

05.4

© 1991

### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЩЕЛЕВОГО ПАРАМЕТРА В $Bi-Sr-Ca-Cu-O: Pb$

Л.И. Леонок, М.В. Педяш,  
Д.К. Петров, Я.Г. Пономарев,  
Х.Т. Рахимов, К. Сетупати,  
М.В. Судакова, А.Б. Теннакун

Исследования, проведенные на классических сверхпроводниках, показывают, что для точного определения величины щелевого параметра  $\Delta$  в широком температурном интервале с помощью туннельного эффекта наиболее удобны  $S-I-S$  туннельные контакты [1, 2]. Температурная зависимость щели  $\Delta(T)$  у  $YBa_2Cu_3O_7$  рассчитана из вольтамперных характеристик (ВАХ)  $S-I-S$  контактов в [3]. Для системы  $Bi-Sr-Ca-Cu-O$  делались попытки определить  $\Delta(T)$  из ВАХ  $N-I-S$  контактов (см. 4), а также из зависимости критического сверхтока от температуры  $I_C(T)$  у джозефсоновских контактов [5].

Создание хорошего  $S-I-S$  контакта на базе ВТСП сильно затруднено тем, что поверхность ВТСП материалов в обычных условиях теряет сверхпроводящие свойства. Дополнительные трудности возникают из-за малости длины когерентности  $\xi$  и малости длины свободного пробега  $l$  в ВТСП. Для получения из туннельных измерений информации, характеризующей объемные свойства сверхпроводника, необходимо, чтобы толщина поверхностного слоя с измененной под влиянием внешних воздействий структурой не превосходила  $\xi$ , что по порядку величины составляет для ВТСП  $\sim 10$  Å. Очевидно, что в такой ситуации создание  $S-I-S$  контактов с искусственным барьером без специальной обработки поверхности, восстанавливающей сверхпроводящие свойства поверхностного слоя, не представляется возможным. Преодолеть указанную трудность можно при использовании в качестве естественных барьеров бикристаллических границ [6], межзеренных границ [7] или криогенных сколов (*break junction*) [8]. В настоящей работе мы использовали естественный барьер шоттковского типа, возникающий на поверхности скола при генерации микротрещины в монокристаллических образцах  $Bi-Sr-Ca-Cu-O: Pb$  (2:2:1:2-фаза) при гелиевых температурах [9].

Одной из основных задач настоящей работы являлось определение температурной зависимости щелевого параметра  $\Delta(T)$ . У соединения  $Bi-Sr-Ca-Cu-O: Pb$ . С помощью лезвия от слитка отщеплялись тонкие (20-40 мкм) монокристаллические пластинки с зеркальными поверхностями и поперечными размерами

$\sim(2 \times 2)$  мм. Из полученных пластинок лезвием вырезались прямоугольные образцы с характерными поперечными размерами  $(0.5 \times 1.5)$  мм. Нами установлено, что использование образцов с толщиной  $\sim 100$  мкм и более приводит к появлению на ВАХ контактов очень сложной и невоспроизводимой структуры из-за попадания в контактную область вкраплений чужеродных фаз из маточного раствора. Специальная техника нанесения токовых и потенциальных контактов и техника монтажа образцов на рабочем столике исключали возможность повреждения образцов при установке в криостат. Материалом для контактов служил жидкий при комнатной температуре индий-галлиевый припой с избытком индия. При комнатной температуре образец фактически „плавал“ в индий-галлиевом припое на поверхности столика типа „крест“ из тонкого фольгированного стеклопласта с концентратором напряжений в центральной части столика. Перед установкой в криостат рабочий столик, несущий образец, предварительно немного прогибался микрометрическим винтом. Это позволяло после охлаждения вставки с образцом в криостате не только разводить контакт после генерации микротрещины, но и сводить его (т.е. закрывать микротрещину с помощью внешней нагрузки).

