УДК 538.945+537.312.62

СПІВІСНУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПРОВІДНОСТІ В МОНОКРИСТАЛАХ $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ З РІЗНИМ ВМІСТОМ ПРАЗЕОДИМУ

А.А. Завгородній, Р.В. Вовк, М.О. Оболенський, З.Ф. Назиров, О. Чурюкова

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
Україна 61022 м. Харків-77 пл. Свободи, 4
e-mail: Ruslan.V.Vovk@univer.kharkov.ua
Надійшла до редакції 13 травня 2011 р.

У роботі досліджено вплив допування празеодимом на провідність в базисній площині ВТНП-монокристалів YBaCuO. Встановлено, що збільшення ступеня допування празеодимом у зразках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ призводить до посилення ефектів локалізації та реалізації в системі переходу виду метал - діелектрик, який завжди передує надпровідному переходу. Збільшення концентрації празеодима призводить до істотного зміщення точки переходу метал - діелектрик в область низьких температур.
КЛЮЧОВІ СЛОВА: високотемпературна надпровідність, перехід метал - діелектрик, допування, монокристали YBaCuO, ефекти локалізації.

COEXISTENCE OF VARIOUS TYPES OF CONDUCTIVITY IN $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ SINGLE CRYSTALS WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF PRASEODYMIUM

A.A. Zavgorodniy, R.V. Vovk, M.A. Obolenskii, Z.F. Nazyrov, E. Churyukova

V.N. Karazin Kharkov National University, 4, Svoboda sq.
61022, Kharkiv, Ukraine

In present work we have investigated the conductivity in the *ab*-plane of the doped by Pr in HTSC YBaCuO single crystals. It is shown, that the increasing of praseodymium concentration in sumples of $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ leads to enhancement of the localization and realization in the system of the metal - insulator transition, which always precedes the superconducting transition. Increasing the praseodymium concentration leads to a significant shift of the metal - insulator transition to low temperatures.
KEY WORDS: high-temperature superconductivity, metal – insulator transition, doping, YBaCuO single crystals, localization effects.

СОСУЩЕСТВОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОВОДИМОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПРАЗЕОДИМА

А.А. Завгородний, Р.В. Вовк, М.А. Оболенский, З.Ф. Назиров, О. Чурюкова

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина
Украина 61022 г. Харьков-77 пл. Свободы, 4

В работе исследовано влияние допирования празеодимом на проводимость в базисной плоскости ВТСП-монокристаллов YBaCuO. Установлено, что увеличение степени допирования празеодимом в образцах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ приводит к усилению эффектов локализации и реализации в системе перехода вида металл - диэлектрик, который всегда предшествует сверхпроводящему переходу. Увеличение концентрации празеодима приводит к существенному смещению точки перехода металл - диэлектрик в область низких температур.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высокотемпературная сверхпроводимость, переход металл - диэлектрик, допирование, монокристаллы YBaCuO, эффекты локализации.

Як відомо [1], характерною особливістю високотемпературних надпровідників (ВТНП) є близькість діелектричного та надпровідного станів. У зв'язку з цим виникає закономірне питання про взаємовплив цих станів і, в цьому аспекті, яку роль відіграють ефекти локалізації при виникненні надпровідності в ВТНП? Найбільшу цікавість для дослідження цих питань має ВТНП-сполука $Re_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, де Re = Y або інший рідкоземельні елемент (так звана система 1-2-3). Це зумовлено одразу декількома причинами. По-перше, у випадку оптимально допованих киснем зразків, ці сполуки мають досить високу критичну температуру $T_c \geq 90$ К, що перевищує температуру рідкого азоту. По-друге, провідні властивості цих сполук можна відносно легко варіювати шляхом зміни вмісту кисню, а також за допомогою повної або часткової заміни складових компонент їх ізоелектронними аналогами. При цьому відомо [1], що заміна ітрію іншими рідкоземельними елементами практично не впливає на провідні властивості сполуки в нормальному і надпровідному стані. Виняток становить тільки заміна ітрію на празеодим, так звана «аномалія празеодима» [2]. Внесення навіть малих ($x \approx 0{,}05$) добавок празеодима в зразках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ призводить до істотного погіршення їх провідних властивостей, яке виражається в зниженні T_c, зростанні питомого електроопору і посиленні ефектів локалізації. При досягненні концентрації $x \approx 0{,}6$ надпровідність у сполуці повністю зникає, і вона переходить у діелектричний стан. У той же час при такому переході кристалічна структура і кисневий індекс сполуки залишаються практично незмінними. Це, у свою чергу, дає нам можливість поступової зміни співвідношення між різними типами провідності і, таким чином, більш детального вивчення електротранспортних процесів в експериментальних зразках.

