

ЭФФЕКТ МЕРСЕРО У ТОЧЕЧНЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ КОНТАКТОВ НА БАЗЕ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ В ОБЛАСТИ АЗОТНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Б.А.Аминов, В.В.Борисовский, Н.Б.Брандт, Р.Мюллер,
Нгуен Минь Тху, Я.Г.Пономарев, М.В.Судакова,
И.Э.Грайбой, А.Р.Кауль, Ю.Д.Третьяков

Исследованы вольт-амперные характеристики точечных джозефсоновских контактов на базе $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в широком интервале температур. Обнаружены интерференционные эффекты в магнитном поле в области азотных температур у контактов различной геометрии. У двухконтактного интерферометра с эффективным поперечником контура ~ 8 мкм. обнаружено увеличение частоты осцилляций Мерсео при приближении к T_c связанное с ростом глубины проникновения магнитного поля $\lambda(T)$.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) ¹ положило начало интенсивному исследованию этих материалов. Одним из важнейших направлений, как с научной, так и с прикладной точек зрения, является изучение эффекта Джозефсона на этих соединениях.

В настоящей работе исследовались вольт-амперные характеристики (ВАХ) джозефсоновских контактов на базе металлооксидного соединения $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в широком температурном интервале. Способ приготовления образцов описан в работе ². Методика создания точечных контактов приведена в ³. Для исследования ВАХ туннельных переходов использовался автоматический мост, конструкция которого описана в ⁴.

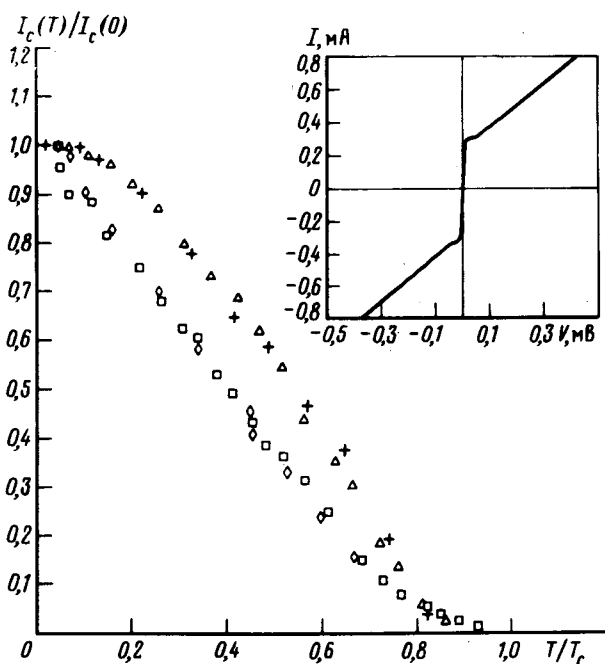


Рис. 1. Зависимости приведенного критического тока $I_c(T)/I_c(0)$ от приведенной температуры T/T_c для четырех джозефсоновских контактов на базе $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($I_c = 120$ мкА – (+), 220 мкА – (◇), 670 мкА – (□), 2 мА – (Δ) при $T = 4,2$ К). На вставке – $I(V)$ -характеристика для одного из джозефсоновских контактов при $T = 77,3$ К

Характерная зависимость $I(V)$ для точечного джозефсоновского контакта при $T = 77,3$ К изображена на вставке на рис. 1. Зависимости приведенного критического тока $I_c(T)/I_c(0)$

от приведенной температуры T/T_c для четырех точечных джозефсоновских контактов представлены на рис. 1. Следует отметить, что температурные зависимости критического джозефсоновского тока исследованных контактов не описываются известным соотношением Амбегаокара – Баратова⁵. Полученные в настоящей работе зависимости характерны для структур типа $SNINS$ ⁶ или SNS -переходов⁷. Наличие на поверхности зерен диэлектрического барьера типа Шотки, а также переходного металлического слоя между диэлектрическим барьером и объемным сверхпроводником, обсуждалось ранее для случая металлооксидного соединения $VaPb_{1-x}Bi_xO_3$ ⁸. Аналогичные зависимости $I_c(T)$ для контактов на базе ВТСП были получены рядом авторов⁹⁻¹¹.

У исследованных в работе контактов в области азотных температур ВАХ смазываются заметным образом тепловыми флуктуациями. Тем не менее, фазовая когерентность, обуславливающая интерференционные эффекты в магнитном поле, сохраняется вплоть до ~ 80 К.

