

УДК 538.945+537.312.62

**ФЛУКТУАЦІЙНА ПРОВІДНІСТЬ МОНОКРИСТАЛІВ $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$ ІЗ
ЗАДАНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ ПЛОЩИННИХ ДЕФЕКТІВ****М.О. Оболенський, Р.В. Вовк, О.В. Бондаренко, О.В. Богдан***Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна**Україна 61077 р. Харків-77пл. Свободи 4**email: Ruslan.V.Vovk@univer.kharkov.ua*

Поступила в редакцію 5 травня 2005 р.

У роботі досліджена провідність монокристалів $YBaCuO$ і $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$ з односпрямованою системою площинних дефектів у нормальному і надпровідному стані. Показано, що температурна залежність флуктуаційної провідності досліджених зразків задовільно узгоджується з теоретичною моделлю Лоуренса-Доніаха. Домішки Pr є ефективними центрами розсіювання нормальних і флуктуаційних носіїв. Часткова заміна Y на Pr приводить до утворення двох надпровідних фаз з різними критичними температурами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: флуктуаційна провідність, допування, монокристали $YBaCuO$, високотемпературна надпровідність, кросовер, довжина когерентності

Як відомо, допування сполуки $YBaCuO$ заміщаючими елементами приводить до зміни густини носіїв струму, тепло- і електропровідності надпровідника. Особливий інтерес, в цьому аспекті, представляє часткова заміна Y на Pr, яка, з одного боку, приводить до пригнічення надпровідності (на відміну від випадків заміни Y на інші рідкоземельні елементи), а з іншого – дозволяє зберігати практично незмінними параметри кристалічної ґратки і кисневий індекс сполуки [1]. Зокрема, дослідження впливу домішок Pr на умови і режими існування області флуктуаційної провідності (ФП) таких сполук відіграє важливу роль як для прояснення природи високотемпературної надпровідності (ВТНП), так і для визначення емпіричних шляхів підвищення їх критичних параметрів. Слід зазначити, що до теперішнього часу дані про ступінь впливу допування Pr на ФП-область залишаються в значній мірі суперечливими. Очевидно, певну роль тут відіграє той факт, що істотна частина експериментального матеріалу була отримана на керамічних і текстурованих зразках різноманітної технологічної передісторії [2], які мають високий вміст міжгранулярних зв'язків. Окрім цього, певний вплив має наявність площинних дефектів – границь двійників (ДГ) [3], які практично завжди присутні в таких сполуках. У даній роботі було досліджено вплив домішок Pr на режим ФП в монокристалах $YBaCuO$ і $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$ з високою критичною температурою T_c і односпрямованою системою ДГ при орієнтації вектора транспортного струму I ДГ, коли вплив двійників на процеси розсіювання носіїв мінімізовано.

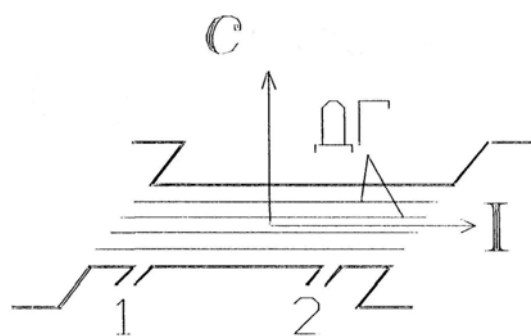
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИКИ

Рис.1. Схематичне зображення містка для резистивних досліджень.
1,2 – потенціальні контакти,
ДГ - границі двійників

Технологія вирощування монокристалів $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ детально описана в [3]. Для отримання кристалів з частковою заміною Y на Pr, $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$, в шихту додавали Pr_5O_{11} в атомному співвідношенні Y:Pr=20:1. Режими росту і насичення киснем кристалів $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$ були такими ж як і для недопованих монокристалів [3]. Як вихідні компоненти для вирощування кристалів використовували сполуки Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO і Pr_5O_{11} , всі марки ОСЧ.

Для проведення резистивних вимірювань відбирали монокристали прямокутної форми завдовжки 3мм, шириною 0,5мм і завтовшки 0,03мм. Електроконтакти створювали по стандартній 4-х контактній схемі шляхом нанесення срібної пасти на поверхню кристала з подальшим під'єднанням срібних провідників діаметром 0,05мм і тригодинним відпалюванням при температурі 200°C в атмосфері кисню. Така процедура дозволяла отримувати перехідний опір контактів менше одного Ома і проводити резистивні вимірювання при транспортних струмах до 10мА в аб-площині. Як відомо, при насиченні киснем в сполуках $YBaCuO$ відбувається тетраорто структурний перехід, який, у свою чергу, приводить до двійникування кристала, що мінімізує його пружну енергію. Для резистивних досліджень відбиралися кристали в яких існували області з проникаючими односпрямованими ДГ розміром $0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$. Це дозволяло вирізати з них містки з односпрямованими ДГ шириною 0,2мм і відстанню між парами контактів 0,3мм, як схематично показано на рис.1. При цьому місток вирізався так, щоб вектор транспортного струму I був паралельним площинам двійників.

