

05.4;12

©1994

## ДИФФУЗИЯ КОБАЛЬТА В КЕРАМИКЕ



*Г.С.Куликов, Р.Ш.Малкович,  
Е.А.Скоряткина, В.П.Усачева*

Одним из важных научных и практических аспектов изучения высокотемпературной сверхпроводимости является влияние примесей на свойства сверхпроводника. Примеси могут вводиться в ВТСП материал с целью изменения его свойств, но могут и неконтролируемым образом попадать в объем материала, в частности, в процессе термообработки. В этой связи представляет интерес исследование диффузии примесей в ВТСП материалах.

Настоящее сообщение посвящено диффузии кобальта в ВТСП керамике  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  (YBCO). Введение кобальта в YBCO приводит к изменению структурных характеристик [1,2], а также транспортных и магнитных свойств материала [3,4]. Ранее диффузия кобальта исследовалась радиоактивным методом в поликристаллах YBCO с плотностью  $\sim 96\%$  от теоретической [5]. Было установлено, что в ряду других исследованных примесей (Ag, Cu, Zn, Ni) кобальт обладает наименьшей скоростью диффузии.

В настоящей работе диффузия кобальта исследовалась в спеченой керамике YBCO с плотностью  $\sim 66$  и  $\sim 83\%$  от теоретической. Размер образцов  $\sim 8 \times 8 \times 2$  мм. Тонкий слой кобальта, меченого изотопом  $^{60}\text{Co}$ , напылялся в вакууме на одну из поверхностей образца. Диффузионный отжиг проводился на воздухе в интервале температур  $180-925^\circ\text{C}$ . Концентрационный профиль кобальта определялся путем сошлифовывания плоскопараллельных слоев толщиной 2–20 мкм и измерения их гамма-активности.

Как следует из полученных результатов, при отжиге в интервале от  $180$  вплоть до  $800^\circ\text{C}$  профиль кобальта не изменяется в образцах как большей, так и меньшей плотности (при указанных продолжительностях отжига, рис. 1). Изменение профиля удается наблюдать лишь начиная с  $900^\circ\text{C}$  (рис. 2). Расчеты коэффициента диффузии, выполненные в предположении, что диффузия происходит из постоянного источника, либо из слоя примеси, дали значения  $\sim 4 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2\text{с}^{-1}$  (при  $900^\circ\text{C}$ ) для образцов с плотностью

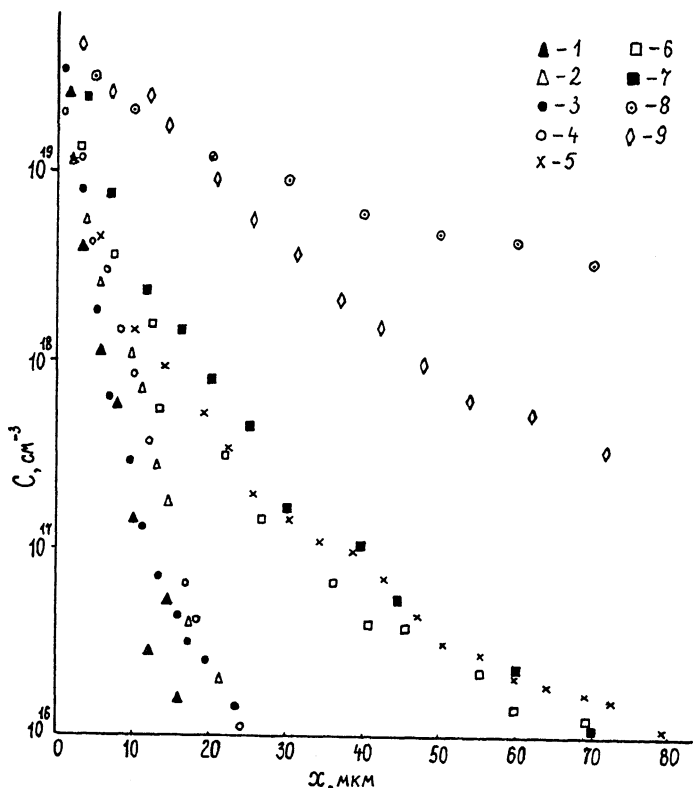


Рис. 1. Концентрационные профили кобальта (1-7) и серебра (8,9) в YBCO.  $T$ , °C: 1, 5 — 180; 6 — 270; 2 — 450; 3, 9 — 700; 4, 7, 8 — 800.  $t$ , ч: 1, 5, 6 — 1032; 2, 3 — 100; 4 — 3; 7, 9 — 0.16. Плотность, %: 1-4 — 83; 5-9 — 66.