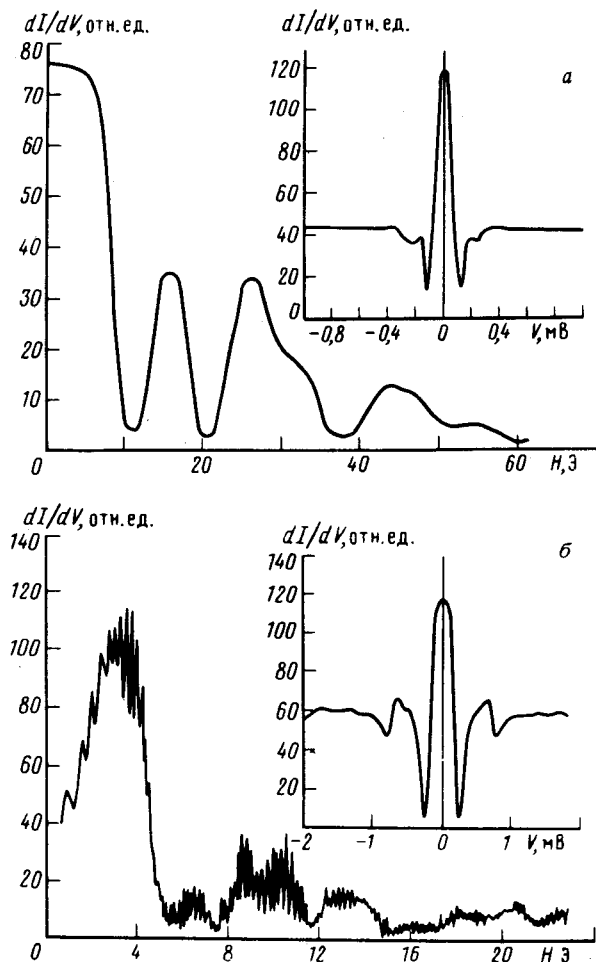


Рис. 2. Зависимости $dI/dV|_{V=0}(H)$ и $dI/dV|_{H=0}(V)$ (на вставке) у одного точечного джозефсоновского контакта при $T = 62,4$ К (а) и двухконтактного интерферометра при $T = 66,5$ К (б)

В случае одного точечного контакта с dI/dV -характеристикой при $H = 0$, приведенной на вставке на рис. 2 а, зависимость дифференциальной проводимости при нулевом смещении $dI/dV|_{V=0}$ от магнитного поля имеет вид осцилляций, затухающих по амплитуде с ростом H (рис. 2 а). Указанная зависимость качественно аналогична полевой зависимости критического сверхпроводящего тока у одного "идеального" джозефсоновского контакта, ко-

торая описывается формулой ¹² :

$$I_c(H) = I_c(0) \left| \frac{\sin(\pi\Phi/\Phi_0)}{\pi\Phi/\Phi_0} \right|,$$

где Φ — полный поток через боковое сечение контакта, $\Phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-7}$ Гс·см² — квант магнитного потока.

Присутствие биений на зависимости $dI/dV|_{V=0}(H)$ (рис. 2а) является следствием неоднородного распределения тока в плоскости контакта ¹².

У ряда исследованных точечных джозефсоновских контактов осцилляционная зависимость типа $|\sin(x)/x|$ промодулирована более высокой частотой (рис. 2б). Подобная зависимость характерна для двух джозефсоновских контактов, включенных параллельно (эффект Мерсеро). Отсутствие стопроцентной модуляции характеристики на рис. 2б является следствием нетождественности переходов в контуре ¹².

