

**МАТЕРИАЛЫ**

УДК 537.312.62

**ОБЛУЧЕНИЕ ГАММА-КВАНТАМИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ  
СВЕРХПРОВОДНИКОВ  $\text{Bi(Pb)}_2\text{2223}$   
С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КИСЛОРОДА**

В.А. ГУРИНОВИЧ, Ф.П. КОРШУНОВ, В.К. ШЕШОЛКО

*Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси  
П. Бровка, 17, Минск, 220072, Беларусь**Поступила в редакцию 1 февраля 2005*

Проведено облучение гамма-квантами  $\text{Co-60}$  керамических высокотемпературных сверхпроводящих материалов (ВТСП)  $\text{Bi(Pb)}_2\text{2223}$  с различным содержанием кислорода. Показано, что дозовые зависимости критической температуры исследованных материалов при флюенсах меньше  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  имеют немонотонный характер и зависят от вида предварительной термообработки. При дальнейшем увеличении дозы облучения характер зависимостей  $T_c$  и  $\rho$  может указывать на возможность сильной локализации, приводящей, в частности, к андерсеновскому переходу металл–диэлектрик.

*Ключевые слова:* высокотемпературные сверхпроводники, облучение гамма-квантами, критическая температура, удельное сопротивление.

**Введение**

Изучение воздействий, ионизирующих излучений на свойства высокотемпературных сверхпроводящих материалов (ВТСП) интенсивно ведется во многих странах. Это определяется как перспективами использования ВТСП в полях проникающей радиации, так и уникальной возможностью посредством облучения изменять дефектную структуру этих материалов при контролируемых условиях. Создание эффективных центров пиннинга с помощью облучения ВТСП частицами высоких энергий — еще одно важное практическое применение в радиационных технологиях [1].

Однако радиационные воздействия во многих случаях приводят к ухудшению критических параметров материалов: уменьшается критическая температура, растет удельное сопротивление, уменьшается величина транспортного критического тока. Степень устойчивости параметров ВТСП к воздействию радиации зависит от многих факторов, причем большинство исследователей связывают высокую чувствительность ВТСП к облучению с изменениями в кислородной подсистеме данных материалов [2].

Отдельные эксперименты по влиянию содержания кислорода на изменения критических параметров ВТСП показали, что даже незначительные изменения кислородного индекса приводят к значительным изменениям дозовых зависимостей при облучении частицами различного вида.

В данной работе исследовались керамические сверхпроводники  $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  ( $\text{Bi(Pb)}_2\text{2223}$ ) с исходными характеристиками: критическая температура ( $T_c$ ) составляла 106,5–107 К, удельное сопротивление  $\rho$  было 0,89–0,92 мОм·см при 273 К. Температурные зависимости

электросопротивления измерялись стандартным четырехзондовым методом в интервале температур 77–300 К. Облучение гамма-квантами Co-60 проводилось в установке "Исследователь" с мощностью дозы гамма-квантов ~300 Р/с при комнатных температурах.

### Основная часть

Дефицит по содержанию кислорода создавался путем дополнительной термообработки исходных образцов в вакууме. Это привело к значительным изменениям критической температуры  $T_c$  и удельного сопротивления  $\rho$ . После обработки при 673 К критическая температура уменьшилась до 93 К, а удельное сопротивление возросло до 5,4 мОм·см.

Такие изменения параметров материала соответствуют литературным данным о поведении ВТСП на основе висмута [3,4]. Они объясняются уменьшением содержания кислорода в этих соединениях вследствие его диффузии наружу. Атомы кислорода уходят из образца и на внутренние стоки, которыми могут быть дефектные области керамики, в частности, границы зерен. Причем при таких температурах обработки в первую очередь изменяется содержание кислорода в Вi-О слоях, что ведет к уменьшению концентрации свободных носителей, которую можно контролировать, измеряя удельное сопротивление материала, и, таким образом, судить об относительном изменении содержания кислорода.

Ход зависимостей  $T_c$  и  $\rho$  таких материалов от флюенса облучения гамма-квантами приведен на рис. 1.

