

ЭФФЕКТЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПСЕВДОЩЕЛЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ Y1-ZPRZBA2CU3O7-Δ

Габусу П.А., Вовк Р.В.

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

Габусу П.А.
Вовк Р.В.
Харьковский
национальный
университет
имени В.Н. Каразина

Изучение псевдощелевой аномалии (ПЩ) продолжает оставаться одним из наиболее актуальных направлений физики высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Однако, несмотря на большой накопленный литературный материал, до сих пор неясными остаются как сама природа происхождения ПЩ так и вопрос о ее роли в формировании сверхпроводящего состояния в ВТСП. Наиболее перспективным для изучения в этом аспекте являются соединения Y1Ba2Cu3O7-δ, что обусловлено возможностью широкого варьирования их состава путем замены иттрия его изоэлектронными аналогами, либо изменения степени кислородной нестехиометрии. До настоящего времени считалось [1], что в области электротранспортных свойств псевдощель проявляется в отклонении температурной зависимости электросопротивления вниз от линейной зависимости. Однако, как было установлено в недавней работе [2], ПЩ может оказывать существенное влияние на реализацию различных режимов некогерентного переноса заряда поперек базисной плоскости. Так, согласно [2], температурная зависимость поперечного электросопротивления $\rho_c(T)$ в случае соединения Y1Ba2Cu3O7-δ должна подчиняться соотношению:

$$\rho_c(T) = \frac{\alpha T}{\Delta^*} \exp\left(\frac{\Delta^*}{T}\right), \quad (1)$$

где α - коэффициент зависящий от содержания кислорода, а Δ^* – некоторая величина определяющая термоактивационный процесс через энергетическую щель «псевдощель».

Как отмечалось выше, характерной особенностью соединения Y1Ba2Cu3O7-δ является относительная простота замены иттрия другими редкоземельными элементами [3]. Особый интерес представляет частичная замена Y на Pr, которая, с одной стороны, приводит к подавлению сверхпроводимости [4] (в отличие от случаев замены Y на остальные редкоземельные элементы), а с другой – позволяет сохранять практически неизменными параметры решетки и кислородный индекс соединения [5]. В частности, исследование влияния примесей Pr на условия и режимы существования области псевдощелевого состояния (ПЩ) таких соединений [5] играет важную роль не только для прояснения природы высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), но и для определения эмпирических путей повышения их критических параметров. Следует отметить, что до настоящего времени данные о степени влияния допирования Pr на проводящие свойства соединения YBaCuO остаются в значительной степени противоречивыми. Очевидно, определенную роль здесь играет тот факт, что существенная часть экспериментального материала была получена на керамических, пленочных и текстурированных образцах различной технологической предыстории, обладающих высоким содержанием межгранулярных связей. Учитывая вышесказанное, в настоящей работе была поставлена цель исследования поперечной проводимости в монокристаллах Y1-zPrzBa2Cu3O7-δ с различной степенью допирования празеодимом.

Монокристаллы YBa2Cu3O7-δ выращивали по раствор-расплавной технологии [4]. Для получения кристаллов с частичной заменой Y на Pr, Y1-zPrzBa2Cu3O7-δ, в начальную шихту добавляли Pr5O11 в соответствующем процентном соотношении. Режимы выращивания и насыщения кислородом кристаллов Y1-zPrzBa2Cu3O7-δ, были такими же, как и для нелегированных монокристаллов [4]. Как начальные компоненты для выращивания кристаллов использовали соединения Y2O3, BaCO3, CuO и Pr5O11. Характерные размеры кристаллов составляли 2.5x1.5x0.4 мм³ (наименьший размер соответствовал направлению вдоль оси c). Электросопротивление измеряли по восьмиконтактной методике, описанной в [3]. Температуру измеряли платиновым терморезистором.

Как показали измерения температурных зависимостей $\rho_c(T)$ восьми образцов с

различным содержанием празеодима, по мере увеличения концентрации празеодима, электросопротивление образцов возрастает, а критическая температура понижается, что согласуется с литературными данными [4,5]. При этом сами зависимости $\rho_c(T)$ испытывают переход от квазиметаллического к полупроводниковому поведению, с характерной большой отрицательной кривизной экспериментальных кривых.

