

РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ  
СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА В  $Y-Ba-Cu-O$ 

Л.С. Топчян, Т.Ш. Квирикашвили,  
И.А. Наскидашвили, Б.В. Бродский,  
В.С. Круглов, А.С. Нигматулин,  
Н.М. Котов, Я.М. Муковский

Было показано [1], что облучение высокотемпературного керамического сверхпроводника (ВТСП)  $La_{1.83}Sr_{0.17}CuO_4$  в ядерном реакторе при 350 К флюенсом нейтронов  $5 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$  приводит к существенной деградации температуры сверхпроводящего перехода.

В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты по влиянию реактивного облучения при низких температурах и последующего отжига на температурную зависимость электросопротивления и переход в сверхпроводящее состояние системы  $Y-Ba-Cu-O$ . Было изучено поведение образцов двух составов:  $Y_{12}Ba_{0.8}CuO_4$  и  $Y_7Ba_2Cu_3O_{7.5}$ . Образцы были получены аналогично [1, 2]. Сопротивление измерялось четырехконтактным методом.

Облучение образцов проводилось быстрыми нейтронами спектра деления с  $E > 0.1 \text{ МэВ}$  в горизонтальном криоканале ядерного реактора ИРТ-М ИФ АН СССР [3] при температуре  $13 \pm 0.5 \text{ К}$ . Температура образцов измерялась посредством термопары  $Cu-Cu+Fe$ , закрепленной на держателе в непосредственной близости от них. Для определения радиационного прироста сопротивления а также для регистрации сверхпроводящего перехода при промежуточных флюенсах, образцы выводились из зоны облучения в зону испытания (температура транспортирования  $T_{tr} \approx 13 \text{ К}$ ), где проводился их нагрев до 100 К. Радиационный прирост сопротивления фиксировался при 100 К, когда образцы находились в нормальном состоянии. После измерений образцы возвращались в зону облучения. Максимальный флюенс быстрых нейтронов составил  $1.6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$ .

Экспериментальные результаты по радиационному приросту сопротивления  $\Delta R/R_0$  представлены на рис. 1. Если в  $Y_7Ba_2Cu_3O_{7.5}$   $\Delta R/R_0$  монотонно возрастает при увеличении флюенса нейтронов  $\Phi$ , что типично для других сверхпроводников, то в  $Y_{12}Ba_{0.8}CuO_4$  эта закономерность нарушена. При  $\Phi = 1.6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$   $\Delta R/R_0$  составляет 23% для  $Y_7Ba_2Cu_3O_{7.5}$  и 18% для  $Y_{12}Ba_{0.8}CuO_4$  ( $T = 300 \text{ К}$ ). При таком флюенсе радиационная деградация сверхпроводимости уже значительна, температура сверхпроводящего перехода  $T_c$  уменьшается на 10-15% без существенного изменения формы кривой  $R(T)$ .

На рис. 2 представлены зависимости  $T_c(T)$  для исходных образцов  $Y_{12}Ba_{0.8}CuO_4$  и  $Y_7Ba_2Cu_3O_{7.5}$  после облучения флюенсом  $1.6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$  и после последующего длительного отжига при 300 К в течение 120 суток. Из полученных результатов сле-

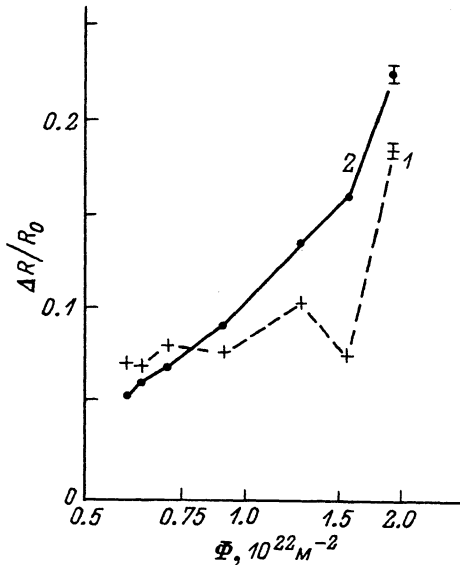


Рис. 1. Зависимость радиационного прироста электросопротивления  $\Delta R/R_0$  соединений  $Y_{1,2}Ba_{0,8}CuO_{4-\delta}$  и  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  от флюенса быстрых нейтронов  $\Phi$ . Температура облучения ( $E > 0.1$  МэВ) 13 К, температура измерения сопротивления 100 К. 1 -  $Y_{1,2}Ba_{0,8}CuO_{4-\delta}$ ; 2 -  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

дует, что исходный металлический характер зависимости  $R(T)$  ( $dR/dT > 0$ ) сохраняется во всем исследуемом температурном диапазоне и после облучения, хотя абсолютная величина сопротивления увеличивается на 8–20%. Однако отжиг (длительная выдержка облученных образцов при 300 К) приводит к тому, что их сопротивление значительно возрастает (при 300 К), в 2 раза для  $Y_{1,2}Ba_{0,8}CuO_{4-\delta}$  и в 25 раз для  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ , и характер температурной зависимости  $R(T)$  изменяется на неметаллический ( $dR/dT < 0$ ). Для образца  $Y_{1,2}Ba_{0,8}CuO_{4-\delta}$  наблюдается резкое падение сопротивления в области сверхпроводящего перехода до отжига, для  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  в соответствующей области наблюдается лишь слабое изменение наклона  $R(T)$ . Изучение вольт-амперных характеристик облученных образцов в диапазоне токов ( $10^{-4}$ – $10^{-2}$ ) А при 100 и 300 К показало, что они сохраняют линейную зависимость. Изменение сопротивления контрольных необлученных образцов показало, что длительное хранение (120 суток) при 300 К не оказало воздействия на величину сопротивления и характер его температурной зависимости.

