

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Changxin F., Lin S., Bosai M., Jun L. // Sol. St. Comm. 1987. N 64. P. 689.
- [2] Tanabe H., Kita S., Yoshizako Y., Tonauchi M., Kobayashi T. // Japan. J. Appl. Phys. 1987. N 26. P. 1961.
- [3] Yamashite T., Kawakami A., Noge S. et al. // Japan. J. Appl. Phys. 1988. N 27. P. 1107.
- [4] Lin A.Z., Li H.Q., Liu F.W., Tang L. // Japan. J. Appl. Phys. 1988. N 27. P. 1204.
- [5] Бароне А., Патерно Дж. Эффект Джозефсона. Физика и применение, 1984. М.: Мир.
- [6] Кулик И.О., Омелянчук А.Н. // ФНТ. 1977. № 3. С. 945.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
26 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7

12 апреля 1989 г.

05.4

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ИОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ
МЕТАЛЛОКСИДНОГО СОЕДИНЕНИЯ $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

С.В. Антоненко, А.И. Головашкин,
В.Ф. Елесин, И.А. Есин,
П.Б. Жилин, В.Е. Жучков,
С.И. Красносвободцев, А.С. Молчанов,
Е.В. Печень, Б.М. Попов,
И.А. Руднев

Сверхпроводящая пленка $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ была облучена ионами He^{++} с энергией $E = 3.6$ МэВ при температуре $T_{\text{обл}} < 35$ К.

Установлено, что эта пленка гораздо менее чувствительна к облучению, чем пленка $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. В процессе динамического воздействия ионного пучка получена зависимость критического тока от интенсивности пучка.

До настоящего времени подавляющее большинство экспериментальных работ по воздействию как нейтронного, так и ионного облучения на свойства ВТСП были выполнены на соединениях типа $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, иногда облучали $\text{La}_{1.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CuO}_4$ [1-3]. Однако существует боль-

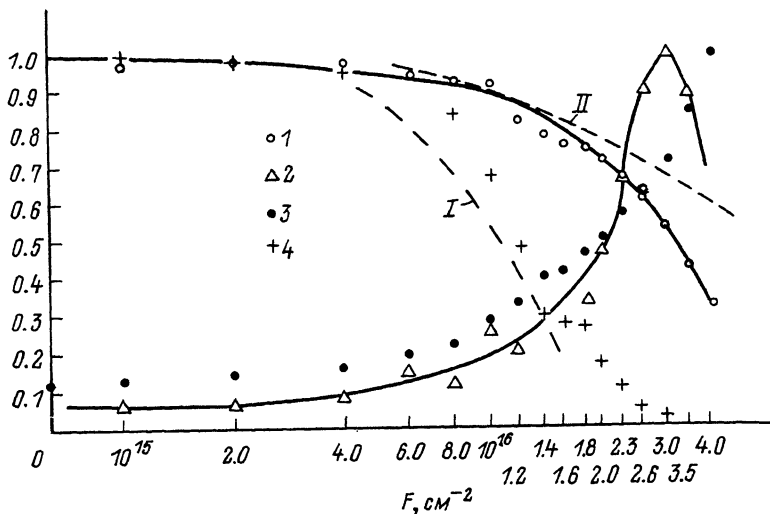


Рис. 1. Зависимость приведенных величин T/T_c (1), $\Delta T/\Delta T_c$ (2), R/R_0 (3), j_c/j_{c0} (4) при $T = 20$ К, $V = 0$ от флюенса Φ ионов He ($E = 3.6$ МэВ, $T_{обл} \sim 30$ К). I - пленка Nb_3Sn , II - пленка $YBa_2Cu_3O_7$ (условия облучения те же).

шое число соединений, обладающих очень хорошими критическими характеристиками, например соединение $NbBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Представляет определенный интерес исследование радиационной повреждаемости этих соединений, так как в настоящее время нет полного понимания роли лантаноидов в образовании сверхпроводимости.

В настоящей работе представлены результаты измерения критической температуры T_c , критического тока j_c и электросопротивления R пленки $NbBa_2Cu_3O_7$ при низкотемпературном ($T_{обл} < 35$ К) ионном облучении и влияния последующего отжига, а также результаты исследования измерения критического тока под динамическим воздействием пучка ионов.

