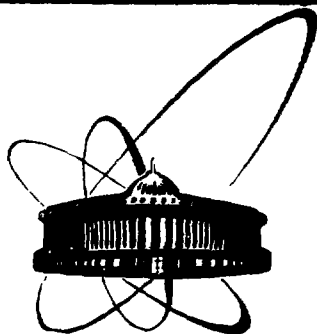


443101265



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

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 высокоточные импульсные пучки электронов и ионов.

В первых работах по облучению иттриевой керамики высокоточным электронным пучком было показано, что посредством переплава поверхностного слоя можно осуществить защиту образцов от деградации<sup>1,2/</sup>.

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

Эксперименты проводились на экспериментальной установке для генерации электронных и ионных пучков<sup>3,4/</sup>, основные параметры которой приведены в таблице.

Таблица

Режим токоотбора	Кинетическая энергия, кэВ	Длительность импульса тока, нс	Плотность тока, $A \cdot cm^{-2}$	Частота следов. вып., 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  $5 \times 20$  мм. При облучении образцов пучок заряженных частиц падал на образец нормально.

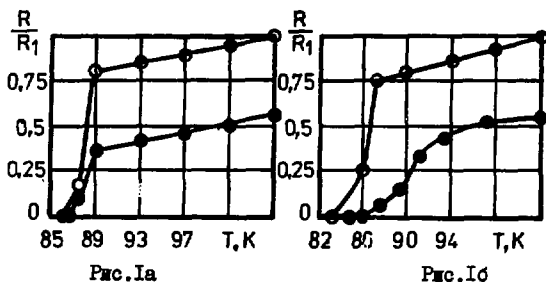
В экспериментах измерялись следующие основные характеристики высокотемпературных сверхпроводников:

- 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 -ЗМ, а элементный анализ - полупроводниковым спектрометром рентгеновского излучения на растворовом 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 е) пучком электронов с плотностью тока  $j = 1000$  А/см<sup>2</sup>, кинетической энергией 250 кэВ и длительностью импульса тока пучка  $\tau \sim 300$  нс.



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

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

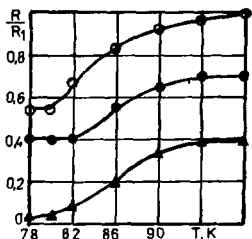


Рис.2а. Зависимость  $R/R_1 = f(T)$  образцов до облучения (о) и после облучения пучком электронов с плотностью тока  $j = 1000 \text{ A/cm}^2$ ,  $E \sim 200 \text{ кэВ}$ ,  $\tau_u \sim 300 \text{ нс}$  при 10 импульсах (●) и 20 импульсах воздействия (▲).

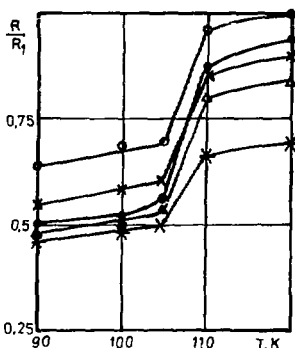


Рис.2б. Зависимость  $R/R_1 = f(T)$  для  $\text{Bi-Ca-Sr-Cu-O}$  до облучения (о) и после облучения пучками с  $E \sim 200 \text{ кэВ}$ ,  $\tau_u \sim 300 \text{ нс}$  электронным пучком (140 импульсов) с  $j = 150 \text{ A/cm}^2$  (Δ) и  $j = 7 \text{ A/cm}^2$  (●) и пучком ионов углерода с  $j =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

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

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

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

Во-вторых, адиабатический характер тепловых процессов на глубине пробега частиц приводит к выделению на ней всей мощности пучка. Для электронного пучка при  $P \gg P_0$  наблюдается проплавление поверхности. Аналогичные результаты получены при облучении электронным пучком с теми же параметрами  $\text{Nb}_3\text{Ge}^{15/}$ . Для ионного пучка, как показывают расчеты и эксперименты, плотности мощности недостаточно для подобных тепловых процессов. Кроме того, анализ условий аморфизации под действием ионных пучков <sup>16/</sup> 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/см<sup>2</sup>, а висмутовой  $\sim 4 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>;
- 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  $\sim 200$  А;
- облучение сверхпроводников пучками электронов и ионов углерода с  $\tau_{и} \sim 300$  нс,  $E \sim 100 - 300$  кэВ,  $j_e = 5 - 1000$  А/см<sup>2</sup>,  $j_i = 1 - 60$  А/см<sup>2</sup> 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., Луцикову В.И., Ораловичу О.Л. за помощь в работе.