Возникновение микротрещины в образцах фиксировалось по падению критического сверхтока до десятков миллиампер. ВАХ контактов при этом приобретали вид, характерный для джозефсоновских  $S-I-S$ -переходов с большой емкостью (гистерезис в области перехода от сверхтока на „одночастичную“ ветвь) (рис. 1, а). Квантовый характер контактов этого типа обоснован в [5]. Как видно из рис. 1, а, щелевая особенность на „одночастичной“ ветви ВАХ выражена достаточно хорошо, однако она сильно размыта по сравнению с классическим  $S-I-S$ -контактом [1].

Определение щелевого параметра  $\Delta$  из размытых ВАХ без знания реальной физической причины, приводящей к размытию, является трудноразрешимой проблемой. В большом числе случаев авторы используют для определения щели при гелиевых температурах  $dI/dV$ -характеристики  $S-I-S$ - и  $N-I-S$ -контактов, предполагая, что расстояние  $V^*$  между локальными максимумами динамической проводимости на  $dI/dV$ -характеристике равно  $4\Delta/e$  ( $S-I-S$ -контакт) или  $2\Delta/e$  ( $N-I-S$ -контакт). Определенная таким способом величина  $\Delta$  может оказаться завышенной при сильном размытии ВАХ [10, 11].

В настоящее время для определения  $\Delta$  в ВТСП из размытых ВАХ широко используется метод Дайнса [12], учитывающий конечное время жизни квазичастичных возбуждений [4, 10, 11].

В настоящей работе величина  $\Delta$  для образца  $LIL-9-2$  при  $T=4$  К определялась как по методу Дайнса (рис. 1, б), так и из расстояния  $V^*$  между пиками динамической проводимости на  $dI/dV$ -характеристике  $S-I-S$ -контакта (рис. 1, а). Из приведенных в таблице данных следует, что значение  $\Delta$ , определенное вторым способом, оказывается завышенным примерно на 10%. Отметим, что увеличение критической температуры  $T_c$  сопровождается ростом  $\Delta$  (см. таблицу).

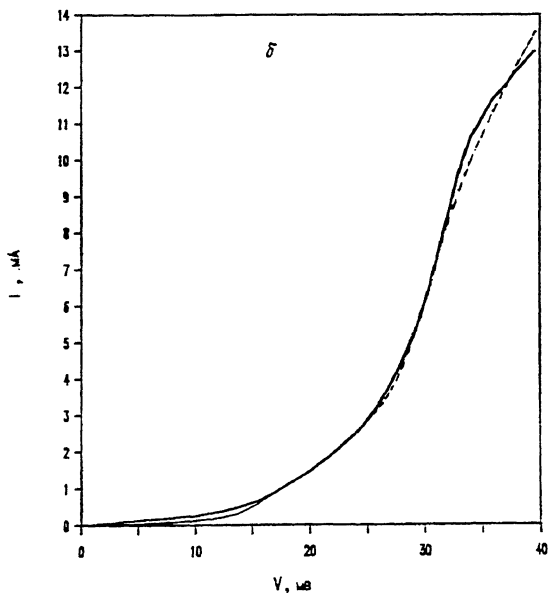
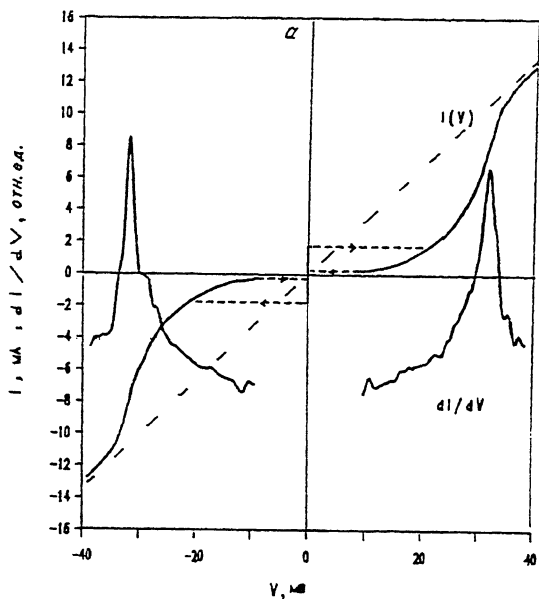


Рис. 1.  $I(V)$ - и  $dI(V)/dV$ -характеристики контакта на микро-трещине в монокристаллическом образце  $LIL-9-2$  соединения  $Bi-Sr-Ca-Cu-O: Pb$  (2:2:1:2-фаза) при  $T=4$  2K (а) и «одночастичная» ветвь на ВАХ контакта  $LIL-9-2$  при  $T=4$  2K (толстая линия - эксперимент, тонкая линия - расчет по модели Дайнса с параметрами, приведенными в табл. 1) (б).