© Zavgorodniy A.A., Vovk R.V., Obolenskii M.A., Nazyrov Z.F., Churyukova E., 2011

З урахуванням вищесказаного, у цій роботі була поставлена мета дослідити еволюцію поздовжньої провідності в монокристалах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ за різного ступеня легування празеодимом в широкому інтервалі концентрацій $0 \le x \le 0,5$.

МАТЕРІАЛИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИКИ

Монокристали $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ вирощували за розчин-розплавною технологією [1]. Для отримання кристалів з частковою заміною Y на Pr, $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, у початкову шихту додавали Pr_5O_{11} у відповідному процентному співвідношенні. Режими вирощування і насичення киснем кристалів $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ були такими ж, як і для нелегованих монокристалів [1]. Як початкові компоненти для вирощування кристалів використовували сполуки Y_2O_3, $BaCO_3$, CuO і Pr_5O_{11}. Електроопір у ab-площині вимірювали по стандартній 4-х контактній методиці на постійному струмі до 10 мА. Температуру зразка визначали платиновим терморезистором.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

На рис.1 (а) і (б) показані температурні залежності електроопору в базисній ab-площині, виміряні для монокристалів $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різним ступенем легування празеодимом. Видно, що по мірі зростання концентрації празеодима критична температура зменшується, а електроопір зростає, що узгоджується з літературними даними [2].

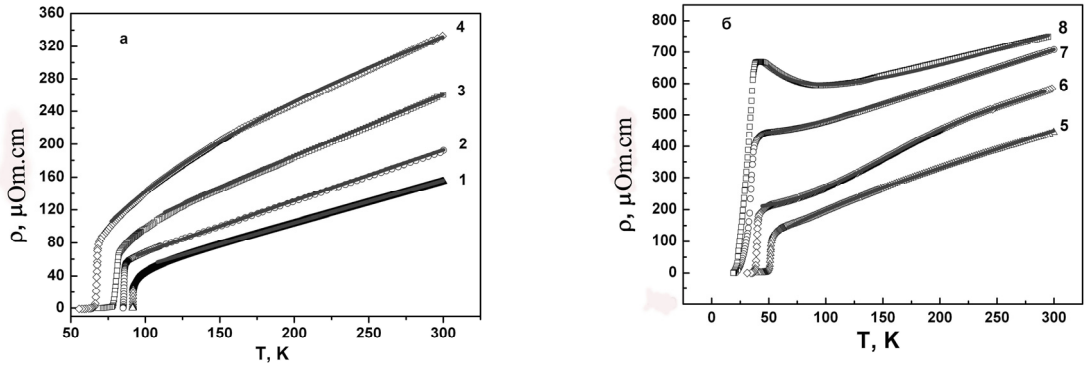

Рис. 1. Температурні залежності електроопору ρ_{ab} монокристалів $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ для різних концентрацій празеодима x: а – криві: 1 - 0,0; 2 – 0,05; 3 – 0,19; 4 – 0,23; б – криві: 5 – 0,34; 6 – 0,43; 7 – 0,48; 8 – 0,5.

При цьому слід зазначити, що для концентрацій празеодима ($0,0 \le x \le 0,34$) - рис.1 (а), експериментальні криві зберігають квазіметалевий характер залежності $\rho_{ab}(T)$. При подальшому зростанні концентрації празеодима рис.1 (б) ці криві набувають виду з характерним термоактиваційним прогином, що свідчить про посилення ролі ефектів локалізації.

