

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА КРИТИЧЕСКИЙ ТОК ПЛЕНОК $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

*С.В. Антоненко, А.И. Головашкин, В.Ф. Елесин, И.А. Есин,
В.Е. Жучков, С.И. Красносвободцев, Е.В. Печень, И.А. Руднев,*

Сверхпроводящие пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, полученные методом лазерного напыления были облучены ионами He^{++} с энергией $E = 3,6$ МэВ. Установлено: деградация J_c пленок при облучении происходит быстрее, чем T_c ; рост ΔT_c и ρ опережает падение T_c ; критический ток пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ более чувствителен к облучению, чем пленок Nb_3Sn .

Важным методом, позволяющим понять природу высоких критических параметров сверхпроводников, является изучение влияния на них радиационных дефектов. В работах ^{1, 2} было исследовано воздействие ионного облучения на критическую температуру пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и как оказалось, они на порядок более чувствительны к облучению, чем пленки Nb_3Sn . В данной работе изучается влияние ионного облучения на критический ток пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, а также на характер зависимости J_c от B и T .

Изготовление пленок соединения $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ проводилось методом импульсного лазерного распыления из мишеней сверхпроводящей керамики стехиометрического состава. Кристаллическая структура типа ABO_3 формировалась непосредственно в процессе осаждения без последующей термообработки ³. В качестве подложек использовались сапфир и SrTiO_3 , плоскость последнего ориентировалась перпендикулярно оси [100] подложки. Наблюдался эпитаксиальный рост пленок с жесткой ориентацией кристаллографической оси [001] перпендикулярно поверхности образца.

Критическая температура T_c образцов определялась резистивно по середине перехода из нормального состояния в сверхпроводящее, а ширина перехода T_c определялась по уров-

ню $0,9\rho \div 0,1\rho$, где ρ – удельное сопротивление пленки вблизи перехода. Критический ток измерялся четырехконтактным методом по вольтамперным характеристикам на узкой полоске (мостике) пленки на установке, описанной в ⁴. За критический принимался ток, при котором на потенциальных контактах образцов появлялось напряжение 2,5 мкВ. Плотность критического тока J_c рассчитывалась делением полного критического тока на сечение мостика. При измерениях в магнитном поле выдерживалась геометрия, при которой вектор магнитной индукции B был параллелен поверхности образца и перпендикулярен току (см. ниже вставку на рис. 2). Основные характеристики пленок до облучения приведены в таблице.

№ образца	$T_{сн}$, К	T_c , К	$T_{ск}$, К	d , мкм	$J_{сmax}$ ($T=4,2$ К, $B=0$ Т)	J_c ($T=77$ К, $B=0$ Т)
1	89,0	84,7	76,4	1,0	$4 \cdot 10^2$ А/см ²	–
2	90,0	89,4	88,9	0,26	$1,6 \cdot 10^6$ А/см ²	$5 \cdot 10^5$ А/см ²

Здесь $T_{сн}$, $T_{ск}$ – температуры, соответствующие значениям $0,9\rho$ и $0,1\rho$, соответственно; d – толщина пленки; $J_{сmax}$ – максимальная зарегистрированная плотность критического тока для каждой из пленок.

Образцы облучались в вакууме ионами He^{++} с энергией $E=3,6$ МэВ флюенсами $F = (2,5 \div 60) \cdot 10^{14}$ см⁻². Погрешность в определении флюенса $\pm 5\%$. Держатель образца охлаждался водой. Однородность облучения обеспечивалась механическим сканированием образца вдоль пучка ионов. В экспериментах после каждого флюенса измерялись зависимости J_c от магнитного поля и температуры, ρ , T_c , ΔT_c .

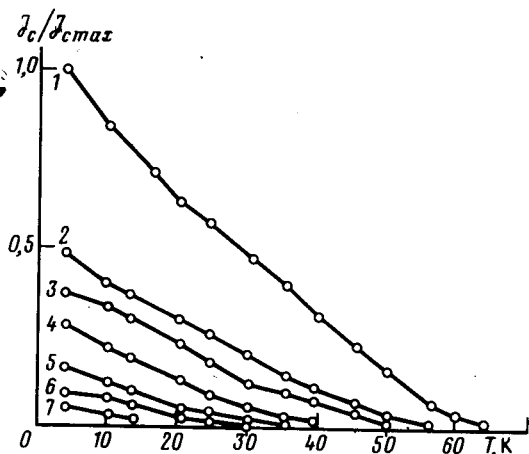


Рис. 1. Зависимость $J_c/J_{сmax}$ от температуры T при разных флюенсах. $B=0$, образец 1: $F=0$; 2 – $F=1 \cdot 10^{15}$ см⁻²; 3 – $F=2 \cdot 10^{15}$ см⁻²; 4 – $F=3 \cdot 10^{15}$ см⁻²; 5 – $F=4 \cdot 10^{15}$ см⁻²; 6 – $F=5 \cdot 10^{15}$ см⁻²; 7 – $F=6 \cdot 10^{15}$ см⁻².

На рис. 1 и 2 приведены зависимости $J_c/J_{сmax}(T)$ и $J_c/J_{сmax}(B)$ при различных флюенсах. На рис. 3 представлены зависимости $J_c/J_{с0}(F)$, $T_c/T_{с0}(F)$, $\Delta T_c/\Delta T_{с0}(F)$, $\rho/\rho_0(F)$, где $J_{с0}$, $T_{с0}$, $\Delta T_{с0}$ и ρ_0 – соответственно плотность критического тока, критическая температура, ширина сверхпроводящего перехода и удельное электросопротивление при переходе из нормального в сверхпроводящее состояние до облучения. Кроме того, на этом же рисунке приведена зависимость $J_c/J_{с0}(F)$ для пленок Nb_3Sn , облучавшихся аналогичным образом.