Пленка $NbBa_2Cu_3O_7$ была получена методом лазерного напыления на подложку из титаната стронция. Толщина пленки составляла 0.22 ± 0.01 мкм. Критические характеристики: $T_{сн} = 90.7$ К, $T_c = 90.2$ К, $T_{ск} = 89.2$ К. $T_{сп}$, T_c' , $T_{сн}$ - значения температур, соответствующих уровням 0.9 P, 0.5P, 0.1P, где P - изменения электросопротивления при переходе из нормального в сверхпроводящее состояние; плотность критического тока при температуре кипения жидкого азота - $j_c = 9.9 \cdot 10^5$ А/см² ($V = 0$). Электросопротивление образцов измерялось резистивным четырехконтактным методом на постоянном токе. Критический ток измерялся четырехконтактным методом на узкой полоске (мостике) пленки по появлению напряжения на потенциальных контактах, равного $2.5 \cdot 10^{-6}$ В.

Образец облучали ионами гелия с энергией 3.6 МэВ на циклотронном ускорителе при температуре держателя образца ~ 30 К. Погрешность в определении флюенса составляла $\pm 5\%$, интенсивность облучения $I = 5 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Измерение T_c , j_c , R проводилось после каждого флюенса Φ непосредственно в приемной камере ускорителя. Образец при измерениях не нагревали выше 100 К.

На рис. 1 приведены экспериментальные результаты по зависимостям приведенных величин критической температуры (T_c/T_{c0}), критического тока (j_c/j_{c0}), электросопротивления (R/R_0) и ширины перехода ($\Delta T_c/T_{c0}$) пленки от флюенса облучения. Для сравнения пунктирной и штрих-пунктирной линиями представлены зависимости по T_c/T_{c0} соответственно для $YBa_2Cu_3O_7$ [4] ($T_{\text{обл}} = 25-30$ К) и Nb_3Sn ($T_{\text{обл}} = 300$ К). Из рисунка вытекают ряд выводов: прежде всего следует отметить, что пленка $YBa_2Cu_3O_7$ по значению T_c обладает более высокой радиационной стойкостью в сравнении с Nb_3Sn (примерно в три раза и во столько же по значению j_c), однако уступает Nb_3Sn . Обращает на себя внимание то, что ширина перехода ΔT_c начинает уменьшаться при флюенсе, соответствующем значению $T_c/T_{c0} = 0.5$. Падение критического тока j_c , как и для образцов Al_5 , $YBa_2Cu_3O_7$, происходит раньше, чем T_c , причем при увеличении температуры измерения падение j_c происходит быстрее.

При облучении под ионным пучком образец сохранял сверхпроводящие свойства, в частности, были измерены значения j_c при различных интенсивностях пучка. Критическая температура образца была $T_c = 79$ К (при $\Phi = 8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$). Суммарный флюенс, набранный за время облучения, был ничтожно мал ($6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$), т.е. уменьшением T_c можно пренебречь. Сравнение температурной зависимости j_c и зависимости j_c от интенсивности ионного пучка дает значение эффективной температуры перегрева $T^x = 15$ К (при $T_{\text{изм}} = 34$ К). Уменьшение критического тока может иметь две причины: радиационный нагрев и нетепловые процессы. Выделить какой-либо механизм по предварительным экспериментам пока не представляется возможным, хотя численные оценки указывают на значение температурного перегрева в 3-5 К, а не на 15, как получено.

Циклы облучения были закончены при $\Phi = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. При этом значении Φ при температуре 4.2 К пленка не переходила в сверхпроводящее состояние.

Повторные измерения T_c , j_c , R через две недели, в течение которых пленки находились на воздухе при температуре 300 К, дали следующие результаты: критическая температура стала равняться $T_{cн} = 61.1$ К, $T_c = 50.4$ К, $T_{ск} = 47.3$ К. Полный переход в сверхпроводящее состояние произошел при 45 К. Восстановление