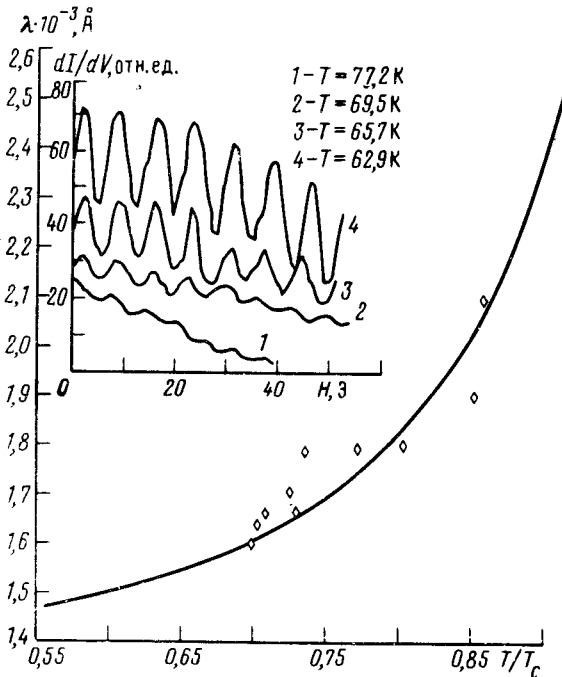


Рис. 3. Зависимость глубины проникновения магнитного поля λ от температуры. Сплошная кривая проведена по теории (см. текст). На вставке приведены зависимости $dI/dV|_{V=0}(H)$ (осцилляции Мерсеро) при различных температурах для двухконтактного интерферометра с эффективным поперечником контура ~ 8 мкм

Оценочный расчет эффективной ширины джозефсоновских контактов: $L_{\text{эфф}} = \Phi_0 / (\Delta_{\text{нч}} 2\lambda(T))$ ($\Delta_{\text{нч}}$ — период низкочастотных осцилляций типа $|\sin(x)/x|$, $\lambda(T)$ — глубина проникновения магнитного поля, причем $\lambda \gg \xi$ — длины когерентности и $\lambda(0) = 1400 \text{ \AA}$ ¹³), показал, что $L_{\text{эфф}}$ не превышает характерного размера зерен в керамике ($\sim 10 \div 50$ мкм). Случай с двумя параллельными контактами реализуется, видимо, при двух проколах барьера в области контакта двух сверхпроводящих зерен, плотно прижатых друг к другу. Эффективная высота контура, охватывающего контакты, в этом случае равняется примерно $2\lambda(T)$. Для таких контактов наблюдается увеличение частоты осцилляций Мерсеро с ростом температуры, что связано с ростом глубины проникновения магнитного поля $\lambda(T)$ (вставка на рис.3). Этот эффект позволяет рассчитать $\lambda(T)$ из температурной зависимости периода осцилляций Мерсеро и сравнить полученную зависимость с теоретической: $\lambda(T) = \lambda(0)[1 - (T/T_c)]^{-1/2}$ ¹², в интервале температур $T = (60 \div 80) \text{ K}$ (рис. 3).

У интерферометра, с помощью которого были получены осцилляции Мерсеро, приведенные на рис. 3, эффективная ширина контактов $L_{\text{эфф}}$ составила $\sim 0,54$ мкм, а эффективный поперечник контура, охватывающего два контакта, равнялся ~ 8 мкм.

Литература

1. *Bednorz T.G., Muller K.A.* Z. Phys. 1986, **В64**, 189.
2. *Krabbles G., Muller R., Ritschel M. et al.* Phys. Stat. Sol. (A), 1987, **104**, K61.
3. Аминов Б.А., Грабой И.Э., Кауль А.Р. и др. Письма в ЖЭТФ, (Приложение), 1987, **46**, 55.
4. Пономарев Я.Г., Рахманина А.В. ПТЭ, 1970, **5**, 120.
5. *Ambegaokar V., Baratoff A.* Phys. Rev. Lett., 1963, **10**, 486.
6. Заикин А.Д., Жарков Г.Ф. ЖЭТФ, 1980, **78**, 721.
7. *De Gennes P.G.* Rev. Mod. Phys., 1964, **36**, 225.
8. *Enomoto Y., Murakami T.* Jap. J. Appl. Phys., 1985, **24**, 471.
9. *Sugishita A., Yanagisawa M., Igushi I.* Jap. J. Appl. Phys. Lett., 1987, **26**, L1472.
10. *Tsai J.-S., Kubo Y., Tabuchi J.* Jap. J. Appl. Phys. Lett., 1987, **26**, L701.
11. *Moriwaki K., Enomoto Y., Murakami T.* Jap. J. Appl. Phys. Lett., 1987, **26**, L521.
12. Бароне А., Патерно Дж. Эффект Джозефсона. М.: Мир, 1984.
13. *Cava R.J., Batlogg B., van Dover R.B. et al.* Phys. Rev. Lett., 1987, **58**, 1676.

Московский
государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию
19 апреля 1988 г.