

05.4
©1995**О МАССОПЕРЕНОСЕ, ОБУСЛОВЛЕННОМ
ПРОТЕКАНИЕМ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ТОКА***В.А.Дидик, В.В.Козловский, Р.Ш.Малкович, Е.А.Скорятин*

В последнее время сообщалось о массопереносе, обусловленном протеканием электрического тока через высокотемпературный сверхпроводник ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ [1-6], $\text{TlBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ [7]) при температурах ниже критической температуры сверхпроводимости. Наблюдался перенос как собственных компонент [1-7], так и примесей [4,5] в поликристаллических пленках [1-3] и в керамических образцах [4-7] при азотной температуре [3-7] и температуре жидкого гелия [1,2]. Использовались микрорентгеноспектральный [1,2], масс-спектрометрический [4-6], электронно-зондовый [5] и другие методы, в том числе метод меченых атомов [7]. Плотность тока варьировалась при этом от 2.7 [5] до $9.3 \cdot 10^5 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ [3], а время от 18 [5] до 166 ч [1,2].

В настоящей работе была предпринята попытка наблюдения переноса как собственных компонент сверхпроводника, так и примеси (Ag) с использованием радиоактивных методов исследования — метода активационного анализа на заряженных частицах [8], метода меченых атомов и радиографии.

1. Методика наблюдения переноса собственных компонент состояла в следующем. Из слитка сверхпроводящей керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, приготовленной методом твердофазного синтеза, с плотностью $4.6-4.7 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ и $T_c = 92 \text{ К}$ вырезались образцы в форме параллелепипеда размером $7 \times 5 \times 1 \text{ мм}$. Образцы своими торцевыми поверхностями зажимались в плексигласовой рамке между медными электродами. С целью улучшения контакта торцевые поверхности образцов и электроды смазывались эвтектикой In-Ga . Рамка с образцом помещалась непосредственно в жидкий азот, и через образец пропусклся постоянный ток. Состояние сверхпроводимости контролировалось с помощью потенциальных контактов. Плотность тока составляла $80-120 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$, а продолжительность протекания тока от 12 до 30 ч .

Затем образец подвергался облучению ядрами ^4He с энергией 20 МэВ на циклотроне МГЦ-20 [9]. Поток частиц $1.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, время облучения 1 ч . Одновременно с

этим рабочим образцом в тех же условиях облучался и контрольный образец, через который ток не пропусклся.

В результате облучения в $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ возникает целый ряд трансмутационных изотопов, из которых нами исследовались радиоактивные изотопы ^{92}Nb , ^{141}Ce и ^{66}Ga , созданные из иттрия, бария и меди по реакциям $[^{10}]^{89}Y(\alpha, n)^{92m}Nb$, $^{138}Ba(\alpha, n)^{141}Ce$ и $^{63}Cu(\alpha, n)^{66}Ga$. Далее исследовалось распределение каждого из этих изотопов по длине образца. Использованный при этом метод исследования аналогичен методу Кучинского $[^{11}]$. Образец помещался в небольшой свинцовый контейнер, практически полностью поглощавший радиоактивное излучение, а затем постепенно выдвигался из контейнера в направлении своей длины; при этом измерялась гамма-активность каждого из указанных выше трансмутационных изотопов с использованием гамма-спектрометра с $Ge(Li)$ -детектором. Такие же измерения проводились и на контрольном образце.

Как следует из полученных результатов, зависимость активности от координаты (длина выдвинутой части образца) для всех изотопов носит в пределах точности эксперимента линейный характер как на рабочем, так и на контрольном образце, что свидетельствует о постоянстве концентрации собственных компонент (Y , Ba , Cu) по длине образца.

2. Исследование влияния сверхпроводящего тока на перенос примеси осуществлялось с применением радиоактивного изотопа ^{110m}Ag . Были использованы два варианта проведения эксперимента, различавшиеся геометрией образца, способом нанесения серебра и методикой анализа.

В первом варианте образцы имели форму диска диаметром 10 мм и толщиной 1–2 мм. На один из торцов диска напылялось серебро, и два таких образца складывались этими торцами, зажимались между медными электродами и помещались в жидкий азот. После пропускания постоянного тока плотностью $4-8 \text{ A} \cdot \text{см}^{-2}$ в течение 18–62 ч с образцов сошлифовывались слои толщиной 1–3 мкм, активность которых измерялась на сцинтилляционном счетчике. Как показали результаты анализа, профили концентрации серебра на катодном и анодном образцах в пределах точности эксперимента совпадают как между собой, так и с профилями, снятыми на контрольных образцах, через которые ток не пропусклся.

Во втором варианте образцы представляли собой такие же параллелепипеды, как и использованные для экспериментов по влиянию сверхпроводящего тока на перенос собственных компонент. Серебро наносилось на такой образец натиранием как на оба его торца 5×1 мм, так и на большие грани — в виде узкой полоски по ширине образца. Образец подвергался радиографированию, после чего зажимал

ся своими торцами между медными электродами и помещался в жидкий азот, где через него в течение 18–30 ч пропусклся постоянный ток плотностью 80–120 А · см². После пропускания тока образец вновь радиографировался.

Согласно полученным нами данным, авторадиограммы, снятые после пропускания тока, не отличаются от исходных авторадиограмм.

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что в керамике $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в условиях выполненных нами экспериментов при протекании сверхпроводящего тока не наблюдается переноса как собственных компонент (иттрия, бария, меди), так и примесей (серебра).

Список литературы

- [1] Прохоров А.М., Гуфан Ю.М., Крапивка А.Е., Лубнин Е.Н., Мизайлова Г.Н., Рудашевский Е.Г., Сеферов А.С., Сумароков В.Н., Тарасенков В.А., Чистов А.Г. // ДАН СССР. 1990. Т. 311. № 1. С. 75–78.
- [2] Прохоров А.М., Гуфан Ю.М., Крапивка А.Е., Лубнин Е.Н., Мизайлова Г.Н., Рудашевский Е.Г., Сеферов А.С., Сумароков В.Н., Тарасенков В.А., Чистов А.Г. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 51. В. 3. С. 132–134.
- [3] Vitta S., Stan M.A., Warner J.D., Alterovitz S.A. Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58. N 7. P. 759–761.
- [4] Нефедов В.И., Соколов А.Н., Виноградов А.П., Бельский Н.К., Фомина Т.А., Очертянова Л.И., Шуранова Н.Г., Оксенойд К.Г., Новоторцев А.М., Волков Е.А., Филатов А.В. // Физика низких температур. 1991. Т. 17. № 11–12. С. 1561–1564.
- [5] Нефедов В.И., Соколов А.Н., Бельский Н.К., Очертянова Л.И., Козаков А.Т., Демьянченко А.Н., Рамендик Г.Н. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1991. Т. 4. № 5. С. 987–990.
- [6] Нефедов В.И., Вальковский М.Д., Соколов А.Н. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1992. Т. 5. № 6. С. 1081–1083.
- [7] Алексеевский Н.Е., Митин А.В., Фирсов В.И., Хлыбов Е.П. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1992. Т. 5. № 10. С. 1861–1863.
- [8] Вандекастеле К. Активационный анализ с использованием заряженных частиц. М.: Мир, 1991. 208 с.
- [9] Забродин Б.В., Затаренков Л.В., Козловский В.В. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1991. В. 3. С. 87–91.
- [10] Marples C., Goth G.W., Cerny J. // Nucl. Data. 1967. V. A2. P. 429.
- [11] Зайт В. Диффузия в металлах. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. С. 43.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
6 апреля 1995 г.