

ИССЛЕДОВАНИЕ СТУПЕНЕК ТОКА НА ВАХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ КОНТАКТОВ $YBaCuO-YBaCuO$

С. И. Боровицкий, В. Д. Геликонова, Е. С. Демидов,
А. М. Клушин, П. В. Павлов

Появление сверхпроводников с критической температурой T_c выше 90 К [1] стимулировало изучение эффекта Джозефсона на контактах из этих материалов. Сверхпроводящая керамика пронизана множеством слабых связей, проявляющих при $T < T_c$ эффект Джозефсона. Очевидно, что контакты, изготовленные из такого материала [2-5], могут иметь вольт-амперную характеристику (ВАХ), являющуюся результатом сложения ВАХ отдельных последовательно соединенных переходов с разными параметрами. Это обстоятельство может быть одной из причин конечного наклона ступенек тока, появляющихся при электромагнитном облучении контактов, что ограничивает их использование в эталонах вольта.

Ниже излагаются результаты экспериментального исследования джозефсоновских контактов $YBaCuO-YBaCuO$, позволяющих наблюдать ступеньки тока с малым наклоном при азотной температуре.

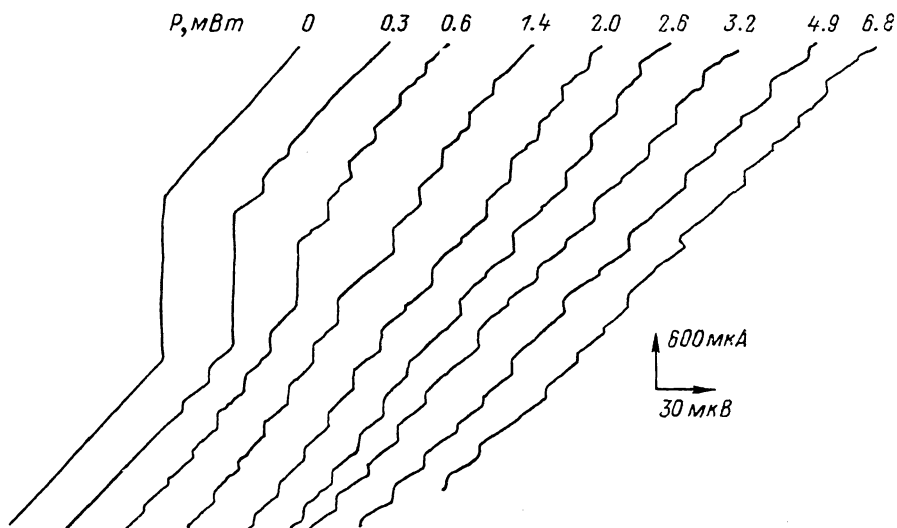


Рис. 1.

Керамика $YBa_2Cu_3O_x$ приготавливалась методом высокотемпературного спекания в атмосфере кислорода, поток которого поддерживался достаточным для формирования соединения с $x \approx 7$. Исходная смесь из окислов Y_2O_3 , CuO и гидроксида $Ba(OH)_2 \cdot H$ была несколько обогащена медью, что позволило получать керамику с критической температурой $T_c = 93-94$ К, шириной сверхпроводящего перехода $\Delta T \leq 0.8$ К и плотностью критического тока ~ 500 А/см² при $T = 78$ К. Рентгенограмма показала в керамике слабо заметные пики от включений, не принадлежащих орторомбической фазе $YBa_2Cu_3O_x$.

Джозефсоновские контакты создавались перепиливанием по методу [2] образцов керамики размером $7 \times 1.5 \times 2$ мм до достижения критического тока $I_c = 1-3$ мА.

На рис. 1 приведены ВАХ джозефсоновского контакта $YBaCuO-YBaCuO$ при воздействии СВЧ сигнала частотой $f = 8.6$ ГГц и разных уровней мощности, а на рис. 2 — кривые, показывающие поведение краев ступенек тока I при изменении амплитуды a колебаний СВЧ при $T = 78$ К. Зависимость размаха ступенек по току от a качественно совпадает с полученной из резистивной модели для одиночного контакта [6]. Из отношений $a_n^{(2)}$ к $a_n^{(1)}$, при которых n -я ступенька исчезает соответственно во второй и первый раз для $n = 0, 1, 2$, найдена безразмерная частота контакта $\omega = 0.20 \pm 0.01$. Это означает, что характерная частота контакта при азотной температуре $f_c(78) = 43$ ГГц. Положение зародышей ступенек на оси I/I_c было определено из анализа семейства ВАХ при разных малых a . Разнесение ступенек по току при любых a значительно превосходит то, которое предсказывает резистивная модель.