Щелевой параметр  $\Delta(O)$  и параметр размытия  $\Gamma$ , определенные по методу Дайнса [12], критическая температура  $T_C$ , величина  $eV^*/4$ , величина  $eV^*/4$ , где  $V^*$  - расстояние между пиками динамической проводимости на  $dI/dV$ -характеристике и отношение  $2\Delta(O)/kT_C$  у ряда исследованных в работе монокристаллических образцов  $Bi-Sr-Ca-O$  -  $Ca-O$  -  $Pb$  (2:2:1:2-фаза) и у образцов  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$  по данным работы [13] (\* - результаты расчета по методу Дайнса, \*\* - результаты расчета из расстояния между локальными пиками динамической проводимости).

Образец	$\Delta(O)$ , мэВ	$\Gamma$ , мэВ	$eV^*/4$ , мэВ	$T_C$ , К	$\frac{2\Delta(O)}{kT_C}$	Работа
LIL-9-2 (монокристалл)	14.9*	2.0*	16.0	65	5.3*	Настоящая работа
LIL-740-1 (монокристалл)	--	--	16.3	70	5.4**	"
LIL-740-2 (монокристалл)	--	--	21.3	73	6.8**	"
LIL-2 (монокристалл)	--	--	21.3	75	6.6**	"
$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ (N-I-S)	15.0**	--	--	59.5	5.8**	[13]
$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ (N-I-S)	19.9**	--	--	76.7	6.0**	[13]

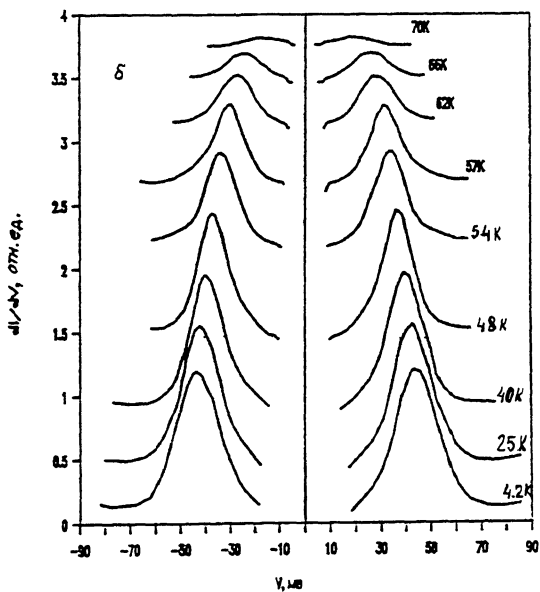
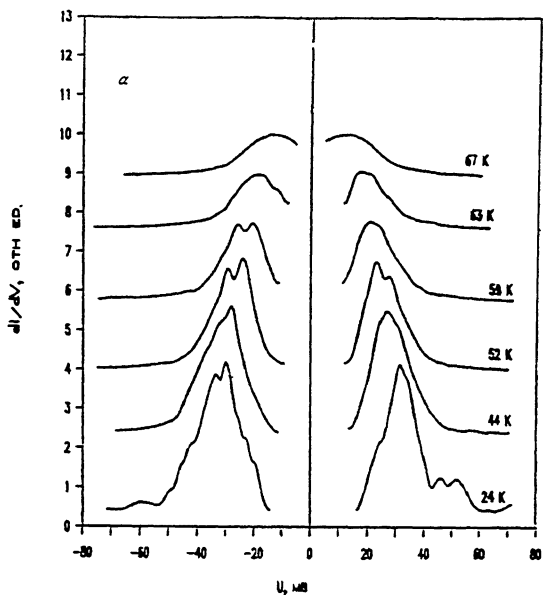


Рис. 2.  $dI(V)/dV$ -характеристики контактов на микротрещине в монокристаллических образцах  $Bi-Sr-Ca-Cu-O: Pb$  в широком температурном интервале  $4.2 K < T < T_c$ : а - образец LIL-740-1 ( $T_c = 70 K$ ), б - образец LIL-740-2<sup>c</sup> ( $T_c = 73 K$ ).