ртнонх струмах до 10мА в аб-площині. Як відомо, при насиченні киснем в сполуках $YBaCuO$ відбувається тетраорто структурний перехід, який, у свою чергу, приводить до двійникування кристала, що мінімізує його пружну енергію. Для резистивних досліджень відбиралися кристали в яких існували області з проникаючими односпрямованими ДГ розміром $0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$. Це дозволяло вирізати з них містки з односпрямованими ДГ шириною 0,2мм і відстанню між парами контактів 0,3мм, як схематично показано на рис.1. При цьому місток вирізався так, щоб вектор транспортного струму I був паралельним площинам двійників.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Резистивні переходи в надпровідний стан кристалів YBaCuO (K1) і $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (K2) представлені на рис.2 кривими 1 і 2, відповідно. Видно, що їх критичні температури складають 91,7К і 83К. Використовуючи літературні дані щодо залежності T_c від концентрації празеодима [2] можна зробити висновок, що вміст Pr в кристалі K2 складає $z \approx 0,05$. Ширина резистивних переходів кристала K1 менше 0,5К, а кристала K2 – близько 2,5К. Вузька ширина переходів чистого кристала свідчить про однорідність досліджуваного зразка, а велика ширина резистивного переходу кристалла з домішкою Pr ймовірно може бути зумовлена неоднорідним розподілом Pr у об'ємі кристала.

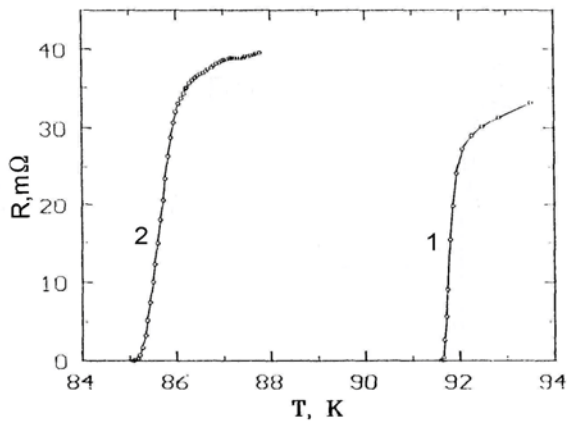


Рис.2. Переходи в надпровідний стан монокристалів:
1 - YBaCuO ; 2 - $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

відмінностями в орієнтації двійникових блоків. Ймовірно, спостережуване збільшення ρ_{ab} могло бути викликане зменшенням густини носіїв струму або появою ефективних центрів розсіяння. Зокрема, така поведінка ρ_{ab} можлива у разі слабкого розсіювання носіїв струму на Pr, або при утворенні мікрвоключень з підвищеним вмістом Pr за наявності перколяційних шляхів протікання струму по областях, в яких вміст Pr малий і їх внесок в електроопір невеликий. На користь останнього припущення свідчить наявність сходинки на надпровідному переході, яка може бути зумовлена існуванням двох фаз з різними критичними температурами. Це припущення також підтверджується результатами вимірювань польових залежностей критичного струму, проведених в [4].

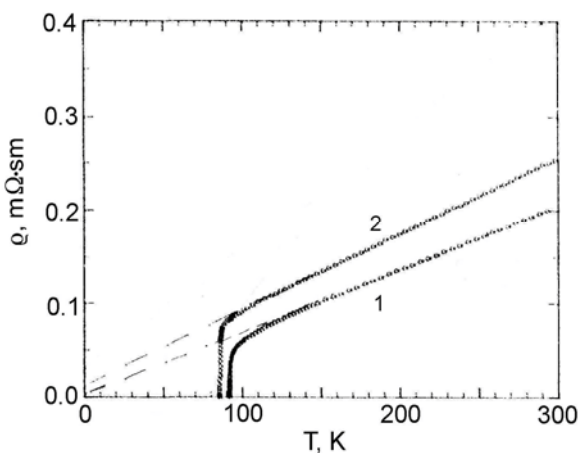


Рис.3. Температурні залежності електроопору $\rho_{ab}(T)$ монокристалів:
1 - YBaCuO та 2 - $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.

