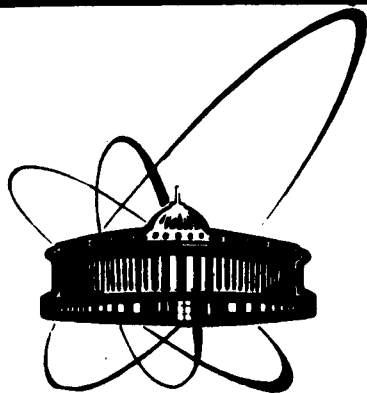


89-389



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

К 663

P14-89-389

С.А.Корнев, В.В.Сиколенко, А.Чернакова*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ СИЛЬНОТОЧНЫХ
ИМПУЛЬСНЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ
И ИОНОВ УГЛЕРОДА
НА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ
Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O

Направлено в Оргкомитет III Международной
конференции "Модификации материалов импульсами
энергии и пучками частиц", Дрезден, ГДР,
сентябрь 1989 года

* Единый центр физики БАН, София, НРБ

1989

Исследование высокотемпературных сверхпроводников ведется во многих лабораториях мира, и при этом намечаются некоторые тенденции практического использования явления высокотемпературной сверхпроводимости. В связи с этим остаются актуальными вопросы влияния на свойства высокотемпературных сверхпроводников различных пучков заряженных частиц, например таких, как сильноточные импульсные пучки электронов и ионов.

В первых работах по облучению иттриевой керамики сильноточным электронным пучком было показано, что посредством переплава поверхностного слоя можно осуществить защиту образцов от деградации^{1,2/}.

В данной работе приводятся результаты дальнейших экспериментов по исследованию воздействия сильноточных пучков электронов и ионов углерода.

Эксперименты проводились на экспериментальной установке для генерации электронных и ионных пучков^{3,4/}, основные параметры которой приведены в таблице.

Таблица

Режим токоотбора	Кинетическая энергия, кэВ	Длительность импульса тока, нс	Плотность тока ^{±2} , А·см ⁻²	Частота следов. имп., Гц
электронный	100 - 300	300	5-1600	0,2
ионы углерода, C ⁺	100 - 300	300	1 - 60	0,2

Облучения проводились в вакуумных условиях при давлении остаточного газа $P \sim 5 \cdot 10^{-5}$ Торр. Образцы высокотемпературных сверхпроводников Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O представляли собой пластинки толщиной 1 мм и средними геометрическими размерами 5x20 мм. При облучении образцов пучок заряженных частиц падал на образец нормально.

В экспериментах измерялись следующие основные характеристики высокотемпературных сверхпроводников:

- температурные переходы;
- сопротивление, критический ток;
- структура;
- элементный состав;
- топография поверхности.

Измерения температурных переходов осуществлялись методом четырех точек (измерение удельного сопротивления) и индуктивным способом. Измерения сопротивления проводились на частоте $f = 250 - 500$ Гц, а измерение температурного перехода-индуктивным методом на частоте $f =$

$\approx 5 - 10$ кГц. Критический ток определялся по импульсной методике с помощью RC-генератора, в которой ток измерялся бесконтактным способом (трансформатором тока). Структурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН -3М, а элементный анализ - полупроводниковым спектрометром рентгеновского излучения на растровом электронном микроскопе JSM-840. Топография поверхности исследовалась на JSM-840.

На рис.1а,б приведены зависимости сопротивления R/R_1 от температуры T для двух образцов Y-Ba-Cu-O типа "bulk" до облучения (кривая о) и после облучения (кривая ●) пучком электронов с плотностью тока $j = 1000 \text{ А/см}^2$, кинетической энергией 250 кэВ и длительностью импульса тока пучка $\tau \sim 300$ нс.

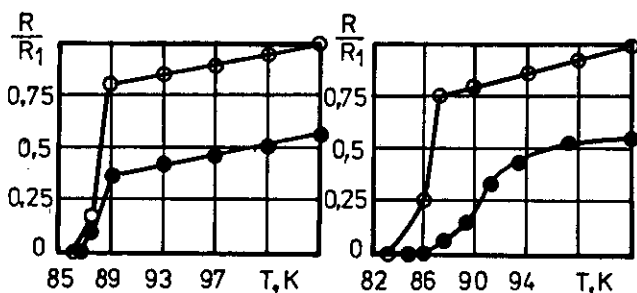


Рис.1а

Рис.1б

На рис. 2а представлены зависимости $R/R_1 = f(T)$ для образцов Bi-Ca-Sr-Cu-O типа поликристалл, а на рис.2б - для образцов Bi-Ca-Sr-Cu-O типа "bulk".

Из графиков, приведенных на рис.1а,б, 2а,б, видно, что эффект облучения импульсными пучками электронов и ионов углерода заключается в уменьшении интегрального сопротивления образцов.

При плотности мощности пучка электронов $P_0 \approx 10^7 \text{ Вт/см}^2$ наблюдается проплав иттриевой керамики на глубине пробега электронов, определяемой кинетической энергией. Для висмутовой керамики пороговое значение $P_0 \approx 4 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$. Анализ проплавленной поверхности показывает, что на висмутовой керамике получается более однородный проплав (с минимальными микронеровностями). В образцах с проплавленной поверхностью наблюдается увеличение величины критического тока. Для образцов с $J_{кр} \sim 80 - 90 \text{ А}$ его величина возросла до $\sim 200 \text{ А}$.

В случае ионного облучения не наблюдается проплава поверхности при указанных параметрах пучка, но виден эффект "миксинга" на поверхности. Увеличения величины критического тока при ионном облучении не было обнаружено.

