

РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ПРОВОДИМОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

Назирова З.Ф., Вовк Р.В.

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, 61077, Харьков, Украина

Назирова З.Ф.
Вовк Р.В.
Харьковский
национальный
университет имени
В.Н. Каразина

Как известно [1], характерной особенностью высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) является близость диэлектрического и сверхпроводящего состояний. В связи с этим возникает закономерный вопрос о взаимовлиянии этих состояний и, в этом аспекте, какую роль играют эффекты локализации при возникновении сверхпроводимости в ВТСП? Наибольший интерес для исследования этих вопросов ВТСП-соединение $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, где $Re = Y$ или другой редкоземельный элемент (так называемая система 1-2-3). Это обусловлено сразу несколькими причинами. Во-первых, в случае оптимально допированных кислородом образцов, эти соединения имеют достаточно высокую критическую температуру $T_c \geq 90$ К, превышающей температуру жидкого азота. Во-вторых, основные свойства этих соединений можно относительно легко варьировать путем изменения содержания кислорода, а также за счет полной или частичной замены составных компонент их изоэлектронными аналогами. При этом известно [1], что замена иттрия другими редкоземельными элементами практически не влияет на основные свойства соединения в нормальном и сверхпроводящем состоянии. Исключение составляет только замена иттрия на празеодим, так называемая «аномалия празеодима» [2]. Внесение даже малых ($x \approx 0,05$) добавок празеодима в образцах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ приводит к существенному ухудшению их ведущих свойств, которое выражается в снижении T_c , росте удельного электросопротивления и усилении эффектов локализации. При достижении концентрации $x \approx 0,6$ сверхпроводимость в соединении полностью исчезает, и она переходит в диэлектрический состояние. В то же время при таком переходе кристаллическая структура и кислородный индекс соединения остаются практически неизменными. Это, в свою очередь, дает нам возможность постепенного изменения соотношения между различными типами проводимости и, таким образом, более детального изучения электротранспортных процессов в экспериментальных образцах. С учетом вышесказанного, в данной работе была поставлена цель исследовать эволюцию продольной проводимости в монокристаллах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ при различной степени легирования празеодимом в широком интервале концентраций $0 \leq x \leq 0,5$.

Монокристаллы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ выращивали по раствор-расплавной технологии [1]. Для получения кристаллов с частичной заменой Y на Pr , $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, в начальную шихту добавляли Pr_2O_3 в соответствующем процентном соотношении. Режимы выращивания и насыщение кислородом кристаллов $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ были такими же, как и для нелегированных монокристаллов [1]. Как исходные компоненты для выращивания кристаллов использовали соединения Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO и Pr_2O_3 . Электросопротивление в ab -плоскости измеряли по стандартной 4-х контактной методике на постоянном токе до 10 мА. Температуру образца определяли платиновым терморезистором.

Как показали измерения температурных зависимостей электросопротивления в базисной ab -плоскости монокристаллов $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ с разной степенью легирования празеодимом, по мере роста концентрации празеодима критическая температура уменьшается, а электросопротивление возрастает, что согласуется с литературными данными [2].

При этом следует отметить, что для концентраций празеодима ($0,0 \leq x \leq 0,34$) экспериментальные кривые $\rho_{ab}(T)$ сохраняют квазиметаллический характер зависимости. При дальнейшем росте концентрации празеодима эти кривые приобретают вид с характерным термоактивационным прогибом, что свидетельствует об усилении роли эффектов локализации.

Как показал анализ, в координатах $\ln[\rho_{ab}(T)] - 1/T$ эти же экспериментальные кривые спрямляются в достаточно широком температурном интервале, что соответствует их описанию с помощью аналитического соотношения:

$$\rho(T) \sim \exp\left(\frac{\Delta}{T}\right), \quad (1)$$

где Δ - некоторая энергия активации.

В то же время, при понижении температуры ниже некоторого характерного значения начинается систематическое отклонение экспериментальных точек от линейной зависимости, что, согласно [3], может служить признаком реализации в системе перехода металл - диэлектрик (МД) «андерсоновского» типа. Как известно из литературы [3], переход Андерсона может происходить также и в веществах, которые не являются аморфными, но, одновременно, имеют определенную степень неупорядоченности. В соединениях системы 1-2-3 роль такого фактора может играть как разупорядочение лабильной компоненты [1], так и индуцированная допированием празеодимом частичная кластеризация экспериментального образца [2].

В работе [4] для анализа экспериментальных кривых $\rho_{ab}(T)$ была предложена формула:

$$\rho = \frac{\rho_0 + \alpha T}{1 - n \left[1 - \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right) \right]} - \frac{\beta T_c}{T - T_c}, \quad (2)$$

где первое слагаемое описывает металлический или полупроводниковый температурный ход электросопротивления в нормальном состоянии, а второе - флуктуационную сверхпроводимость, возникающее при температуре выше резистивного перехода в нормальное состояние; n и $1-n$ - доли металлической и полупроводниковой проводимостей, соответственно. При этом следует отметить, что все подгоночные параметры, использованные в нашем анализе, являются линейными зависимостями одного из них, фактически совпадает со значениями концентрации празеодима в наших образцах. Таким образом можно сделать вывод о том, что в нашем случае формула (2), как и в работе [4], по сути является однопараметрической.

Используя значения параметров, полученных из анализа наших кривых с помощью формулы (2), мы, по методике [4], разделили вклады, соответствующие металлической и полупроводниковой составляющим проводимости для всех исследованных образцов согласно формулам (3) [4] с использованием вышеуказанных параметров:

$$\sigma_1 = \frac{1-n}{\rho_0 + \alpha T} \quad \sigma_2 = \frac{n}{(\rho_0 + \alpha T) \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right)} \quad (3)$$

Как показал анализ, несмотря на то, что с увеличением концентрации празеодима доля полупроводниковой составляющей возрастает, сверхпроводящий переход всегда наступает после того, как начинает выполняться неравенство $\sigma_{мет} > \sigma_{п.п.}$. Иными словами, можно сделать вывод о том, что в образцах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ сверхпроводящий переход всегда предшествует переходу металл - диэлектрик.

Если за точку перехода металл - диэлектрик условно принимать температуру ТМИ, при которой $\sigma_{мет} = \sigma_{п.п.}$, то можно видеть, что увеличение концентрации празеодима приводит к существенному смещению ТМИ в область низких температур.

Литература

1. R.V. Vovk, M.A. Obolenskii, A.A. Zavgorodniy, I.L. Goulatis, V.I. Beletskii, A. Chroneos. // Physica C. – 2009. –V.469. – P. 203-206.
2. H.B. Radousky. // J.Mater. Res. Vol.7, №7, P. 1917-1955 (1992).
3. N.F. Mott Metal-insulator transition. - Word Scientific: London, 1974.
4. В.А.Волошин, И.С. Абальшева, Г.Ю. Бочкова, Ф.А. Бойко, Н.А. Дорошенко,

Я.И. Южелевский. // ФТТ. -1996. -т.38, №5. -с.1553-1558.