кристалів були запропоновані Асламазовим–Ларкіним [5] і Лоуренсом–Доніахом [6]. Згідно [6 с.361-362], температурна залежність ФП дається рівнянням:

$$\Delta\sigma = \frac{e^2}{16d\hbar\varepsilon} \left\{ 1 + \left[\frac{2\xi_c(0)}{d} \right] \varepsilon^{-1} \right\}^{-1/2}. \quad (2)$$

Температурні залежності питомого електроопору зразків в аб-площині $\rho_{ab}(T)$ показані на рис. 3. Видно, що в обох випадках залежності відтворюють металеву поведінку, проте співвідношення $\rho_{ab}(300\text{K})/\rho_{ab}(0\text{K})$ відрізняється і складає 12 і 20 для кристалів K1 і K2, відповідно. При цьому значення $\rho_{ab}(0\text{K})$ визначалося інтерполяцією лінійної по температурі ділянки залежності $\rho_{ab}(T)$, як це показано на рис. 3. Питомий електроопір в аб-площині кристалів K1 і K2 при кімнатній температурі складав близько 200 і 25 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$, відповідно.

Оскільки в обох кристалах вектор \mathbf{I} був зорієнтований паралельно ДГ, така різниця в значеннях електроопору не могла бути зумовлена модуляцією густини ДГ або

Нижче 150К температурна залежність $\rho(T)$ відхиляється від лінійної, очевидно, в результаті флуктуаційного спарування носіїв. Надлишкова провідність в цьому інтервалі температур, зазвичай визначається за допомогою рівняння:

$$\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0, \quad (1)$$

де $\sigma_0 = \rho_0^{-1} = (A + BT)^{-1}$ – провідність, визначувана екстраполяцією лінійної ділянки в нульове значення температури, а $\sigma = \rho^{-1}$ – експериментально визначуване значення провідності у нормальному стані.

Згідно існуючих на теперішній час уявлень, розмірність електронної підсистеми шаруватих надпровідників визначається співвідношенням між ξ_c – довжиною когерентності вздовж осі c і d – товщиною двовимірного шару. У разі $d < \xi_c$ взаємодія між флуктуаційними парами реалізується у всьому об'ємі надпровідника (3D-режим), при $d > \xi_c$ така взаємодія можлива тільки безпосередньо в надпровідних шарах (2D-режим). Основні теоретичні моделі, що описують режим ФП в шаруватих надпровідниках

Поблизу T_c , при $\xi_c \gg d$ (3D-режим) це рівняння перетвориться в:

$$\Delta\sigma_{3D} = \frac{e^2}{32\hbar\xi_c(0)} \varepsilon^{-1/2}, \quad (3)$$

або оддалік від T_c , при $\xi_c \ll d$ (2D-режим):

$$\Delta\sigma_{2D} = \frac{e^2}{16\hbar d} \varepsilon^{-1}, \quad (4)$$

де $\varepsilon = (T - T_c)/T_c$. При цьому 2D-3D кросовер описується співвідношенням:

$$\xi_c(T) = \xi_c(0)\varepsilon^{-1/2} = d/2. \quad (5)$$

При порівнянні з експериментальними даними $\xi_c(0)$, d і T_c в рівняннях (2)-(4) є підгоночними параметрами.

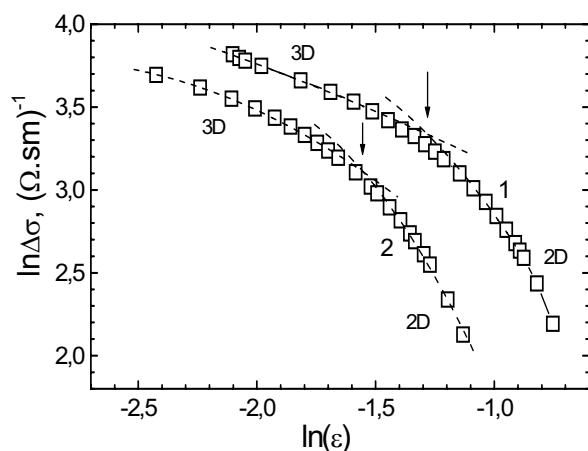


Рис.4. Залежності $\lg\Delta\sigma$ від ε для монокристалів:

1 – YBaCuO та 2 – Y_{1-x}Pr_xBa₂Cu₃O_{7-x}.

Пунктирними лініями показані розрахункові криві для 2D і 3D внесків.

Проведені згідно цієї методики розрахунки показали, що при внесенні добавки Pr, відбувається зміна величини довжини когерентності від $\xi_c(0) = 2,5 \pm 0,3 \text{ \AA}$ ($d = 12,1 \text{ \AA}$ і $T_c = 92,4 \text{ K}$) у YBaCuO до $\xi_c(0)_{Pr} = 1,7 \pm 0,3 \text{ \AA}$ ($d = 12 \text{ \AA}$ і $T_c = 85,4 \text{ K}$) у Y_{1-x}Pr_xBa₂Cu₃O_{7-x}, а також зміщується по температурі точка 3D-2D кросовера (рис.3). Питання впливу неоднорідностей кристалічної структури на процеси формування флуктуаційних куперівських досліджувалось в [7] для випадку YBaCuO-плівки. Було показано, що подібні неоднорідності можуть істотно перешкоджати цим процесам, в результаті подовжуючи область лінійної залежності $\rho_{ab}(T)$, що спостерігається і в нашому випадку (рис.2). Таким чином, можна припустити, що домішки Pr є ефективними центрами розсіювання нормальних і флуктуаційних носіїв, важливу роль при цьому відіграє однорідність розподілу допанта в об'ємі зразка. Цей висновок корелює з висловленими вище припущеннями щодо наявності в дослідженому зразку двох фаз з різним вмістом Pr які, відповідно, мають різні T_c .