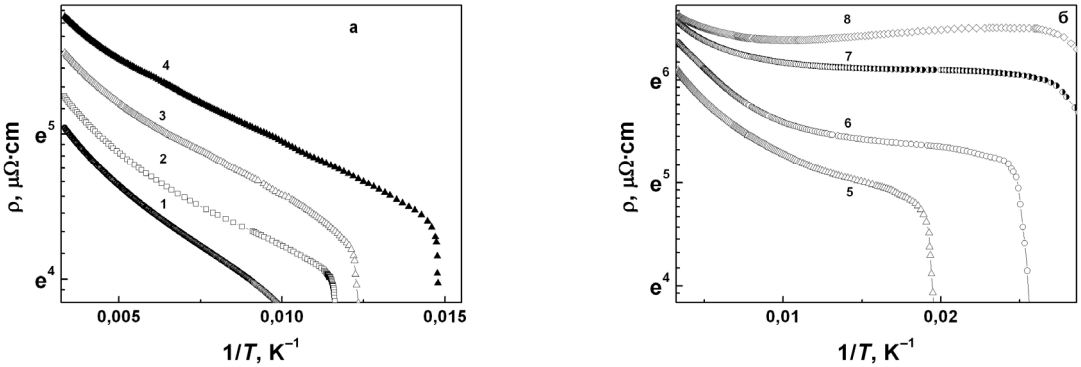

Рис. 2. Залежності $\ln\rho_{ab}$–$1/T$ при різній концентрації празеодиму. Позначення кривих ті ж, що і на рис. 1.

На рис.2 (а) і (б) ці ж залежності наведені в координатах $\ln\rho_{ab}$ – 1/T. Видно, що в цих координатах експериментальні криві спрямляються в досить широкому температурному інтервалі, що відповідає їх описанню за допомогою аналітичного співвідношення:

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

де Δ – деяка енергія активації.

У той же час, при зниженні температури нижче за деяке характерне значення починається систематичне відхилення експериментальних точок від лінійної залежності, що, згідно з [3], може слугувати ознакою реалізації в

системі переходу метал - діелектрик (МД) «андерсонівського» типу. Як відомо з літератури [3], перехід Андерсона може відбуватися також і в речовинах, які не є аморфними, але які, одночасно, мають певний ступінь невпорядкованості. У сполуках системи 1-2-3 роль такого фактора може відігравати як розупорядкування лабільної компоненти [1], так і індукована допуванням празеодимом часткова кластеризація експериментального зразка [2].

У роботі [4] для аналізу експериментальних кривих $\rho_{ab}(T)$ була запропонована формула:

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

де перший доданок описує металевий або напівпровідниковий температурний хід електроопору в нормальному стані, а другий - флуктуаційну надпровідність, що виникає при температурі вище резистивного переходу в нормальний стан [5]; n і 1-n - частки металевої і напівпровідникової провідностей, відповідно.

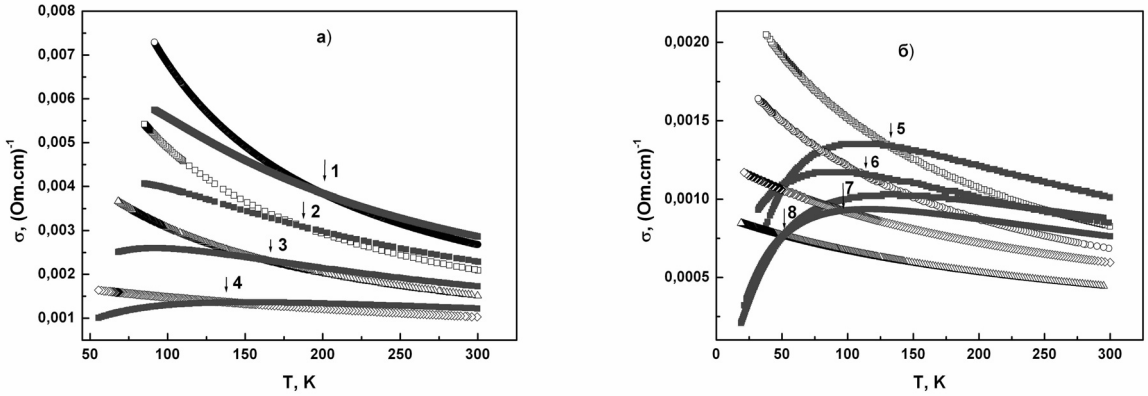

Рис. 3. Температурні залежності $\sigma_{мет}(T)$ і $\sigma_{н.п}(T)$ при різній концентрації празеодиму x: а) – криві: 1 – 0,0; 2 – 0,05; 3 – 0,19; 4 – 0,23; б) – криві: 5 – 0,34; 6 – 0,43; 7 – 0,48; 8 – 0,5. Стрілочками позначені точки, що відповідають температурі T_{MI}.

