

05.4

©1993 г.

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Б. А. Соркин, Х. Э. Валласте

В настоящее время экспериментально установлено, что в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) температура сверхпроводящего перехода T_c зависит от концентрации дырок (электронов). Изменение концентрации дырок в 1-2-3 и 2-1-4 соединениях определяется вариацией содержания кислорода и концентрации примесей (Sr, Ba, ...) [1-5]. Однако, возможно изменение T_c нехимическим способом, меняя, например, концентрацию свободных носителей электрическим полем. Влияние перпендикулярного току электростатического поля на сопротивление и T_c низкотемпературных сверхпроводниковых пленок показано в [6,7,8]. В перовските-псевдосегнетоэлектрике $Ba(Pb,Bi)O_3$ в электрическом поле наблюдалось изменение T_c и ширины сверхпроводящего перехода [9]. Более низкая по сравнению с металлами концентрация носителей в $YBaCuO$ $n = 3.6 - 7.0 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ [10] должна способствовать большим относительным изменениям их концентрации в электрическом поле. Эффекты электрического поля перспективны для разработки полевых транзисторов и туннельных приборов. Изучение влияния электрического поля на сопротивление и T_c представляет также интерес для выяснения детального механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

В настоящей работе излагаются результаты исследования влияния электрического поля на сопротивление и T_c пленок $YBa_2Cu_3O_{7-y}$.

Пленки $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ толщиной 0.3-0.6 мкм на $LaGaO_3$ подложках были синтезированы в лаборатории сверхпроводимости Таллинского технического университета методом лазерной абляции (Б.Палмре) [11]. Использовался эксимерный лазер ЭЛИ-94 на AgF (193 нм). Мишенями служили керамические образцы $YBa_2Cu_3O_{7-y}$. Температура подложки составляла 700° С. Во время осаждения в камере поддерживалось давление кислорода 13 Па, затем камера наполнялась кислородом до атмосферного давления и производилось медленное охлаждение с выдержкой при 500° С.

Температурные зависимости сопротивления измерялись в азотном криостате или в парах азота (80-300 К) четырехзондовым методом на переменном токе до 200 мкА. Использовались прижимные никелевые контакты с напыленными на образец контактными площадками из серебра диаметром 1.5 мм, расположенными в углах квадрата с боковым размером около 6 мм. Температура измерялась термопарой медь-константан, наклеенной на поверхность подложки. Погрешность показаний термопары при сравнении кривых не более 0.5 К. Электрическое поле напряженностью E

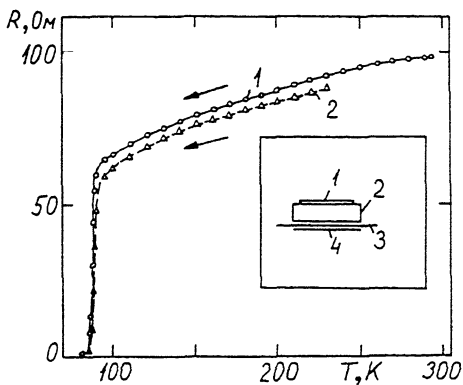


Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$: 1 — без поля, 2 — с -4 кВ на полевом электроде. Вставка: схема приложения электрического поля к пленке: 1 — сверхпроводник, 2 — подложка, 3 — слюдяная пластина, 4 — полевой электрод.

около $10^7 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$ прикладывалось через подложку и слюдяную пластину толщиной ≈ 50 мкм. Относительные диэлектрические проницаемости ϵ использованных материалов не превышают 15 [12]. Одним из электродов служила пленка YBaCuO , другим — алюминиевая фольга, наклеенная на слюду (см. вставку на рис. 1). В большинстве пленок наблюдался металлический характер проводимости. Это означает, что химическая формула пленок близка к $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ с малым y . Для повышения точности измерений использовался медленный режим охлаждения или нагрева ($\approx 0.1 \text{ К} \cdot \text{с}^{-1}$). Из-за возможного градиента температур между пленкой и подложкой сравнивались температурные зависимости сопротивления при охлаждении или при нагреве.

На рис. 1 и 2 (вблизи T_c) приведены температурные зависимости сопротивления (в режиме охлаждения) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ пленки на LaGaO_3 подложке без (кривые 1) и с приложением отрицательного потенциала на электрод 4 (см. вставку на рис. 1) около 300 К (кривые 2). Температура зачужения и полуспада сопротивления в приложенном электрическом поле смещена в сторону более высоких температур на ≈ 1 К. Таким образом, T_c смещается в данной системе на 1 К в поле $E = 10^7 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$. Увеличение T_c в зависимости от E наблюдалось в нескольких циклах охлаждения — нагрев, аналогично наблюдавшемуся в керамике [13]. При этом в керамике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ повышалась на 2–6 К [13] (по нашей оценке $E \approx 3 - 5 \cdot 10^7 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$). В $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$ при $T_c = 7.3 \text{ К}$ в электрическом поле напряженностью $E = 10^6 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$ T_c увеличивалась на 0.3 К [9]. Отметим, что в электрическом поле изменение концентрации носителей на поверхности и зависящие от нее изменения сопротивления и сдвиг T_c определяются произведением $\epsilon \cdot E$. В $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ с дырочной проводимостью данная полярность напряжения увеличивает число дырок в приповерхностной области образца и уменьшает сопротивление. Погрешность измерения температуры в неизотермическом режиме не позволила заметить смещение кривой при положительном потенциале на электрод 4 (см.

