

УДК 538.945+537.312.62

НЕКОГЕРЕНТНИЙ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ І ПСЕВДОЩІЛИНА В МОНОКРИСТАЛАХ $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ З РІЗНИМ ВМІСТОМ КИСНЮ

Р.В. Вовк¹, М.О. Оболенський¹, А.А. Завгородній¹, О.М. Корсунський²

¹ Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

Україна 61077 м. Харків-77, пл. Свободи, 4

² Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури

Україна 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40

email: Ruslan.V.Vovk@univer.kharkov.ua

Надійшла до редакції 12 червня 2008 р.

У роботі досліджені температурні залежності поперечного електроопору монокристалів $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з різним вмістом кисню. Виявлено, що у разі сполуки $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, на відміну від $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, при збільшенні дефіциту кисню відбувається посилення процесів локалізації носіїв, яке супроводжується переходом від ПЩ-режиму до режиму стрибкової провідності із змінною довжиною стрибка.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВТНП, псевдощілина, некогерентний електротранспорт, монокристали $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, поперечна провідність, локалізація носіїв.

Дослідження псевдощілинної аномалії (ПЩ) продовжує залишатися одним з найактуальніших напрямків фізики високотемпературної надпровідності (ВТНП). Проте, не дивлячись на великий накопичений літературний матеріал, дотепер неясними залишаються як сама природа походження ПЩ так і питання про її роль у формуванні надпровідного стану у ВТНП. Найперспективнішим для вивчення в цьому аспекті є сполуки $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, що зумовлено можливістю широкого варіювання їх складу шляхом заміни ітрію його ізoeлектронними аналогами, або зміни ступеня кисневої нестехіометрії. До теперішнього часу вважалося [1], що в області електротранспортних властивостей псевдощілина проявляється у відхиленні температурної залежності електроопору вниз від лінійної залежності. Проте, як було встановлено в недавній роботі [2], ПЩ може проявляти істотний вплив на реалізацію різних режимів некогерентного перенесення заряду уперек базисної площини. Так, згідно [2], температурна залежність поперечного електроопору $\rho_c(T)$ у разі сполуки $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ повинна відповідати співвідношенню:

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

де α - коефіцієнт, що залежить від змісту кисню, а Δ^* – деяка величина визначаюча термоактиваційний процес через енергетичну щілину – «псевдощілину».

Як наголошувалося вище, характерною особливістю сполуки $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ є відносна простота заміни ітрію іншими рідкоземельними елементами. Особливий інтерес в цьому випадку представляє заміна ітрію на гольмій що має достатньо великий (більше 10 μ_B) магнітний момент, що забезпечує парамагнетизм сполуки у нормальному стані [3]. Враховуючи вищесказане, в даній роботі була поставлена мета дослідження поперечної провідності сполук $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з різним ступенем дефіциту кисню.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИКИ

Для виготовлення експериментальних зразків було використано три монокристали, вирощені за розчин-розплавною технологією, детально описаною в [3]. При цьому монокристали відрізнялися доменною структурою двійникової сітки (рис.1). У разі кристала К1 вона була проникаючою, тобто співпадала на верхній і нижній гранях. У кристала К2 спостерігалася невелика розорієнтація двійникових блоків, усередині яких межі двійників мали односпрямовану структуру, а у разі кристала К3 це розупорядкування було максимальним (рис.1).

Характерні розміри кристалів склали К1 – 2,2x1,9x0,4 мм³, К2 – 1,9x1,7x0,5 мм³ і К3 – 2,3x1x0,65 мм³ (найменший розмір відповідав напрямку уздовж осі с). Електроопір вимірювали по восьмиконтактній методиці, описаній в [4]. Критична температура



Рис.1. Морфологія двійників кристала К3, одержана методом оптичної мікроскопії на мікроскопі МІМ-7 в поляризованому світлі (x 440).

оптимально допованих кристалів складала $T_c \approx 91$ К. Для пониження вмісту кисню проводили відпалювання монокристалів в атмосфері повітря, при температурі 500°C протягом доби. Температуру вимірювали платиновим терморезистором.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

На рис.2 показані температурні залежності $\rho_c(T)$ трьох зразків до і після їх відпалювання. Видно, що після

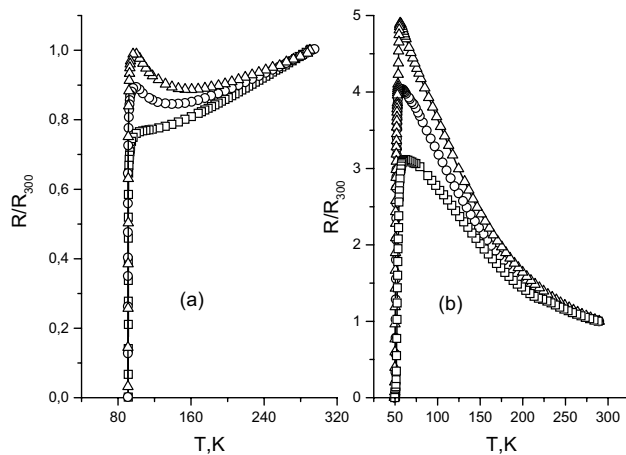


Рис. 2. Температурні залежності приведенного електроопору вздовж осі c $\rho_c(T)$ монокристалів K1 (квадрати), K2 (кружечки) і K3 (трикутники) виміряні до - (a) і після - (b) пониження вмісту кисню, відповідно.