С увеличением частоты сигнала до $f=18.2$ ГГц картина изменяется в соответствии с пропорциональным частоте ростом ω . На третьей ступеньке при увеличении a появляется и продвигается в сторону малых токов смещения наклон. Мы связываем его с ВАХ второго, последовательно включенного, контакта, параметры которого можно оценить по продвижению наклона с изменением a : критический ток примерно равен I_c основного контакта, а $f_c \approx 15$ ГГц.

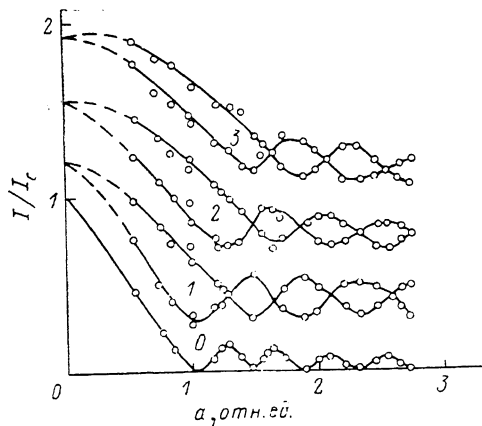


Рис. 2.

Критическая температура контакта T_c^* близка к T_c керамики. При охлаждении образца $I_c \sim (T - T_c^*)$, а ω уменьшается таким образом, что $I_c(T)/I_c(78) = f_c(T)/f_c(78)$ и, следовательно, сопротивление контакта не зависит от температуры ниже 78 К. При гелиевой температуре $f_c = 250$ ГГц $\omega = 0.04$. В последнем случае разнесение ступенек несколько уменьшается, но остается весьма значительным. Этот факт не удается объяснить следующими известными дополнениями резистивной модели: индуктивностью, включенной последовательно контакту или его сопротивлению, несинусоидальной зависимостью фазы $|\varphi|$ сверхпроводящего тока и учета в нем члена с $\cos \varphi$.

Измерение дифференциального наклона ступеньки проводилось модуляционным методом. Напряжение на переходе измерялось синхронным вольтметром с постоянной времени $\tau = 30$ с, выходной сигнал с которого фиксировался на самописце. Для исключения ядрейфа нуля фаза переменного тока периодически менялась на 180° . На рис. 3 приведены зависимости выходного напряжения при выборе рабочей точки

в середине первой ступеньки тока (a) и при смещении к ее краю (b). Разрывы в записях соответствуют моментам изменения фазы тока. Дифференциальное сопротивление $R_d = \Delta v / I_{\sim}$ в центре первой ступеньки, размах которой по току 300 мкА, при токе модуляции $I_{\sim} = 20$ мкА не превышает 5×10^{-6} Ом и быстро растет при смещении к краю ступеньки, что не может быть объяснено тепловыми флуктуациями (тепловой ток при $T = 78$ К равен 3.2 мкА). Дифференциальное сопротивление нулевой ступеньки при $I_{\sim} = 1$ мА не более $4 \cdot 10^{-8}$ Ом.

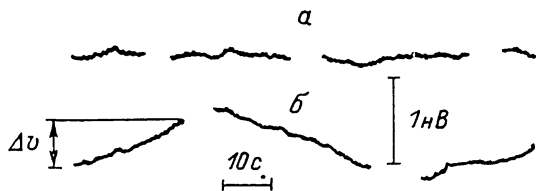


Рис. 3.

В большинстве случаев у исследованных нами контактов при азотной температуре ступеньки ВАХ при увеличении амплитуды СВЧ не осциллируют с такой регулярностью, как на рис. 2, и имеют заметный наклон. Иногда удается распознать в сложной ВАХ наложение характеристик последовательно включенных контактов. При дальнейшем охлаждении обычно исчезает наклон первых ступенек и их изменение с увеличением a становится регулярным, т. е. наблюдается ВАХ одного контакта. Это свидетельствует о том, что температурные зависимости параметров слабых связей в керамике могут сильно отличаться.

Список литературы

- [1] Wu M. K., Ashburn J. R., Torng C. J. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. Vol. 58. N 9. P. 908—910.
- [2] Higshigo Y., Takahashi T., Kawai T., Naito S. // Jap. J. Appl. Phys. 1987. Vol. 26. N 7. P. L1211—L1213.
- [3] Chaughin F., Lin S., Bocai M., Jun L. // Sol. St. Commun. 1987. Vol. 64. N 5. P. 689—690.
- [4] Wu P. H., Cheng Q. H., Yang S. Z. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1987. Vol. 26. N 10. P. L1579—L1580.
- [5] Заварицкий Н. В., Заварицкий В. Н. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. Вып. 7. С. 334—337.
- [6] Лизарев К. К. Введение в динамику джозефсоновских переходов. М.: Наука, 1985. 320 с.

Поступило в Редакцию
22 августа 1988 г.