#### Литература

1. С.А. Корнев, Д. Валентович, В.И. Луциков. 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, ХФИ 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. Ефстегнеев. Введение в физику взаимодействия сильнотоочных пучков заряженных частиц с веществом, 1988, Москва, Энергоатомиздат.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 мая 1989 года.

Экспериментальное исследование воздействия сильноточных импульсных пучков электронов и ионов углерода на высокотемпературные сверхпроводники Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O

Приводятся результаты экспериментов - исследования воздействия сильноточных импульсных пучков электронов и ионов углерода на высокотемпературные сверхпроводники ВТСП/ Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O в вакуумных условиях ( $P \sim 5 \times 10^{-5}$  Торр). Параметры электронного пучка:  $E \sim 100-300$  кэВ,  $j_e \sim 10-1000$  А/см<sup>2</sup>,  $\tau_e \sim 300$  нс, и ионного пучка:  $E \sim 100-300$  кэВ,  $j_i \sim 1-60$  А/см<sup>2</sup>,  $\tau_i \sim 300$  нс. Определены пороговые значения плотности мощности электронного пучка для поверхностного проплава образцов в условиях адиабатических тепловых процессов иттриевой керамики  $P_0 \sim 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> и висмутовой -  $P_0 \sim 4 \times 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. При электронном проплаве высокотемпературных сверхпроводников наблюдается увеличение величины критического тока в  $\sim 2$  раза. Облучение электронами приводит к уменьшению сопротивления образцов в  $\sim 2-2,5$  раза, а ионами углерода - в  $1,25-1,8$  раза. При облучении ВТСП такими пучками частицы не происходит их аморфизации и сохраняется стехиометрическое соотношение.

Работа выполнена в Объединенном институтском научно-методическом отделении ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

#### Перевод авторов

Experimental Studies of Effect of High Current Pulse Electron and Carbon Ion Beams on High Temperature Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O Superconductors

This work shows the results of the experiment on the effect of high current electron and carbon ion pulse beams irradiation on High- $T_c$  superconductors Y-Ba-Cu-O and Bi-Ca-Sr-Cu-O in vacuum ( $P \sim 5 \cdot 10^{-5}$  torr). The parameters of electron beam used in the experiment were:  $E \sim 100-300$  keV,  $j_e \sim 10-1000$  A/cm<sup>2</sup>,  $\tau_e \sim 300$  ns. The parameters of carbon ions used in the experiment were:  $E \sim 100-300$  keV,  $j_i \sim 1-60$  A/cm<sup>2</sup>,  $\tau_i \sim 300$  ns. Experiments had shown the threshold electron beam power density for surface melting in adiabatic heat condition for Y-Ba-Cu-O ceramics up to  $P_0 \geq 10^7$  W/cm<sup>2</sup>, and for Bi-Ca-Sr-Cu-O ceramics up to  $P_0 \sim 4 \cdot 10^6$  W/cm<sup>2</sup>. Increasing of critical current in  $\sim 2$  times was observed in samples with a melting surface layer. The integral resistance of Y-Ba-Cu-O and Bi-Ca-Sr-Cu-O decreased in  $\sim 2-2.5$  times for electron beam irradiated samples and in  $1.25-1.8$  times for ion irradiated samples. Amorphization did not take place and stoichiometry remained after such irradiation.

The investigation has been performed at the Scientific-Methodical Division, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989

9 коп.

**Редактор Т.Я.Жабицкая. Макет Н.А.Киселевой.**

**Подписано в печать 13.06.89.**

**Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,57.**

**Тираж 360. Заказ 42180.**

**Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.**