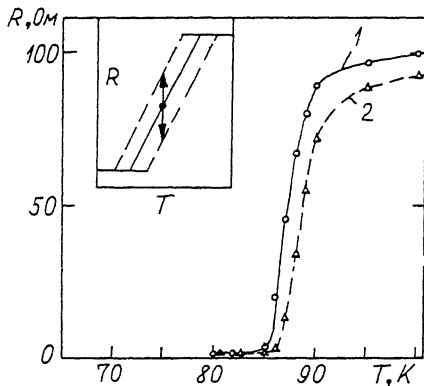


Рис. 2. Температурная зависимость сопротивления пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$: 1 — без поля, 2 — с 4 кВ на полевом электроде. Вставка: схема смещения сверхпроводящего перехода в электрическом поле.

вставку на рис. 1), хотя оно уменьшает число дырок и, в принципе, должно приводить к уменьшению T_c . Этот вопрос требует дальнейших исследований.

В использованных пленках электростатическое поле проникает в поверхностный слой, вызывая изменение его сопротивления через изменение концентрации носителей. Влияние на сверхпроводящую фазу в глубине образца возможно при наличии областей с разной величиной проводимости. Причиной этому может быть пониженное по сравнению с оптимальным содержание кислорода. На это указывают пониженные T_c (85 К) и плотность критического тока. Не исключено также влияние несовершенств роста пленки или ее деградации при хранении на воздухе [14,15]. Эффективный объем влияния электрического поля на проводимость в таком случае будет больше. Эффект влияния электростатического поля на сверхпроводящие свойства наблюдался в тонких ориентированных пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ [16-18].

Для проверки, не связаны ли полученные изменения T_c с другими эффектами, например, с градиентом температуры, температура образца в парах азота стабилизировалась в области максимальной крутизны сопротивления около T_c (см. вставку на рис. 2). Сопротивление не менялось за время, необходимое для проведения измерений (минуты). Включение напряжения приводило к изменению сопротивления на несколько процентов. Выключение напряжения приводило к почти полному восстановлению первоначального сопротивления. В данном случае направление изменения сопротивления и T_c зависело от направления электрического поля, в противоположность случаю, когда варьировалась температура. При повторных включениях напряжения изменение сопротивления уменьшалось. Это, возможно, связано с влиянием диффузионных процессов или деградацией поверхностного сверхпроводящего слоя в электрическом поле, наблюдавшихся на керамике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ [13-15].

Авторы благодарны П.Консину и В.Хижнякову за плодотворные обсуждения результатов, Ы.Пальмере за предоставление синтезированных образцов YBaCuO .

- [1] *Shafer M.W., Penney T., Olsen B.L.* // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 7. P. 4047-4050.
- [2] *Torrance J.B., Tokura Y., Nazzari A.I., Bezinge A., Huang T.C., Parkin S.S.P.* // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 61. N 9. P. 1127-1130.
- [3] *Rao C.N.R., Gopalakrishnan J., Santra A.K., Mannivannan V.* // Physica C. 1991. V. 174. N 1-3. P. 11-13.
- [4] *Konsin P., Kristoffel N., Ord T.* // Phys. Lett. A. 1988. V. 129. N 5-6. P. 339-342; 1989. V. 137. N 7-8. P. 420-422; 1990. V. 143. N 1-2. P. 83-84.
- [5] *Консин П.И., Кристофель Н.Н., Клямбре Х.Ф., Соркин Б.А., Фроруп А.Г., Эланго М.А., Эрд Т.А.* // СФХТ. 1989. Т. 2. № 11. С. 24-27.
- [6] *Glover R.E., Sherill M.D.* // Phys. Rev. Lett. 1960. V. 5. N 6. P. 248-250.
- [7] *Stadler H.L.* Phys. Rev. Lett. 1965. V. 14. N 24. P. 979-981.
- [8] *Дьяконов К.В., Илсавский Ю.В., Яткинд Э.З.* // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 1. С. 81-82.
- [9] *Богатко В.В., Венецьев Ю.В.* // ФТТ. 1987. Т. 29. № 9. С. 2872-2874.
- [10] *Fiory A.T., Hebard A.F., Eick R.H., Mankiewich P.M., Howard R.E., O'Malley M.L.* // Phys. Rev. Lett. 1990. V. 65. N 27. P. 3441-3444.
- [11] *Фельдбах Э., Лейб Т., Валласте Х.Э.* В кн.: Труды ИФ АН Эстонии. 1990. № 67. С. 23-36.
- [12] *Гришин А.М., Никонец И.В., Хозлов В.А.* В кн.: Обзоры по высокотемпературной сверхпроводимости. М.: МЦНТИ, 1991. В. 1(5). С. 44-57.
- [13] *Гоменюк Ю.В., Лозовский В.З., Лысенко В.С., Походня К.И., Снитко О.В., Сытенко Т.Н., Тягульский И.И.* // ДАН Украины, Сер. А. 1989. № 11. С. 49-51.
- [14] *Соболь Э.Н., Баграташвили В.Н., Жеригин А.Н., Свиридов А.П.* В кн.: Обзоры по высокотемпературной сверхпроводимости. М.: МЦНТИ, 1990. В. 3. С. 94-131.
- [15] *Нефедов В.И., Соколов А.Н.* // ЖНХ. 1989. Т. 34. В. 11. С. 2723-2739.
- [16] *Mannhart J., Schlom D.G., Bednorz J.G., Müller K.A.* // Phys. Rev. Lett. 1991. V. 67. N 15. P. 2099-2101.
- [17] *Müller K.A.* // Physica C. 1991. V. 185-189. P. 3-10.
- [18] *Xi X.X., Doughty C., Walkenhorst A., Kwon C., Li Q., Vankatesan T.* // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 68. N 8. P. 1240-1243.

Институт физики
АН Эстонии
Тарту

Поступило в Редакцию
11 апреля 1993 г.