питомого опору, очевидно було зумовлено посиленням процесів розсіювання носіїв на доменних межах і відсутністю перколяційних шляхів протікання транспортного струму.

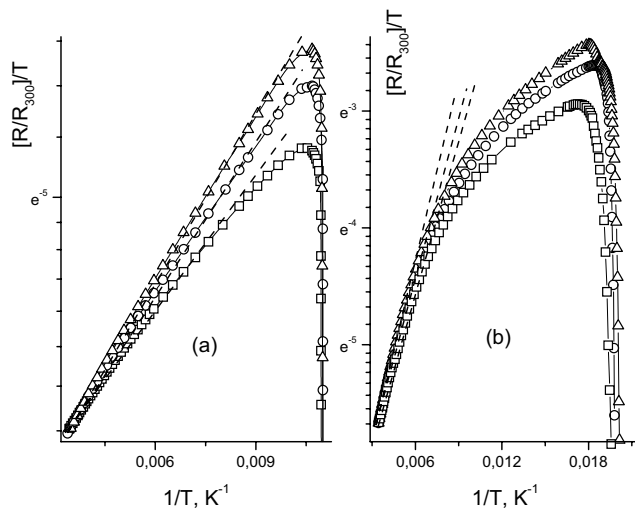


Рис. 3. Температурні залежності приведенного електроопору $\rho_c(T)$ в координатах $\ln[\rho_c/\rho_{c300}]/T - 1/T$ монокристалів K1, K2 і K3, виміряні до - (a) і після - (b) зниження вмісту кисню, відповідно. Позначення кривих відповідає позначенням на рис. 2.

Згідно [4], переходи такого типу чинять вплив на кінетику перенесення заряду.

відпалювання приведені електроопір зразків збільшився, а критична температура зменшилася до $T_c \approx 55$ К, що узгоджується з літературними даними [1, 3]. При цьому сама залежність $\rho_c(T)$ здійснила перехід від квазіметалевого до напівпровідникової поведінки, з характерною великою негативною кривизною експериментальних кривих. Відмінності у величині питомого опору поблизу переходу в надпровідний стан найімовірніше зумовлені відмінностями топології двійникової структури кожного з кристалів. У разі зразка K1, що мав проникаючу двійникову сітку, ця величина була найменшою.

Оскільки в нашому випадку транспортний струм протікав паралельно двійниковим межах (які завжди розташовані перпендикулярно базисній площині), то, очевидно, що в цьому випадку їх вплив на процеси розсіювання носіїв струму повинен бути мінімальним. У разі ж кристалів K2 і K3, з розупорядкованою структурою двійникових доменів, зростання

На рис. 3 показані ці ж залежності в координатах $\ln(\rho/T) - 1/T$, що відповідає їх описанню за допомогою співвідношення (1). Видно, що для оптимально допованих киснем зразків ці криві достатньо добре спрямляються в широкому інтервалі температур. У той же час, у разі зразків з дефіцитом кисню, відбувається значне відхилення експериментальних кривих від цієї залежності. При цьому, як видно з рис.4, на якому показані ці ж криві в координатах $\ln(\rho/T) - 1/T^{0.5}$ залежності $\rho_c(T)$, виміряні при максимальному дефіциті кисню, добре описуються за допомогою співвідношення для стрибкової провідності:

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

що носить назву «закон $1/2$ » [5, 6].

Як впливає з рисунка, для кривих з пониженою $T_c \approx 55$ К при температурах поблизу 125 К спостерігається зміна кута нахилу більш ніж вдвічі, що, у свою чергу, свідчить про зменшення енергії активації, і відображає наявність фазових переходів, які спостерігалися раніше в роботі [4] для монокристалів YBaCuO .

