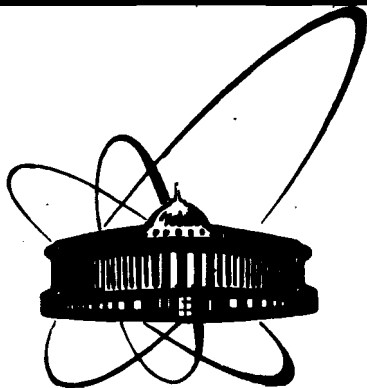


89-855



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

3 177

18-89-855

С. Л. Зайцев*, В. И. Луциков, В. К. Семина,
В. А. Скуратов

**СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
В КЕРАМИКЕ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ Ar^{+7}
С ЭНЕРГИЕЙ 46 МэВ**

*Институт теоретической и экспериментальной
физики, Москва

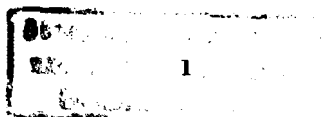
1989

Радиационные эффекты при облучении высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) заряженными частицами исследовались в ряде работ, обзор которых можно найти, например, в /1/. Основным результатом этих исследований является установление относительно универсальной связи между деградацией характеристик ВТСП (температуры сверхпроводящего перехода T_c и критического тока I_c) и количеством смещений на атом (сна), независимо от природы ионизирующего излучения. Заметные изменения T_c начинаются при 0,01 сна, а при 0,1 сна образцы полностью теряют сверхпроводящие свойства. Более низкая радиационная стойкость ВТСП по сравнению со сверхпроводниками типа А15 вполне объяснима низкой симметрией кристаллической решетки ВТСП и многоэлементностью их состава.

Большинство экспериментов по облучению сверхпроводников выполнено на тонкопленочных образцах толщиной 0,2 - 1,0 мкм, т.к. пробеги использованных низкоэнергетичных частиц относительно невелики /1,2,5/. Использование тонкопленочных образцов, помимо проблемы их качественного изготовления, осложняется ещё и тем, что низкая коррозионная стойкость ВТСП, взаимодействие с подложкой, а также поверхностные эффекты затрудняют выделение эффектов непосредственного воздействия радиации на сверхпроводник от радиационно-стимулированной поверхностной коррозии. Поэтому данные о радиационной стойкости пленочных ВТСП довольно противоречивы. Определенные трудности возникают и при рентгенографических исследованиях тонких пленок из-за низкой интенсивности рефлексов при высоком фоне подложки.

Нами проведены рентгеноструктурные исследования образцов иттриевой керамики, облученной на циклотроне ИЦ-100 ионами аргона с энергией 46 МэВ. Длина пробега таких ионов составляет 10 мкм (рис.1), что превышает глубину проникновения рентгеновского излучения кобальта, использованного в дифракционном спектрометре ДРОН-3 (<5 мкм при углах дифракции $\theta < 30^\circ$).