Флуктуаційна парапровідність для цих експериментальних кривих більш детально аналізується нами в [5]. Апроксимація експериментальних даних за допомогою першого доданку у формулі (2) показана на рис.1 суцільними кривими. При цьому слід зазначити, що всі підгоночні параметри, використані в нашому аналізі, є лінійними залежностями одного з них, який фактично збігається зі значеннями концентрації празеодима в наших зразках. Таким чином можна зробити висновок про те, що в нашому випадку формула (2), як і в роботі [4], по суті є однопараметричною.

Використовуючи значення параметрів, отриманих з аналізу наших кривих за допомогою формули (2), ми, за методикою [4], розділили вклади, що відповідають металевій і напівпровідниковій складовим провідності для всіх досліджених зразків. На рис. 3 (а) і (б) показані температурні залежності $\sigma_{мет}(T)$ і $\sigma_{н.п.}(T)$, розраховані за формулами (3) [4] з використанням вищевказаних параметрів:

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

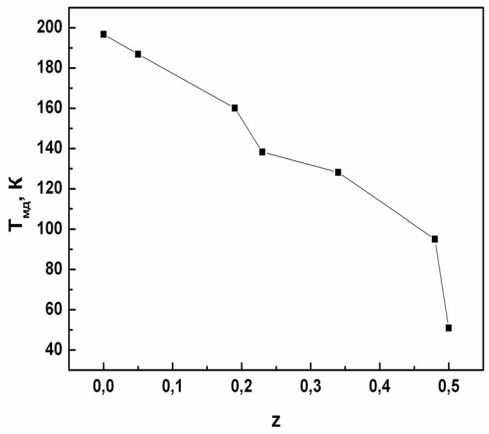

Рис. 4. Концентраційні залежності температури переходу метал – діелектрик T_{MI}.

З рис.3 видно, що незважаючи на те, що зі збільшенням концентрації празеодима частка напівпровідникової складової зростає, надпровідний перехід завжди настає після того, як починає виконуватися нерівність $\sigma_{мет} > \sigma_{н.п}$. Іншими словами, можна зробити висновок про те, що в зразках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ надпровідний перехід завжди передує переходу метал - діелектрик.

Якщо за точку переходу метал - діелектрик умовно приймати температуру T_{MI}, при якій $\sigma_{мет}=\sigma_{н.п.}$, то можна бачити, що збільшення концентрації празеодима призводить до істотного зміщення T_{MI} в область низьких температур (див. рис. 4).

ВИСНОВКИ

На закінчення стисло підсумуємо результати, отримані в даній роботі. Збільшення ступеня допування празеодимом в зразках $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ призводить до посилення ефектів локалізації та реалізації в системі переходу виду метал - діелектрик, який завжди передує надпровідному переходу. Збільшення концентрації празеодима призводить до істотного зміщення точки переходу T_{MI} в область більш низьких температур, що,

ймовірно, пов'язано зі збільшенням частки напівпровідникового внеску в провідність експериментальних зразків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. R.V. Vovk, M.A. Obolenskii, A.A. Zavgorodniy, I.L. Goulatis, V.I. Beletskii, A. Chroneos Structural relaxation, metal-to-insulator transition and pseudo-gap in oxygen deficient $HoBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ single crystals // Physica C. – 2009. –Vol.469. – P. 203-206.
2. H.B. Radousky A review of the superconducting and normal state properties of $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_7$ // J.Mater. Res. – 1992. - Vol.7, №7. - P. 1917-1955.
3. N.F. Mott Metal-insulator transition. - London: Word Scientific, 1974.
4. V.A. Voloshin, I.S. Abalysheva, G.Ju. Bochkova, F.A. Bojko, N.A. Doroshenko, Ja.I. Juzhelevskij Uslovija perehoda v svephppovodjawee sostojanie sistemy YReBaCuO (Re = Pr, Nd) // FTT. - 1996. -T.38, №5. - S.1553-1558.
5. A.A. Zavgorodnij, R.V. Vovk, Z.F. Nazirov, M.O. Obolens'kij, Є.I. Itrij Evoljucija fluktuacijnoji providnosti monokrystaliv Y1-ZPrZBa2Cu3O7-δ po miri zrostannja vmistu prazeodima // Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo universitetu, serija: fizichna "Jadra, chastinki, polja". - 2010. - № 933. - Vyp. 4/48/. - S.75-78.