $V_g = \pm 2\Delta/e$ наблюдался лишь в исключительно редких случаях и сопровождался сильным гистерезисом, происхождение которого остается неясным.

Хорошо воспроизводимый участок вертикального роста тока в области "щелевых" смещений наблюдался нами при $T = 4,2 \text{ K}$ на ВАХ контактов на микротрещине в поликристаллических образцах $\text{BiSrCaCuO} : \text{Pb}$ серии *BUSH* и серии *OS* ($104 \text{ K} \leq T_c \leq 108 \text{ K}$) (рис. 1).

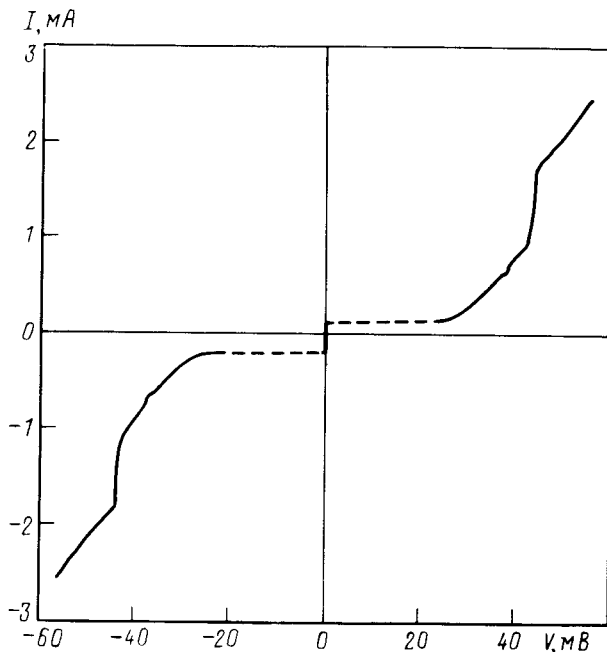


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика контакта на микротрещине в поликристаллическом образце $\text{BiSrCaCuO} : \text{Pb}$, содержащем сростания фаз $2 : 2 : 2 : 3$ и $2 : 2 : 1 : 2$, при $T = 4,2 \text{ K}$ (образец *OS-4*)

Рентгенографические исследования образцов серии *BUSH* показали, что образцы содержат $\sim 90\%$ фазы $2 : 2 : 2 : 3$ и по $\sim 5\%$ фаз $2 : 2 : 0 : 1$ и $2 : 2 : 1 : 2$. На рентгенограммах порошка образцов обнаружены рефлексы, указывающие на наличие в образцах фаз упорядоченного сростания, подобных фазам, обнаруженным в ^{4,5}. Эти фазы имеют структуру упорядоченного чередующихся по оси \vec{c} слоев фаз $2 : 2 : 0 : 1$, $2 : 2 : 1 : 2$ и $2 : 2 : 2 : 3$.

К характерным особенностям полученных нами ВАХ (типа изображенных на рис. 1. 1) кроме участка вертикального роста тока следует отнести существование четко выраженного "колена" в области щелевых смещений ($V \approx 2\Delta/e$), а также присутствие значительного избыточного тока при субщелевых смещениях. В качественном отношении $I(V)$ -характеристика на рис. 1 очень похожа на ВАХ ниобиевых контактов, в которых поверхность ниобия "отравлена" кислородом ^{6,7} и которые обычно относят к $S' - I - N - S$ - или $S - N - I - N - S$ -типу ^{8,9}. Следует отметить, что "колено" на ВАХ является также характерным признаком туннельных структур типа $S' - I - S_2 - S_1$ и $S_1 - S_2 - I - S_2 - S_1$, в формировании свойств которых эффект близости играет столь же большую роль ^{10,11}, как и в случае $S - N - I - N - S$ -структур ^{8,9}. Мы имеем основания предположить, что в исследованных контактах на микротрещине в образцах серии *OS* и серии *BUSH* формируются симметричные туннельные структуры либо типа $S - N - I - N - S$, либо типа $S_1 - S_2 - I - S_2 - S_1$. С ростом температуры пики динамической проводимости на dI/dV -характеристиках, соответствующие смещению $V_g = \pm 2\Delta/e$, сдвигаются в сторону меньших смещений как у образцов серии *OS* (рис. 2,а), так и у образцов серии *BUSH* (рис. 2,б), что связано с уменьшением щелевого параметра Δ . Следует при этом обратить внимание на существенно немонотонный характер уменьшения с температурой амплитуды пиков