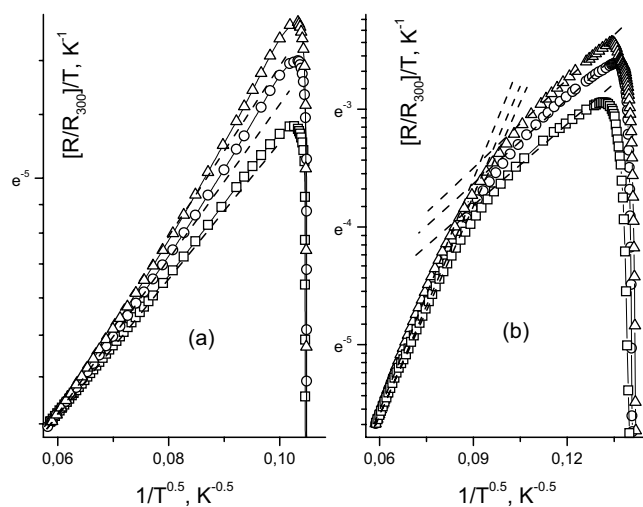


Рис. 4. Температурні залежності приведенного електроопору $\rho_c(T)$ в координатах $\ln[(\rho_c \rho_{ab})/T] - 1/T^{1/2}$ монокристалів К1, К2 і К3, виміряні до - (а) і після - (б) зниження вмісту кисню, відповідно. Позначення кривих відповідає позначенням на рис. 2.

ферми-рідинних металів, оскільки температурна залежність опору уздовж і поперек шарів не однакова і відрізняється від характерної для звичайних металів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Obolenskii M.A., Vovk R.V., Bondarenko A.V., Chebotaev N.N. Localization effects and pseudogap state in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals with different oxygen content // ФНТ. -2006. -Т.32, №6. -С.746-752.
2. Luo H.G., Su H.P., and Xiang T. Scaling analysis of normal-state properties of high-temperature superconductors // Phys. Rev. B. – 2008. – Vol.77. – P.014529 (1-17).
3. Vovk R.V., Obolenskii M.A., Bondarenko A.V., Goulatis I.L., Levy M.R., Chroneos A. Scattering Processes of Normal and Fluctuating Carriers in $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Re=Y, Ho) Single Crystals with Unidirectional Twin Boundaries // Acta Physica Polonica A. - 2007. -Vol.111, №1. -P.123-128.
4. Оболенський М.А., Бондаренко А.В., Зубарева М.О. Локалізація носіїв і сверхпроводимість в монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ // ФНТ. -1989. - Т.15, №11. -С.1152-1159.
5. Мейлихов М.З. Термоактивационная проводимость и вольт-амперная характеристика диэлектрической фазы гранулированных металлов // ЖЭТФ. -1999. -Т.115, №4. -С.1484-1496.
6. Sheng Ping, Klafter J. Hopping conductivity in granular disordered systems // Phys. Rev. B. -1983. -V.27, №4. -P.2583-2586.
7. Gvozdkov V.M. Incoherence, metal-to-insulator transition, and magnetic quantum oscillations of interlayer resistance in an organic conductor. // Phys. Rev. – 2007. – Vol.B 76. - P.235125 – 235137.

INCOHERENT TRANSPORT AND PSEUDOGAP IN $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ SINGLE CRYSTALS WITH A DIFFERENT OXYGEN CONTENT

R.V. Vovk¹, M.A. Obolenskii¹, A.A. Zavgorodny¹, A.M. Corsunskiy²

¹V.N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svoboda sq., 61077, Kharkiv, Ukraine.

²Kharkov State Technical University of Building and Architecture, 40, Sumskaia st., 61002, Kharkiv, Ukraine

e-mail: Ruslan.V.Vovk@univer.kharkov.ua

The temperature dependences of transversal electro-resistance of $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ single crystals with different oxygen content have been investigated. It is shown that in the case of the connection $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, unlike $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, at the increase of deficit of oxygen there is strengthening of processes of localization of carriers, which is accompanied by transition from the PG-mode to the mode of conductivity with variable length hopping.

KEYWORDS: HTSC, pseudogap, $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ single crystals, incoherent transport, transversal conductivity, localization of carriers.

ВИСНОВКИ

Таким чином, аналіз одержаних експериментальних даних показує, що у разі сполуки $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, на відміну від $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, при збільшенні дефіциту кисню відбувається посилення процесів локалізації носіїв, яке супроводжується переходом від ПЩ-режиму до режиму стрибкової провідності. Подібна залежність свідчить про те, що механізм транспорту носіїв уперек шарів здійснюється за допомогою термоактивационних стрибків із змінною довжиною.

Показник 1/2 свідчить про те, що стрибкова провідність одновимірна, і/або, що кулонівська взаємодія відіграє в поперечному транспорті істотну роль. Недавно подібну залежність спостерігали також в деяких шаруватих органічних надпровідниках в перпендикулярному магнітному полі [7], що може дати ключ до розгадки некогерентного транспорту уперек шарів. Це явище ще раз підкреслює відмінність ВТНП купратів від