ВИСНОВКИ

1. Збільшення електроопору на лінійній ділянці залежностей $\rho(T)$, у разі часткової заміни Y на Pr, свідчить про ефективність розсіювання нормальних носіїв на домішках Pr. При цьому, у надпровідному стані відбувається утворення двох фаз з різними T_c .
2. Залежності флуктуаційної провідності $\Delta\sigma(T)$ монокристалів YBaCuO і Y_{1-x}Pr_xBa₂Cu₃O_{7-x} задовільно описуються в межах теоретичної моделі Лоуренса-Доніаха.
3. Допування празеодимом може сприяти посиленню процесів розпарювання флуктуаційних носіїв, тим самим подовжуючи область лінійної залежності $\rho(T)$ у ab-площині і зміщуючи точку 2D-3D кросовера.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Kebede et al. Magnetic ordering and superconductivity in Y_{1-y}Pr_yBa₂Cu₃O₇. // Phys. Rev. B. –1991. –V.40. –P.4453-4462.
2. H.V. Radousky A review of the superconducting and normal state properties of Y_{1-x}Pr_xBa₂Cu₃O₇ // J.Mater. Res. –1992. –V.7. –N7. –P.1917-1955.
3. М.А. Оболенский и др. Синтез и физические свойства монокристаллов YBa₂Cu₃O_{7-δ}. // ФНТ. –1990. –Т.16. –N9. –P.1103-1127.
4. М.А. Obolenskii et al. Magnetic measurement of the critical current and pinning potential in Y_{1-x}Pr_xBa₂Cu₃O₇ single crystals // Functional material. –1995. –V.2. –N4. –P.409-414.
5. Л.Г. Асламазов, А.И. Ларкин Влияние флуктуаций на свойства сверхпроводника при температуре выше критической // ФТТ. –1968. –Т.10. –№4. –С.1104-1111.
6. W.E. Lawrence and S. Doniach Theory of layer structure superconductors // Proceedings of the 12th International Conference on Low Temperature Physics, Kyoto, Japan, 1970, edited by E. Kanda (Keigaku, Tokyo), –593p.
7. А.Л. Соловьев и др. Флуктуационная проводимость и критические токи в пленках Y-Ba-Cu-O // ФНТ. –2003. –Т.29. –С.1281-1292.

**THE FLUCTUATION CONDUCTIVITY OF $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$ SINGLE CRYSTALS
WITH GIVEN TOPOLOGY OF FLAT DEFECTS****M.A. Obolenskii, R.V. Vovk, A.V. Bondarenko, O.V. Bogdan***V.N. Karazin Kharkov National University
Svoboda sq. 4, Kharkov, 61077, Ukraine.
email: Ruslan.V.Vovk@univer.kharkov.ua*

In present work the conductivity of YBaCuO and $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$ single crystals in the normal and superconductivity state are investigated. It is shown that fluctuation conductivity satisfactory described by Lawrence-Doniach model. The Pr admixtures are the effective scattering centers of normal and fluctuation carriers. Partial replacement Y on Pr results in formation of two superconductivity phases with different critical temperatures.

KEYWORDS: fluctuation conductivity, adding, YBaCuO single crystals, high temperature superconductivity, crossover, length of coherent.

**ФЛУКТУАЦИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$
С ЗАДАННОЙ ТОПОЛОГИЕЙ ПЛОСКИХ ДЕФЕКТОВ****М.А. Оболенский, Р.В. Вовк, А.В. Бондаренко, О.В. Богдан***Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина,
Украина 61077 г. Харьков-77пл. Свободы 4
email: Ruslan.V.Vovk@univer.kharkov.ua*

В работе исследована проводимость монокристаллов YBaCuO и $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-x}$ в нормальном и сверхпроводящем состоянии. Показано, что температурная зависимость флуктуационной проводимости исследованных образцов удовлетворительно описывается теоретической моделью Лоуренса-Дониаха. Примеси Pr являются эффективными центрами рассеяния нормальных и флуктуационных носителей. Частичная замена Y на Pr приводит к образованию двух сверхпроводящих фаз с различными критическими температурами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: флуктуационная проводимость, допирование, монокристаллы YBaCuO, высокотемпературная сверхпроводимость, кроссовер, длина когерентности.