Облучение проводилось на выведенном расфокусированном пучке с



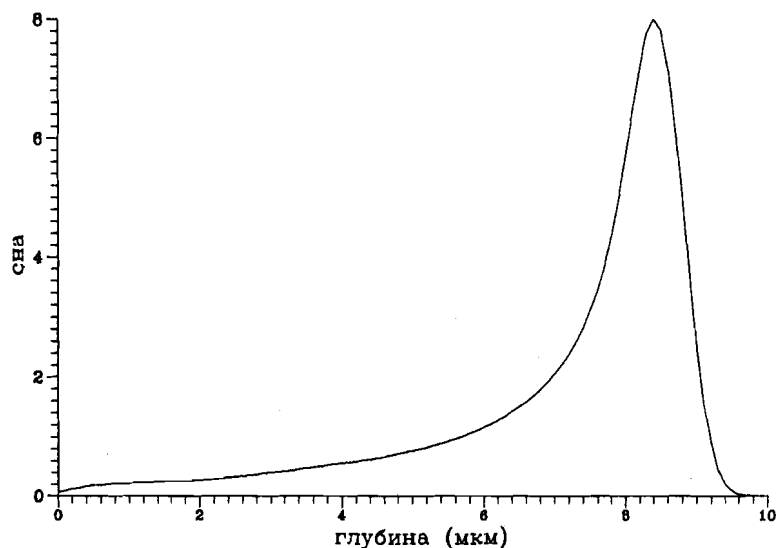


Рис.1. Расчетная зависимость смещений на атом (с/а) от глубины слоя при облучении $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ионами Ar с энергией 46 МэВ.

плотностью потока ионов $\text{Ar}^{+7} \approx 10^9 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Образцы ВТСП приклеивались теплопроводящим клеем к массивной медной пластине и помещались в специальное мишенное устройство, которое позволяет контролировать пространственное распределение ионного пучка, дозу и температуру образца, а также даёт возможность проводить серийное облучение образцов в одинаковых условиях. При облучении температура образцов не поднималась выше 50°C .

Образцами в основном служили бестекстурные таблетки керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ производства Пышминского опытного завода размерами $10 \times 10 \times 3$ мм, имеющие $T_c = 92^\circ\text{K}$ и ширину перехода 2°K . После облучения, из-за малой объёмной доли облучённого поверхностного слоя толстых образцов, критическая температура и ширина перехода практически не менялись (см. рис.2), т.е. не происходило их глобального обескислороживания, что подтверждается также и неизменностью дифрактограмм обратной (необлученной) стороны образцов.

На рис.3 представлены дифракционные спектры одного из образцов до и после облучения ионами $^{40}\text{Ar}^{+7}$ с энергией 46,3 МэВ до флюенса $3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Из сравнения спектров видно, что при облучении в основном происходит аморфизация керамики без заметного образования каких-либо

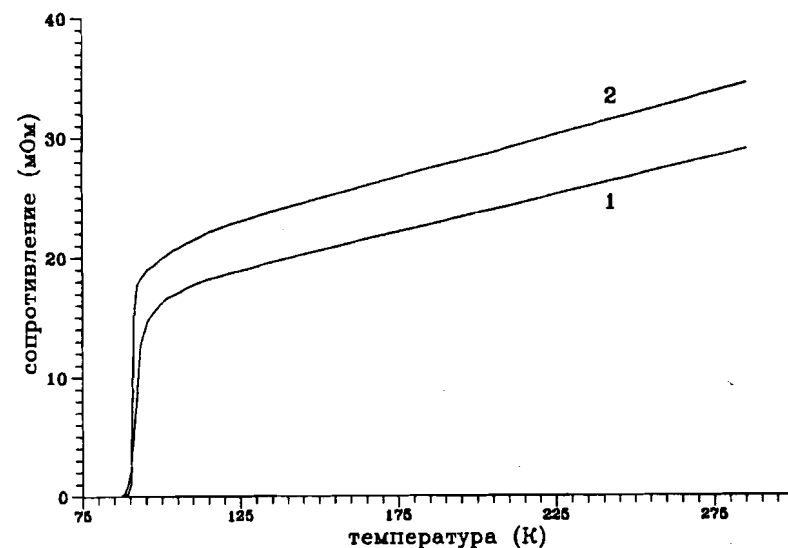


Рис.2. Температурная зависимость сопротивления образца $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ до (1) и после облучения (2) ионами Ar^{+7} с энергией 46 МэВ до флюенса $1,5 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