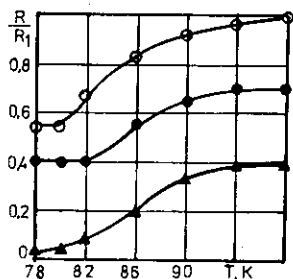


Рис.2а. Зависимость $R/R_1 = f(T)$ образцов до облучения (о) и после облучения пучком электронов с плотностью тока $j = 1000 \text{ A/cm}^2$, $E \sim 200 \text{ кэВ}$, $\tau_u \sim 300 \text{ нс}$ при 10 импульсах (●) и 20 импульсах воздействия (▲).

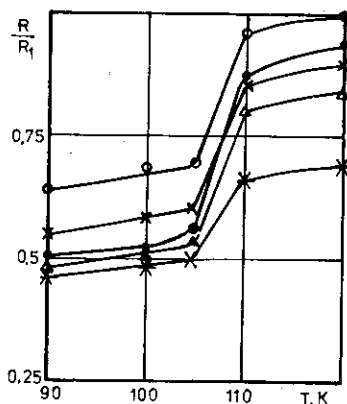


Рис.2б. Зависимость $R/R_1 = f(T)$ для Bi-Ca-Sr-Cu-O до облучения (о) и после облучения пучками с $E \sim 200 \text{ кэВ}$, $\tau_u \sim 300 \text{ нс}$ электронным пучком (140 импульсов) с $j = 150 \text{ A/cm}^2$ (Δ) и $j = 7 \text{ A/cm}^2$ (●) и пучком ионов углерода с $j = 35 \text{ A/cm}^2$: х - $N = 80$ импульсов и ж - $N = 250$ импульсов воздействия.

Рентгеноструктурный анализ показывает, что при указанных параметрах пучков не наблюдается аморфизация Y-Ba-Cu-O , Bi-Ca-Sr-Cu-O .

Исследование стехиометрического соотношения Y-Ba-Cu , Bi-Ca-Sr-Cu показало, что облучение такими пучками не изменяет его.

Полученные результаты можно попытаться качественно объяснить импульсным характером взаимодействия высокоэнергетических электронных и ионных пучков с веществом, время взаимодействия которых существенно меньше времен протекания процессов в веществе. Во-первых, поскольку τ_u меньше времени диффузионных процессов в облучаемых образцах, то это приводит к стабильности стехиометрического соотношения Y-Ba-Cu-O , Bi-Ca-Sr-Cu-O .

Во-вторых, адиабатический характер тепловых процессов на глубине пробега частиц приводит к выделению на ней всей мощности пучка. Для электронного пучка при $R \gg R_0$ наблюдается проплавление поверхности. Аналогичные результаты получены при облучении электронным пучком с теми же параметрами Nb_3Ge ^{15/}. Для ионного пучка, как показывают расчеты и эксперименты, плотности мощности недостаточно для подобных тепловых процессов. Кроме того, анализ условий аморфизации под действием ионных пучков ^{16/} показывает, что в наших экспериментах не хватает мощности пучка ионов углерода.

- В заключение работы можно сделать следующие выводы:
- при кинетической энергии электронов $E \sim 100 - 300$ кэВ и адиабатических тепловых процессах пороговая плотность мощности электронного пучка для поверхностного проплава иттриевой керамики составляет $\sim 10^7$ Вт/см², а висмутовой $\sim 4 \cdot 10^6$ Вт/см²;
 - поверхностный проплав существенно улучшает поверхностную структуру высокотемпературных сверхпроводников, уменьшая микронеровности;
 - поверхностный проплав при электронном облучении Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O приводит к увеличению критического тока; так, для образцов с $J_K = 80 - 90$ А величина J_K возросла до ~ 200 А;
 - облучение сверхпроводников пучками электронов и ионов углерода с $\tau_u \sim 300$ нс, $E \sim 100 - 300$ кэВ, $j_e = 5 - 1000$ А/Ссм², $j_i = 1 - 60$ А/Ссм² приводит к интегральному уменьшению сопротивления Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O в $2 \div 2,5$ раза при электронном облучении и в $1,25 - 1,8$ раза при ионном;
 - эффект от облучения импульсным пучком ионов углерода висмутовой керамики проявляется в поверхностной модификации, не связанной с проплавом;
 - при облучении высокотемпературных сверхпроводников пучками частиц с указанными выше параметрами не происходит аморфизации керамики и сохраняется стехиометрическое соотношение образцов, что открывает возможность использования таких пучков в технологических экспериментах по исследованию свойств высокотемпературных сверхпроводников.

Авторы выражают глубокую благодарность Алтынову В.А., Лушикову В.И., Ореловичу О.Л. за помощь в работе.

Литература

1. С.А. Корнев, Д. Валентович, В.И. Лушиков. Краткие сообщения ОИЯИ, № 4 [30]-88, с.83, 1988, Дубна.
2. С.А. Корнев, Д. Валентович. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции по модификации конструкционных материалов пучками заряженных частиц, ч.2, с.4, 1988, Томск, НИИЯФ при ТПИ.
3. С.А. Корнев и др. Препринт ОИЯИ I3-88-292, 1988, Дубна, ОИЯИ.
4. С.А. Корнев. Тезисы докладов III Всесоюзного семинара "Плазменная электроника", с.83, 1988, Харьков, ХФТИ АН УССР.
5. И. Вавра, С.А. Корнев. Труды II Международной конференции по электронно-лучевым технологиям, ч.III, с. 64I, 1988. София, НРБ, БАН.
6. В.И. Бойко, В.В. Евстегнеев. Введение в физику взаимодействия сильнотоочных пучков заряженных частиц с веществом. 1988, Москва, Энергоатомиздат.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 мая 1989 года.