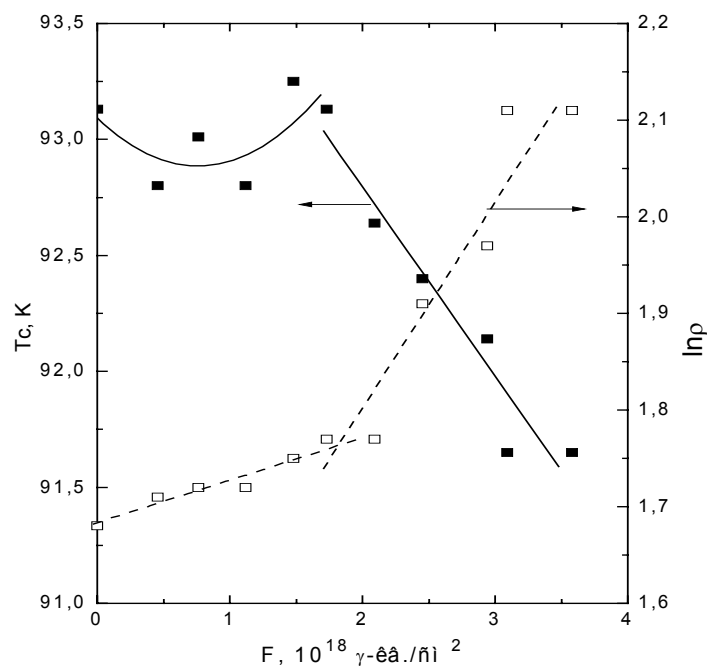


Рис. 1. Дозовые зависимости критической температуры  $T_c$  и удельного сопротивления  $\rho(273 \text{ K})$  образца  $\text{Bi(Pb)2223}$ , предварительно термообработанного в вакууме, при облучении гамма-квантами Co-60.

Из рис. 1 видно, что вплоть до флюенса  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  удельное сопротивление экспоненциально растет. Критическая температура в интервале доз  $0\text{--}2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  сначала медленно понижается, проходит через минимум при флюенсе  $\approx 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ , а затем слабо возрастает. При дальнейшем увеличении флюенса (с  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ ) критическая температура уменьшается линейно с дозой, а удельное сопротивление резко возрастает, сохраняя экспоненциальную зависимость, но уже с другим показателем экспоненты.

Полученные результаты показывают, что немонотонный характер  $T_c$  с дозой облучения при флюенсах до  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  может быть связан с нелинейной зависимостью  $T_c$  от концентрации носителей заряда [5–8].

Избыточное содержание кислорода достигалось путем дополнительной термообработки исходных материалов в кислороде. После термообработки в кислороде при 673 К величина критической температуры уменьшилась от 106,5 до 105,5 К. Удельное сопротивление, измеренное при 273 К, также снизилось от 0,96 до 0,75 мОм·см. Дальнейшее увеличение длительности термообработки не приводило более к существенным изменениям  $T_c$  и  $\rho$ .

Зависимости по облучению таких материалов гамма-квантами Co-60 приведены на рис. 2.

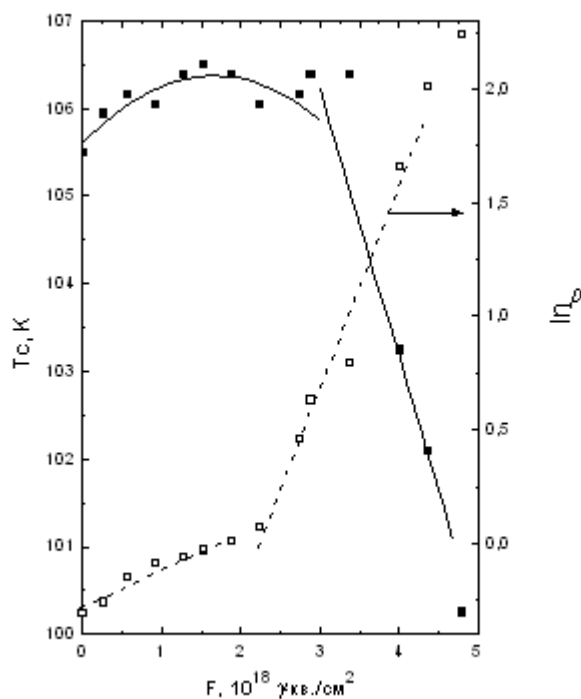


Рис. 2. Дозовые зависимости критической температуры  $T_c$  и удельного сопротивления  $\rho$  (273 К) образца Bi(Pb)2223, предварительно термообработанного в кислороде, при облучении гамма-квантами Co-60

Из рис. 2 видно, что в интервале флюенсов  $0-2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  наблюдается экспоненциальный рост удельного сопротивления. Необходимо отметить, что скорость возрастания  $\rho$  в данном случае такая же, как и в случае материалов, предварительно обработанных в вакууме. Критическая температура вплоть до флюенса гамма-облучения  $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  увеличивается до значения 106,3 К, а при увеличении флюенса до  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  — падает. Наиболее существенное уменьшение  $T_c$ , как и для образцов, предварительно термообработанных в вакууме, наблюдается для доз облучения  $>2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ . При этом также наблюдается изменение показателя экспоненты для дозовой зависимости  $\rho$ .