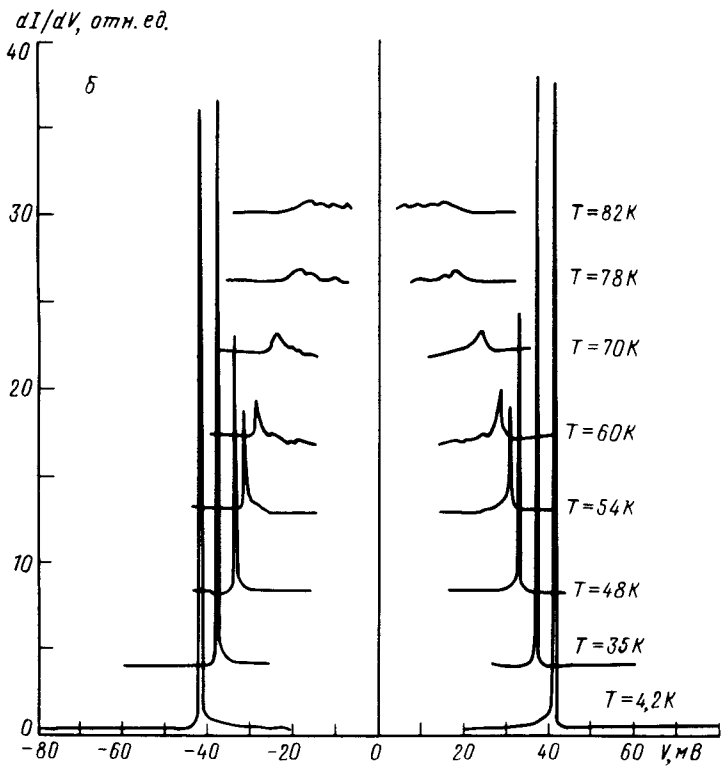
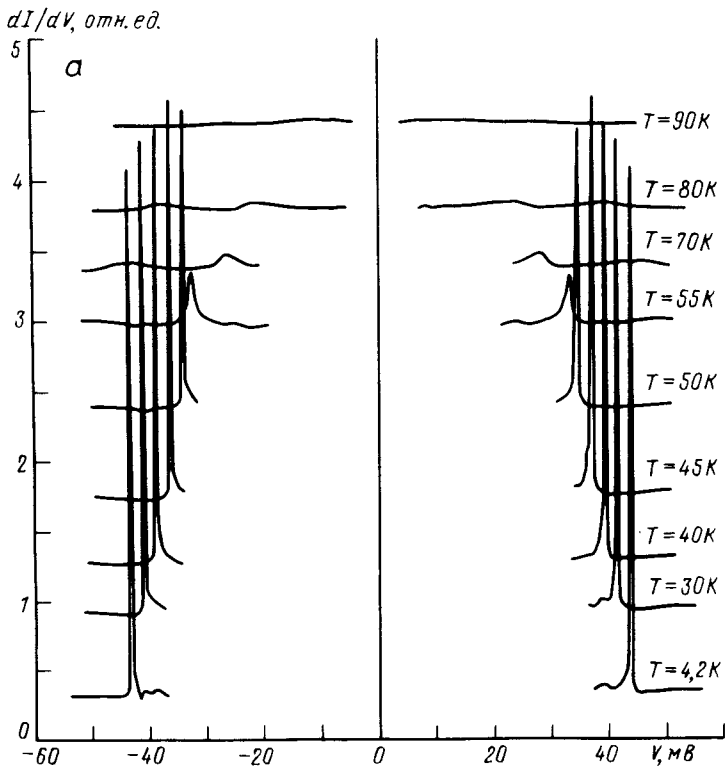


Рис. 2. dI/dV характеристики контактов на микротрещине при разных температурах: **a** - в образце OS-4; **б** - в образце $\text{BiSrCaCuO}:\text{Pb}$ содержащем сращения фаз 2 : 2 : 2 : 3 и 2 : 2 : 1 : 2 (образец BUSH - X)