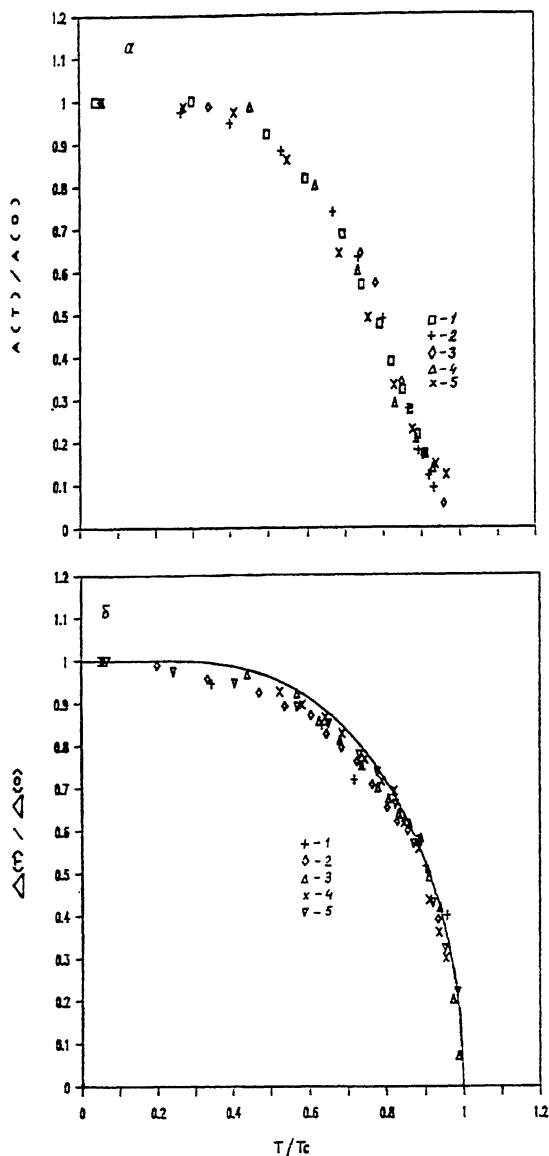


Рис. 3. Температурная зависимость амплитуды пиков динамической проводимости на  $dI(V)/dV$ -характеристиках контактов на микро-трещине в образцах: 1 -  $VS-1$  ( $T_C=101$  К), 2 -  $LIL-2C$  ( $T_C=75$  К), 3 -  $LIL-740-2$  ( $T_C=73$  К), 4 -  $LIL-3$  ( $T_C=71$  К), 5 -  $LIL-2X$  ( $T_C=73$  К), (а) и температурная зависимость шелевого параметра в приведенных координатах у образцов: 1 -  $LIL-740-1$  ( $T_C=70$  К), 2 -  $LIL-2$  ( $T_C=75$  К), 3 -  $LIL-3C$  ( $T_C=71$  К), 4 -  $LIL-4$  ( $T_C=77$  К), 5 -  $LIL-5$  ( $T_C=62$  К) (б).