Анализ результатов приводит к следующим выводам:

– при облучении наблюдается сильное уменьшение критического тока, при этом отношение $J_c/J_{с0}$ зависит от температуры и магнитного поля. При увеличении магнитного поля до $0,5 T$ отношение $J_c/J_{с0}$ падает, а затем до полей до $3 T$ растет; при увеличении температуры $J_c/J_{с0}$ уменьшается;

— при температуре кипения жидкого азота не замечено повышение плотности критического тока даже для малых флюенсов. Однако характер зависимостей $J_c(B)$ при разных флюенсах указывает на то, что в области полей $B > 3T$ возможно увеличение $J_c/J_{c0}(B)$ при облучении;

— деградация J_c происходит значительно быстрее деградации T_c ; т. е. падение J_c при облучении определяется не только падением T_c ;

— рост ΔT_c и ρ опережает падение T_c ;

— при флюенсе $4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ наблюдается изменение характера зависимости $\rho(T)$, до перехода к сверхпроводимости, от металлического поведения к полупроводниковому;

— деградация J_c $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ пленок происходит значительно быстрее чем деградация J_c пленок Nb_3Sn (флюенс, соответствующий половинному падению J_c пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ в $8 \div 10$ раз меньше чем для Nb_3Sn);

— при увеличении флюенса не происходит резкого изменения формы зависимостей $J_c(T)$ и $J_c(B)$;

— при увеличении флюенса падение $T_{cк}$ происходит значительно быстрее, чем падение $T_{cн}$ и T_c .

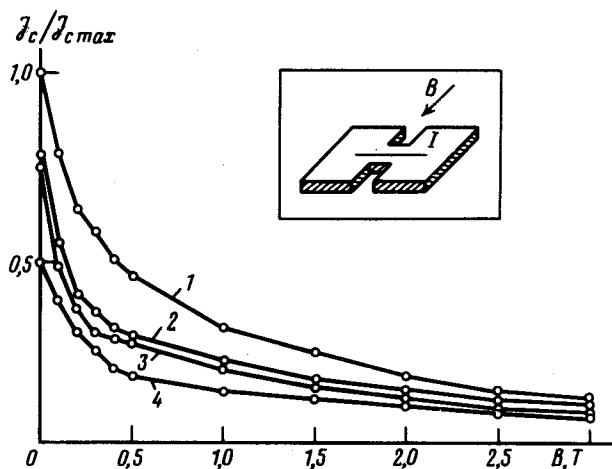


Рис. 2. Зависимость J_c/J_{cmax} от индукции магнитного поля B при различных флюенсах $T = 77,6 \text{ K}$; образец 2: 1 — $F = 0$, 2 — $F = 2,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, 3 — $F = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, 4 — $F = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$

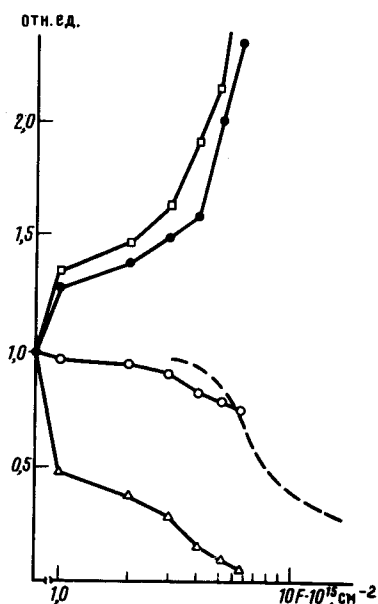


Рис. 3. Зависимости T_c/T_{c0} , J_c/J_{c0} , $\Delta T_c/\Delta T_{c0}$, ρ/ρ_0 от флюенса F , образец 1: \square — $\rho/\rho_0(F)$; \bullet — $\Delta T_c/\Delta T_{c0}(F)$; \circ — $T_c/T_{c0}(F)$; Δ — $J_c/J_{c0}(F)$; при $T = 4,2 \text{ K}$; $B = 0 \text{ T}$; — — — J_c/J_{c0} для пленок Nb_3Sn

В качестве возможных причин деградации сверхпроводящих свойств можно указать на создание повреждений в подрешетках кислорода и меди в структуре $YBa_2Cu_3O_7$ ².

Авторы выражают благодарность Попову Б.М. и всему коллективу Циклотронной лаборатории МИФИ за помощь в работе.

Литература

1. Антоненко С.В., Евстигнеев В.В., Елесин В.Ф. и др. Влияние ионного облучения на свойства оксидных высокотемпературных сверхпроводников. Труды рабочего совещания по проблемам высокотемпературной проводимости, Свердловск – Заречный, 7 – 10 июля 1987 г.
2. Антоненко С.В., Безотосный И.Ю., Григорьев А.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 362.
3. Головашкин А.И., Красносвободцев С.И., Печень Е.В., Родин В.В. Кр. сообщ. по физике ФИАН, 1987, № 9, с. 39.
4. Есин И.А., Руднев И.А. В сб.: Изменение свойств сверхпроводящих соединений типа A15 под воздействием излучений. М.: Энергоатомиздат, 1986, с. 49.

Московский
инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
1 января 1988 г.