Обнаруженная в системе  $Y-Ba-Cu-O$  резистивная нестабильность при радиационно-термической обработке, по-видимому, обусловлена тем, что при отжиге происходит перераспределение дефектов,

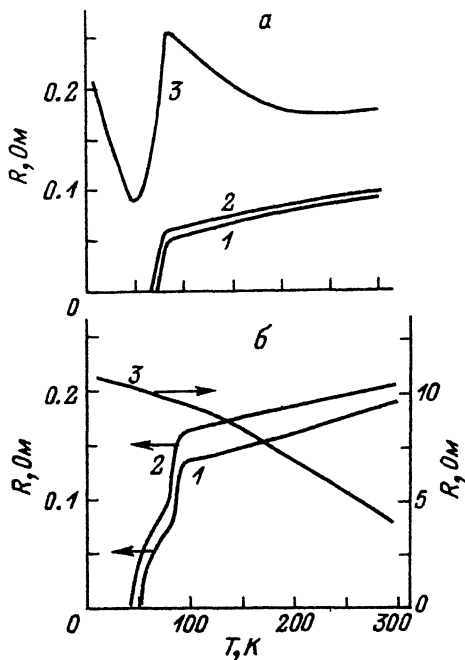


Рис. 2. Температурные зависимости электросопротивления  $R(T)$ . а -  $Y_{1.2}Ba_{0.8}CuO_{4-\delta}$ , б -  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ . 1 -  $\Phi = 0$ ; 2 -  $\Phi = 1.6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$ ; 3 -  $\Phi = 1.6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$  и отжиг при 300 К 120 суток.

возникших при облучении и равномерно распределенных по объему, таким образом, что возникают области с высокой концентрацией дефектов (например, по границам зерен). Такие области обладают неметаллической (с  $dR/dT < 0$ ) температурной зависимостью сопротивления. В случае  $Y_{1.2}Ba_{0.8}CuO_{4-\delta}$  такие области имеют сравнительно небольшой объем, их проводимость обусловлена активационным механизмом, а значительная часть образца остается сверхпроводящей со слабым размытием сверхпроводящего перехода (кривая рис. 2,а).

В  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  активационного характера проводимости не наблюдается, но сверхпроводящим становится почти весь объем образца, что связано с тем, что в исходном состоянии он был несовершенным. Сверхпроводящий переход был двойным (кривые 1 и 2, рис. 2,б). Это свидетельствует о наличии двух фаз ("ortho I" с  $T_c \approx 90 \text{ К}$  и "ortho II" с  $T_c \approx 60 \text{ К}$ ), что может быть обусловлено довольно большим дефицитом кислорода ( $\delta \approx 0.4$ ) [4, 5]. Облучение с последующим отжигом может привести к удалению

некоторого количества кислорода, что должно привести к исчезновению сверхпроводимости.

### Выводы

Проведено изучение влияния реакторного облучения быстрыми нейтронами при низких температурах и последующего отжига на температурную зависимость и переход в сверхпроводящее состояние ВТСП  $Y_{1.2}Ba_{0.8}CuO_{4-\delta}$  и  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Получено, что длительный (120 суток) отжиг при 300 К образцов, облученных флюенсом нейтронов  $1.6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$ , приводит к потере сверхпроводимости. Характер температурной зависимости сопротивления при этом изменяется с металлического ( $dR/dT > 0$ ) на неметаллический ( $dR/dT < 0$ ). Из полученных результатов следует, что деградация сверхпроводимости в ВТСП под облучением при более высоких температурах может происходить при флюенсах  $\sim 10^{22} \text{ м}^{-2}$ .

Авторы выражают благодарность Н.А. Чернодлекову и А.А. Абрикосову за постоянное внимание к работе и обсуждение полученных результатов.

### Литература

- [1] Давыдов С.А., Карькин А.Е., Мирмельштейн А.В. и др. - ФММ, 1987, т. 64, № 2, с. 399-400.
- [2] Sava R.J., Batlogg B., van Dover R.B. et al. - Phys. Rev. Lett., 1987, v. 58, N 16, p. 1676-1679.
- [3] Топчян Л.С., Наскидашвили И.А., Квирикашвили Т.Ш. и др. - ФТТ, 1985, т. 27, № 8, с. 2304-2308.
- [4] Nakasava Y., Ishikawa M., Takabatake T. et al. - Jap. J. Appl. Phys., 1987, v. 26, pt. 2, N 5, p. L682-L684.
- [5] Nakasava Y., Ishikawa M., Takabatake T. et al. - Jap. J. Appl. Phys., 1987, v. 26, pt. 2, N 5, p. L796-L798.

Поступило в Редакцию  
1 марта 1988 г.