Определение температурной зависимости щелевого параметра  $\Delta(T)$  у монокристаллических образцов  $Bi-Sr-Ca-Cu-O: Pb$  (2 : 2 : 1 : 2-фаза) проводилось в настоящей работе из  $dI/dV$ -характеристик туннельных контактов на микротрещине, записанных в широком температурном интервале  $4.2K < T < T_C$  (рис. 2, а, б). Для работы отбирались ВАХ с малыми избыточными токами при  $V < 2\Delta/e$ . Величина щелевого параметра  $\Delta(T)$  в этом случае рассчитывалась из расстояния  $V^*(T) = 4\Delta(T)/e$  между локальными максимумами динамической проводимости на  $dI/dV$ -характеристиках. Величина  $V^*(T)$  с ростом температуры  $T$  в начальном интервале температур меняется мало, а при подходе к  $T_C$  начинает быстро уменьшаться (рис. 2, а, б). Значение  $T_C$  выбиралось по исчезновению щелевой структуры на  $dI/dV$ -характеристиках с точностью  $\pm 3\%$  (рис. 3, а). Было установлено, что это значение далеко не всегда согласуется с величиной критической температуры, определенной из температурной зависимости сопротивления  $R(T)$ , снятой до генерации микротрещины, что связано с неоднородностью исследованных образцов.

Температурные зависимости щелевого параметра  $\Delta(T)$  в приведенных координатах, полученные для ряда исследованных монокристаллов  $Bi-Sr-Ca-Cu-O: Pb$ , хорошо согласуются между собой (рис. 3, б) и удовлетворительно описываются формальной теорией БКШ (сплошная кривая на рис. 3, б).

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Blackford B.L., March R.H. // Can. J. Phys. 1968. N 46. P. 141.
- [2] Hayashi S., Aoki R. // J. Phys. Soc. Jap. 1987. N 56. P. 3398.
- [3] Аминов Б.А. и др. // ФНТ. 1989. № 15. С. 1081.
- [4] Kirtley J.R. // Intern. J. Mod. Phys. B. 1990. N 4. P. 201.
- [5] Aminov B.A. et al. // Physica C. 1989. N 160. P. 505.
- [6] Степанкин В.Н. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1985. № 41. В. 1. С. 21.
- [7] Viera S. et al. // Phys. Rev. B. 1989. N 40. P. 11403.
- [8] Moreland J., Ekin J.W. // J. Appl. Phys. 1985. N 58. P. 3888.
- [9] Aminov B.A., et al. // XIX Intern. Conf. Low Temp. Phys. Sussex, UK, 1990. P. 190.
- [10] Huang Q. et al. // Phys. Rev. B. 1989. N 40. P. 9366.
- [11] Hasegawa T. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1989. N 28. P. L179.

[12] D y n e s R.C. et al. // Phys. Rev. Lett. 1984, N 53. P. 2437.

[13] T s a i J.S. et al. // Physica C. 1989. N 157. P. 537.

Поступило в Редакцию  
11 марта 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 9

12 мая 1991 г.

12

© 1991

### О НОВОМ НАПРАВЛЕНИИ В ТЕХНИКЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ МАГНИТНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

А.Н. А в е р к и н, В.П. Д м и т р и е в

В настоящей работе описаны первые экспериментальные результаты, относящиеся к новому направлению в микроэлектронной технике магнитной записи, а также приводятся краткие их обоснования.

В качестве информационной среды нами были использованы тонкослойные полосы магнитоодноосного материала с осью легкого намагничивания (СЛН), перпендикулярной плоскости полосы, с периодически меняющейся шириной и смещенным от середины периода максимумом ширины. На рисунке приведены фотографии одного из таких носителей информации - область поворота замкнутого сдвигового регистра с периодом 8 мкм, выполненный из ферритгранатового материала с намагниченностью насыщения  $4\pi M_S = 170$  Гс толщиной 0.5 мкм.

В таком носителе в отсутствии внешних полей подмагничивания (смещения) устойчиво существует монодоменное состояние (светлая часть полосы на фотографиях). В то же время воздействием локального импульсного магнитного поля, коллинеарного ОЛН, в носителе может быть осуществлена генерация доменов с намагниченностью, антипараллельной исходному доменному состоянию, и столь же устойчивых (темная часть полосы на фотографиях). В отсутствие внешних полей доменные границы (ДГ) занимают положения в локусах полосы, где их энергия минимальна.

Перемещение ДГ происходит под действием однородного в пределах всего регистра магнитного поля, ориентированного параллельно ОЛН. Поле старта, то есть величина поля, при котором ДГ начи-