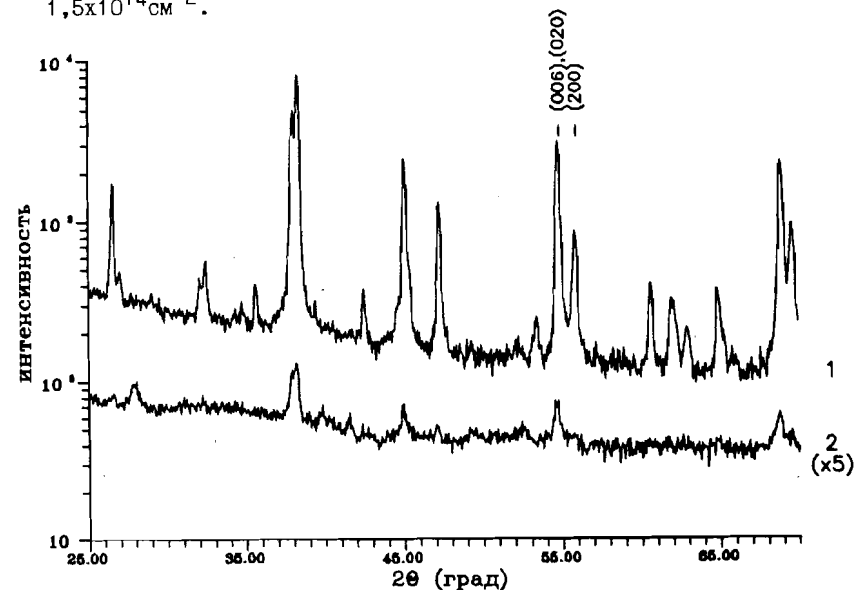


Рис.3. Рентгendifракционный спектр поликристаллического образца $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ до (1) и после облучения ионами Ar с энергией 46 МэВ до флюенса $3 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ (2). 3

новых кристаллических фаз. Возникает широкое гало в области $2\theta = 30^\circ + 40^\circ$. Наблюдается появление небольших количеств BaCO_3 (широкий пик при углах $2\theta \approx 28^\circ$) и CuO (пик при $2\theta = 41,5^\circ$). Исчезают рефлексы примесной "зеленой" фазы Y_2BaCuO_5 при $2\theta \approx 34,5^\circ$. Все другие сохранившиеся рефлексы соответствуют основной фазе 1-2-3 с интенсивностью, убывающей с ростом флюенса Φ по закону $I = I_0 \exp(-\Phi/\Phi_0)$, где $\Phi_0 = (1,4 \pm 0,1) \times 10^{14} \text{ Ar/cm}^2$.

Область рефлексов (006), (020) и (200) в районе углов $2\theta = 54 - 56^\circ$ показана более детально на рис.4 (по оси абсцисс отложено удвоенное межплоскостное расстояние $2d$). Видно заметное уширение пиков с ростом флюенса, причем уширение рефлекса (200) происходит быстрее, чем для рефлекса (006). Если связать уширение пика (006) с уменьшением размера