Увеличение  $T_c$  с дозой облучения можно связать с тем, что термообработка в кислороде приводит к накоплению избыточного количества атомов кислорода в материале. Это ведет к увеличению концентрации носителей заряда. Из литературных данных известно [9–12], что зависимость критической температуры  $T_c$  от концентрации носителей в ВТСП является немонотонной. Существует оптимальное значение этой концентрации  $n_{opt}$ , при которой  $T_c$  достигает своей максимальной величины. При повышении  $n_{opt}$  происходит уменьшение  $T_c$ . В нашем случае рост  $T_c$  при флюенсах до  $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  вызван уменьшением избыточной концентрации носителей за счет слабой локализации куперовских пар.

Характер зависимостей  $T_c$  и  $\rho$  в области флюенсов гамма-облучения  $>2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  может указывать на возможность сильной локализации, приводящей, в частности, к андерсеновскому переходу металл–диэлектрик. Такая зависимость наблюдается и для образцов, предварительно термообработанных в вакууме.

Следует также отметить, что эти зависимости хорошо описываются моделью влияния андерсеновского разупорядочения на энергию связи пар в кластере Cu-O, развитой в [13, 14].

### Заключение

Облучение гамма-квантами Co-60 керамических ВТСП материалов Bi(Pb)2223 с различным содержанием кислорода приводит к немонотонной зависимости  $T_c$  от дозы облучения при флюенсах меньше  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ . В зависимости от вида предварительной термообработки наблюдается уменьшение или увеличение критической температуры. При дозах облучения  $>2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  характер зависимостей  $T_c$  и  $\rho$  не зависит от предварительной термообработки, что может указывать на единый механизм радиационных нарушений в материалах с избытком и недостатком кислорода.

## GAMMA-RAY IRRADIATION OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS Bi (Pb) 2223 WITH THE VARIOUS CONTENTS OF OXYGEN

V.A. GURINOVICH, F.P. KORSHUNOV, V.K. SHESHOLKO

### Abstract

The gamma-ray irradiation of ceramic HTSC materials Bi(Pb)2223 with the various contents of oxygen is carried out. It is shown, that doze dependence of critical temperature of the investigated materials at fluence less  $2 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-2}$  have nonmonotonic character and depend on a kind of preliminary heat treatment. At the further increase in a doze of an irradiation character of dependences  $T_c$  and  $\rho$  can specify an opportunity of the strong localization resulting, in particular, to anderson transition metal - dielectric.

### Литература

1. Ogikubo K., Kobayashi T., Terai T. et al. // *Advances in Superconductivity*. 1999. Vol. 11, № 1. P. 541-544.
2. Плакида Н.М. *Высокотемпературные сверхпроводники*, М., 1996. 287 с.
3. Grachev V., Badence T., Bettahi A., et al. // *Physica C*. 1994. Vol. 219. P. 395-401.
4. Zhao J., Wu M., Abdul-Razzaq W. and Seehra M.S. // *Physica C*. 1990. Vol. 165. P. 135-138.
5. Torrance J.B., Tokura Y., Nazzari A.I. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1988. Vol. 61. P. 1127-1130.
6. Shafer M.W., Penney T., Olson B.L., et al. // *Phys. Rev. B*. 1989. Vol. 39. P. 2914-2917.
7. Martin C., Maignan A., Provost J. et al. // *Physica C*. 1990. Vol. 168. № 1-2. P. 8-22.
8. Presland M.R., Tallon J.L., Buckley R.G., et al. // *Physica C*. 1991. Vol. 176. P. 95-105.
9. Groen W.A., De Leeuw D.M., Feiner L.F. // *Physica C*. 1990. Vol. 165. P. 55-61.
10. Sales B.C. and Chakoumakos B.C. // *Phys. Rev. B*. 1991. Vol. 43. P. 12994-13000.
11. Rateau M., Suryanarayanan R., Gorochoy O. and Pankowska H. // *Phys. Rev. B*. 1990. Vol. 41. P. 858-860.
12. Poddar A., Mandal P., Das A.N., Ghosh B. and Choudhury P. // *Phys. Rev. B*. 1991. Vol. 44. P. 2757-2761.
13. Елесин В.Ф., Кашурников В.А., Опенов Л.А., Подливаев А.И. // *ЖЭТФ*. 1991. Т. 99., № 1. С. 237-249.
14. Елесин В.Ф., Кашурников В.А., Опенов Л.А., Подливаев А.И. // *ЖЭТФ*. 1992. Т. 101., № 2. С. 682-692.