~ 83% и  $\sim 6 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$  (при 925° C) для образцов с плотностью ~ 66%.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что кобальт диффундирует в YBCO значительно медленнее других исследованных нами примесей (Ag и Cu) [6,7] (рис. 1). Такой вывод находится в согласии с данными [5], полученными на материале с более высокой плотностью. В то же время найденное нами для 900° C значение коэффициента диффузии кобальта на порядок превосходит значение, полученное в работе [5], что, как мы полагаем, связано с меньшей плотностью материала, использованного в настоящем исследовании. Ускорение диффузии с уменьшением плотности материала отмечалось в работах [5,7,8]. Необходимо отметить, что профили кобальта, наблюдаемые при отжиге в интервале 180–800° C, не носят диффузионного характера, а возникают вследствие того, что атомы примеси в процес-

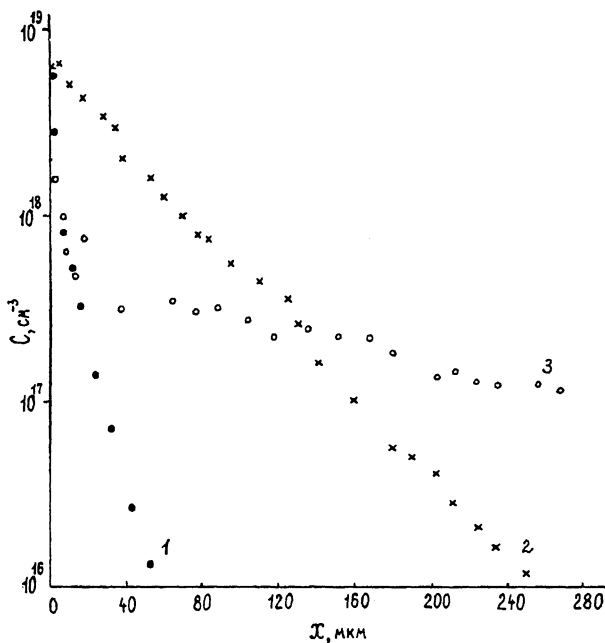


Рис. 2. Диффузионные профили кобальта в YBCO.  $T, ^\circ\text{C}$ : 1, 2 — 900, 3 — 925.  $t, \text{ч}$ : 1 — 3, 2 — 99, 3 — 26. Плотность, %: 1, 2 — 83, 3 — 66.

се напыления попадают на поверхность открытых пор керамики, как это имело место в наших опытах по диффузии серебра в YBCO [6,7].

#### Список литературы

- [1] Lin C.T., Li S.X., Zhou W., Mackenzie A., Liang W.Y. // *Physica C*. 1991. V. 176. N 1-3. P. 285-294.
- [2] Schmahl W.W., Putnis A., Salje E., Freeman P., Graeme-Barber A., Jones R. et al. // *Philos. Mag. Lett.* 1989. V.60. N 6. P. 241-248.
- [3] Huber J.G., Liverman W.J., Xu Y., Moodenbaugh A.R. // *Phys. Rev. B*. 1990. V. 41. N 13. P. 8757-8761.
- [4] Xiao G., Streits F.H., Gavrin H., Du Y.W., Chien C.L. // *Phys. Rev. B*. 1987. V. 35. N 16. P. 8782-8784.
- [5] Routbort J.L., Rothman S.J., Nan Chen. Mundy J.N., Baker J.E. // *Phys. Rev. B*. 1991. V. 43. N 7. P. 5489-5497.

- [6] Гафаров С.Ф., Джафаров Т.Д., Куликов Г.С., Малкович Р.Ш., Скорятин Е.А., Усачева В.П. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 21.С. 66-69.
- [7] Kulikov G.S., Malkovich R.Sh., Skoryatina E.A., Usacheva V.P., Sharlygina T.A., Gafarov S.F., Dzafarov T.D. // Ferroelectrics. 1993. V. 143.
- [8] Callaghan A.H., Barr L.W. // Int. Conf. on Diffusion and Defects in Solids DD-91. USSR.1991. Post Deadline Abstract P-06. P. 36.

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

Поступило в Редакцию  
3 февраля 1994 г.

---