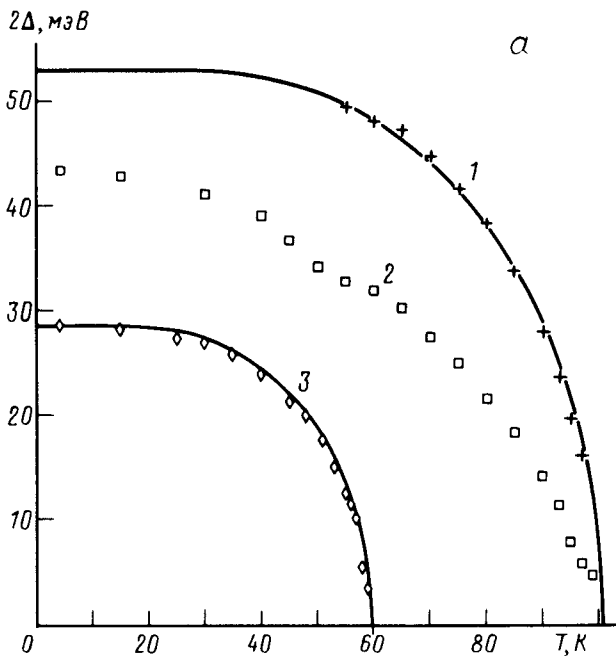
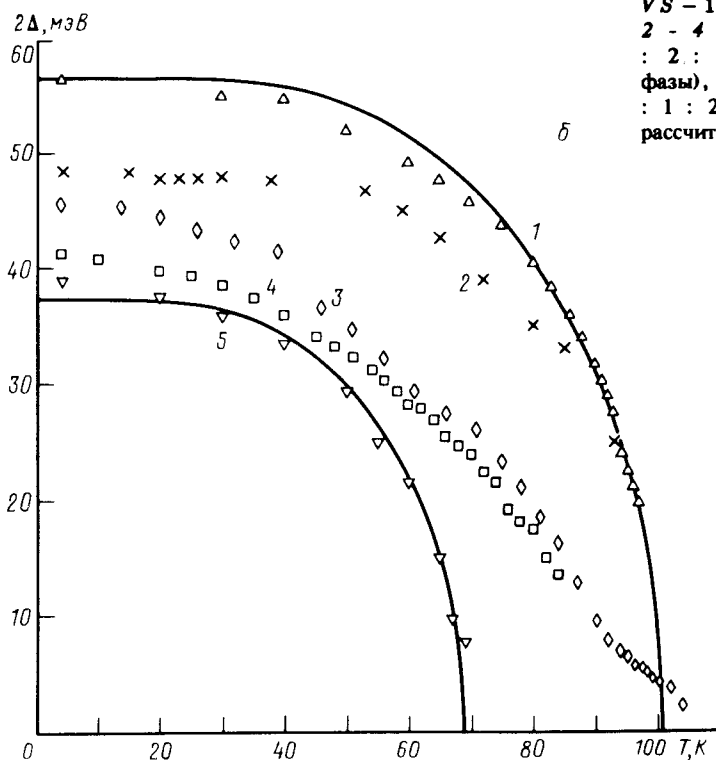


Рис. 3. Температурные зависимости величины 2Δ у образцов $\text{BiSrCaCuO} : \text{Pb}$: а - 1 и 2 - образец OS-4, содержащий срастания фаз 2 : 2 : 2 : 3 и 2 : 2 : 1 : 2, 3 - образец BUSH - 3 (2 : 2 : 1 : 2 - фаза); б - 1 - образец VS - 1 (2 : 2 : 2 : 3 - фаза), 2 - 4 - образцы серии BUSH (2 : 2 : 1 : 2 + 2 : 2 : 2 : 3 - фазы), 5 - образец LIL - 2 (2 : 2 : 1 : 2 - фаза). Сплошные кривые рассчитаны по формуле Таулесса



динамической проводимости: наиболее резкое падение амплитуды наблюдается в узком температурном интервале (45 К ÷ 55 К) (рис. 2,а, рис. 2,б),

который находится в непосредственной близости от области, где группируются критические температуры T_c различных образцов фазы 2 : 2 : 1 : 2. Последнее говорит в пользу существования в контактной области структуры типа $S_1 - S_2 - I - S_2 - S_1$, где S_1 - сверхпроводящая фаза 2 : 2 : 2 : 3, S_2 - тонкий слой сверхпроводящей фазы 2 : 2 : 1 : 2.