Как показал анализ, эти же зависимости в координатах $\ln(\rho/T) - 1/T$ (что соответствует их описанию посредством соотношения (1)) в области малых концентраций празеодима ($z \leq 0.23$) и относительно высоких температур достаточно хорошо спрямляются. В тоже время, по мере дальнейшего роста концентрации празеодима, происходит значительное отклонение экспериментальных кривых от этой зависимости. При этом, как показал анализ, эти же кривые $\rho_c(T)$ в координатах $\ln(\rho/T) - 1/T$, измеренные при относительно большой ($z \geq 0.34$) концентрации празеодима, заметно лучше описываются посредством соотношения для прыжковой проводимости:

$$\rho_c(T) = T \exp\left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/2}, \quad (2)$$

носящего название «закон $1/2$ » [3,6]. Здесь, T_0 – энергия активации.

Как следует из рисунка, для кривых с концентрацией $z \geq 0.43$ при температурах вблизи 94–127 К наблюдается изменение угла наклона более чем в два раза, что, в свою очередь, свидетельствует об уменьшении энергии активации, и отражает наличие фазовых переходов, наблюдавшихся ранее в работе [7] для монокристаллов YBaCuO. Согласно [7], переходы такого типа оказывают влияние на кинетику переноса заряда и, согласно классическим критериям Мотта [8], могут служить достоверным признаком реализации в системе перехода металл-диэлектрик (МД) «андерсоновского» типа.

Действительно, как показал проведенный анализ наших экспериментальных данных, в области температур, в которой наблюдается систематическое отклонение экспериментальных точек от линейной зависимости в координатах $\ln[\rho ab/T] - 1/T$, наши кривые достаточно хорошо описываются при помощи асимптотической зависимости, так называемого закона « $1/3$ » [9]:

$$1/\rho \propto T^{1/3}. \quad (3)$$

Такое поведение зависимостей $\rho(T)$ уже наблюдалось ранее экспериментально для аморфных сплавов Gd-Sn.

Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных показывает, что в случае соединения Y1-zPrzBa2Cu3O7- δ , по мере увеличения концентрации празеодима происходит усиление процессов локализации носителей, которое сопровождается переходом от ПЩ-режима к режиму прыжковой проводимости. Подобная зависимость свидетельствует о том, что механизм транспорта носителей поперек слоев осуществляется с помощью термоактивационных прыжков с переменной длиной. Показатель $1/2$ свидетельствует о том, что прыжковая проводимость одномерна, и/или что кулоновское взаимодействие играет в поперечном транспорте существенную роль. Недавно подобную зависимость обнаружили также в некоторых слоистых органических сверхпроводниках в перпендикулярном магнитном поле [10], что может дать ключ к разгадке некогерентного транспорта поперек слоев. Это явление еще раз подчеркивает отличие ВТСП купратов от ферми-жидкостных металлов, поскольку температурная зависимость сопротивления вдоль и поперек слоев не одинакова и отличается от характерной для обычных металлов.

Литература

1. А.А. Завгородний, А.В. Самойлов, Р.В. Вовк, М.А. Оболенский, З.Ф. Назиров, А.Г. Петренко, V.M. Pinto Simoes // Физика и техника высоких давлений, том 20, № 4, с. 80-95 (2010).
2. H.G.Luo, H.P. Su, and T. Xiang // Phys. Rev. B. 77. -2008. –P. 014529 (1-17).

3. *R.V.Vovk, M.A.Obolenskii, A.V.Bondarenko, I.L.Goulatis, A.V.Samoilov, A.I.Chroneos, V.M. Pinto Simoes.* // J. Alloys and Compaunds 464, P. 58-66 (2008).
4. *R.V. Vovk, M.A. Obolenskiy, A.A. Zavgorodniy, D.A. Lotmyk, K.A. Kotvitskaya* // Physica B 404 (2009) p. 3516-3518.
5. *H.B. Radousky* // J.Mater. Res. -1992. -V.7, №7. -P.1917-1955.
6. *Мейлихов М.З.* // ЖЭТФ. -1999. -Т.115, №4. -С.1484-1496.
7. *Оболенский М.А., Бондаренко А.В., Зубарева М.О.* // ФНТ. -1989. - Т.15, №11. -С.1152-1159.
8. *N.F. Mott*, Metal-insulator transition, Word Scientific, London (1974).
9. *Y. Imry* // J. Appl. Phys. 52, 1817 (1981).
10. *V.M. Gvozdkov.* // Phys. Rev. B 76, 235125 (2007)