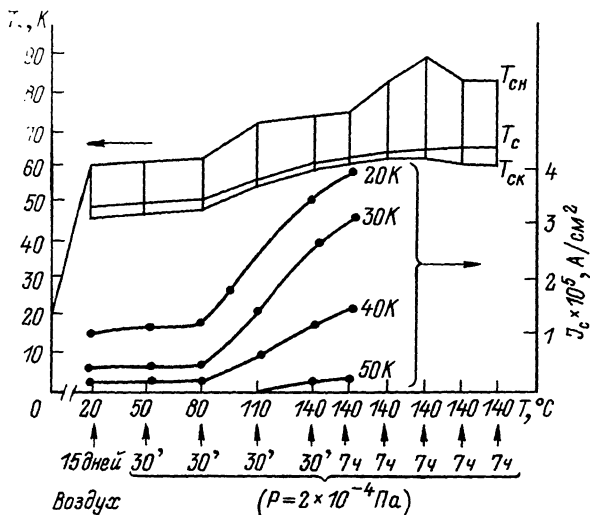


Рис. 2. Изменение $T_{сн}$, T_c , $T_{ск}$ и j_c при отжиге после облучения.

T_c сопровождалось появлением j_c и уменьшением R , причем восстановленные значения T_c , ΔT_c , j_c , R практически полностью совпадали с соответствующими значениями, которые имела пленка при $\Phi = 2.6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Далее был проведен отжиг в вакууме до температуры 140°C (начало плавления индиевых контактов). Отжиг показал дальнейшее улучшение сверхпроводящих свойств T_c и j_c , и только после 14 часов отжига при $T = 140^\circ \text{C}$ началось уширение сверхпроводящего перехода (рис. 2). Обращает на себя внимание тот факт, что после 21 часа отжига в вакууме при $T = 140^\circ \text{C}$ начало перехода $T_{сн}$ стало больше 91 K , т. е. превысило значение $T_{сн}$ до облучения. Восстановление j_c после отжига составило $\sim 29\%$ от j_c (при $T_{изм} = 20 \text{ K}$) до облучения. Данные по отжигу указывают на существование по крайней мере двух типов дефектов с температурой отжига $100\text{--}280 \text{ K}$ и $350\text{--}380 \text{ K}$. j_c и R более чувствительны к отжигу, чем T_c и ΔT_c . Образец $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ менее чувствителен к облучению ионами, чем $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, и имеет иное поведение при отжиге в вакууме, поэтому можно заключить, что при облучении и отжиге играет роль, какой атом находится в матрице Y или Ho [4].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K ü p f e r H., A p f e l s t e d t I. et al. // Z. Phys. B. Condensed Matter 69. 1987. P. 167-171.

- [2] Umezawa A., Crabtree G.W., Lin J.Z. et al. // Phys. Rev. B. V. 36. N 13. P. 7151-7154.
- [3] Atobe K., Yoshida H. // Phys. Rev. B. V. 36 N 13. P. 7194-7196.
- [4] Антоненко С.В., Головашкин А.И., Елесьин В.Ф. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 20. С. 1828-1832.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в Редакцию
13 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7

12 апреля 1989 г.

05.4; 12

О СХЕМЕ С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВЧ СКВИДА

Я.С. Гринберг

В настоящее время экспериментально показано, что ВЧ СКВИДы, выполненные на высокотемпературном сверхпроводнике $YBa_2Cu_3O_7$, в принципе не уступают по своим параметрам рядовым гелиевым ВЧ СКВИДам [1, 2]. Дальнейшее повышение чувствительности этих приборов, связанное с уменьшением индуктивности интерферометра, наталкивается на серьезные технологические трудности при формировании в кольце интерферометра джозефсоновского перехода с относительно небольшим критическим током. Характерные размеры такого перехода порядка 50 мкм. Как известно, значительно менее жесткие требования к параметрам джозефсоновского перехода предъявляет схема, в которой полезный сигнал выделяется не на частоте ВЧ возбуждения, а на кратных гармониках этой частоты [3].

Численные расчеты показали, что выделение сигнала на кратных гармониках позволяет в ряде случаев повысить отношение сигнал-шум и увеличить коэффициент преобразования по измеряемому потоку [4].

Применительно к высокотемпературным ВЧ СКВИДам схема, предложенная в [3], была экспериментально осуществлена в работах [5-7]. В [6, 7] была применена схема с независимым возбуждением (рис. 1), причем полезный сигнал на четных гармониках частоты ВЧ возбуждения оказался линейным по измеряемому магнитному потоку Φ_x — обстоятельство, которое является важным для многих практических применений этих устройств. В настоящей работе схема с независимым возбуждением проанализирована для ВЧ СКВИДа, работающего в гистерезисном режиме ($\mathcal{L} = \frac{2\pi L I_c}{\Phi_0} > 1$, где