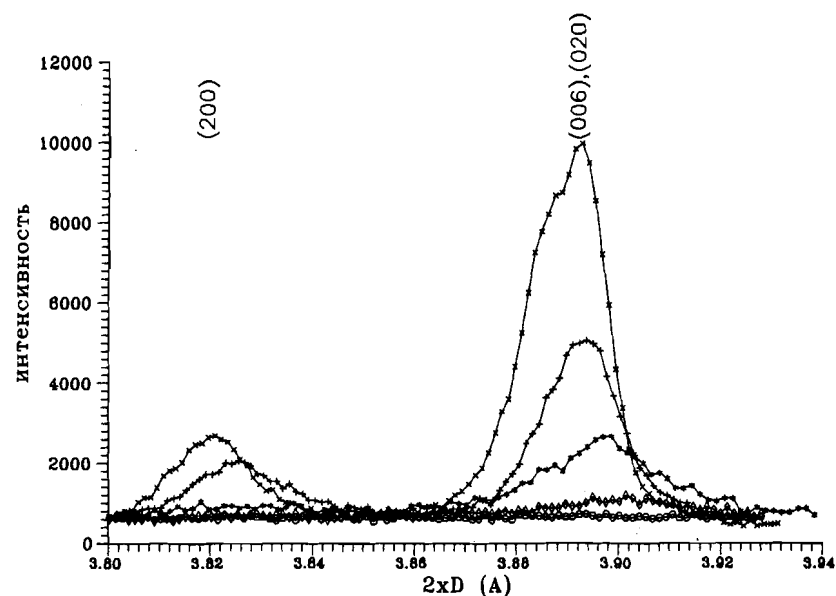


Рис.4. Относительная интенсивность рефлексов (200) и (006), (020) при различных флюенсах Φ :

- x - $\Phi = 0$
- + - $\Phi = 1,1 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$
- * - $\Phi = 1,6 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$
- o - $\Phi = 3,0 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$
- o - $\Phi = 1,0 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$

бездефектных кристаллитов, то можно оценить, что даже при флюенсе $3 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$, когда аморфизуется около 90% объема облученного поверхностного слоя, оставшиеся кристаллические области имеют линейные размеры 400-500 Å. С другой стороны, среднее расстояние между треками ионов при этом флюенсе составляет всего 5,5 Å и простая картина формирования диэлектрических каналов радиусом 5 Å вдоль треков ионов, принятая в работе^{2/}, согласно нашим результатам должна быть заменена на модель частичной рекристаллизации с образованием относительно крупных (с размерами более 500 Å) структурированных областей, возникающих вдоль треков тяжелых ионов.

Дополнительное уширение рефлекса (200) естественно связать с нарушением распределения кислорода в базовой плоскости кристалла $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Отметим, что даже в необлученных образцах ширина линии (200) заметно больше, чем ширина линии (006), из-за большой склонности кристаллов к двойникованию по направлению (110) и частичного заполнения кислородных вакансий в позициях O(2) по оси a. С некоторым уменьшением содержания кислорода в кристаллической фазе, по-видимому, связано и небольшое смещение положения рефлексов (200) и (006) в облученных образцах. Из эмпирического соотношения $7 - x = 70,512 - 5,454 \sigma$, где σ - размер решетки по оси c в ангстремах, можно оценить, что содержание кислорода на формульную единицу меняется от 6,85 для необлученных образцов до 6,70 при облучении до флюенса $3 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Такого снижения содержания кислорода ещё недостаточно для тетрагонализации кристаллической решетки и её перехода в сверхпроводящее состояние, наступающее при $7 - x \leq 6,4$.

В заключение можно отметить, что хотя мы непосредственно и не измеряли резистивные характеристики облученных поверхностей образцов, рентгенофракционные спектры различных модификаций иттриевых ВТСП в настоящее время изучены достаточно хорошо, чтобы по их форме делать однозначные выводы о качестве сверхпроводников и констатировать, что при флюенсах, приводящих к изменению критических параметров ВТСП^{3/}, облучение тяжелыми ионами высоких энергий в основном приводит к аморфизации ВТСП и к незначительным изменениям в структуре остающейся сверхпроводящей фазы, в отличие от результатов, полученных в работе^{4/}, где наблюдалась тетрагонализация кристаллической решетки при облучении тонких плёнок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ионами Ar с энергией 0,6 МэВ.

Авторы выражают благодарность В.И. Цовбуну за выполнение расчетов пробегов тяжелых ионов в сверхпроводящих керамиках и Л.Н.Зайцеву за полезные замечания и предложения.

Литература

1. O.Meyer. Preprint KfK 4563, Karlsruhe, 1989.
2. J.M.Valles e.a. Phys.Rev., **B39**, 11599, (1989).
3. D.B.Chrisey e.a. Nucl.Instr.& Meth., **B43**, 50, (1989).
4. O.Meyer e.a. Nucl.Instr.& Meth., **B39**, 628, (1989).
5. A.D.Marwick e.a., Phys.Rev., **B39**, 9061, (1989).

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 декабря 1989 года.