Температурная зависимость величины 2Δ , определенная из положения пиков динамической проводимости на dI/dV -характеристиках образца *OS-4* (рис. 2,а), приведена на рис. 3,а (ветвь 2). При $T \geq 60$ К на ВАХ образца *OS-4* была зафиксирована дополнительная щелевая структура меньшей амплитуды (рис. 2,а), которая дала вторую ветвь $2\Delta(T)$ на рис. 3,а (ветвь 1), хорошо согласующуюся с теоретическим расчетом по формуле Таулесса³ (сплошная линия на рис. 3,а) и соответствующую, по нашему убеждению, чистой фазе 2:2:2:3. Ветвь 2 на рис. 3,а, соответствующая основной щелевой особенности на ВАХ образца *OS-4* (рис. 1, рис.2,а), может быть отнесена к тонкому слою (возможно, - монослою) фазы 2: 2:1:2, щелевой параметр в котором существенно увеличен из-за действия эффекта близости в структуре $S_1 - S_2 - I - S_2 - S_1$.

Ветвь 3 на рис. 3,а получена для чистой фазы 2 : 2 : 1 : 2 (поликристаллический образец *BUSH-3*). Следует обратить внимание на немонотонный характер зависимости $2\Delta(T)$ (ветвь 2) как раз в области температур, где щель в чистой фазе 2 : 2 : 1 : 2 быстро убывает (ветвь 3).

На рис. 3,б приведены зависимости $2\Delta(T)$ в чистой фазе 2 : 2 : 2 : 3 (ветвь 1, поликристаллический образец *VS-1*), в чистой фазе 2 : 2 : 1 : 2 (ветвь 5, монокристаллический образец *LIL-2*), а также в поликристаллических образцах серии *BVSH* (ветви 2 - 4), содержащих срастания фаз, о которых говорилось выше. По-видимому, присутствие этих срастаний приводит к возникновению структуры типа $S_1 - S_2 - I - S_2 - S_1$ (S_1 -фаза 2 : 2 : 2 : 3, S_2 -фаза 2 : 2 : 1 : 2) при генерации микротрещины в образцах и к появлению зависимостей $2\Delta(T)$ (ветви 2 - 4), типичных для бислоев сверхпроводников с различающейся критической температурой^{10,12}, где эффект близости играет существенную роль. Не исключено, что в нашем случае "сильный" сверхпроводник (2 : 2 : 2 : 3) оказывает "залечивающее" действие на тонкий слой "слабого" (2 : 2 : 1 : 2) сверхпроводника, сглаживая флуктуации щелевого параметра в плоскости слоя. Последнее должно привести к росту времени жизни τ квазичастичных возбуждений и к уменьшению размытия пика плотности состояний, что, возможно, и вызывает появление участка вертикального роста тока на ВАХ контакта (рис. 1).

Остается неясным, как можно согласовать обнаруженные в работе особенности ВАХ контактов на микротрещине, указывающие на сильное действие эффекта близости, с малой величиной длины когерентности ξ в ВТСП¹³.

Авторы благодарны Арсееву П.И., Буздину А.И., Волкову Б.А., и Куприянову М.Ю. за исключительно полезные обсуждения. Авторы благодарны Брандту Н.Б., Гантмахеру В.Ф., Заварицкому Н.В. и Фишеру Л.М. за интерес к работе.

Литература

1. Солимар Л. Туннельный эффект в сверхпроводниках и его применение. М.: "Мир", 1974, 428с.
2. Moreland J., Ekin J.W. J. Appl. Phys., 1985, 58., 3888.
3. Thouless D.J., Phys. Rev. 1960, 117, 1256.

4. Буш А.А. Сверхпроводимость: физика, химия, техника., 1990, 3, N9, с.1.
 5. Luo J.S. et al. Journ. Sol. State Chem., 1990, 89, 94.
 6. Shen L.Y.L. Superconductivity in d- and f-band metals., (D.M.Douglass, Ed.), AIP Conf. Proc., N4, American Institute of Physics, N.Y., 1972.
 7. Broom R.F., Raider S.I., Oosenberg A. IEEE Trans. Electron. Dev., 1980, ED27, 1998.
 8. Golubov A.A., Kupriyanov M.Yu. Journ. Low Temp. Phys. 1988, 70, 83.
 9. Голубов А.А., Куприянов М.Ю. ЖЭТФ, 1989, 96, 1420.
 10. Gilabert A., Romagnan J.P., Guyon E. Sol. State Comm., 1971, 9, 1295.
 11. McMillan W.L. Phys. Rev., 1968, 175, 537.
 12. Vrba J., Woods S.B. Phys. Rev. B 1971, 3, 2243.
 13. Фические свойства ВТСП (под ред. Гинзберга Д.М.), М.: "Мир", 1990.
-