

УДК 538.945+537.312.62

ПРОВІДНІ ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ $YBa_2Cu_{3-y}Al_yO_{7-x}$ З ОДНОСПРЯМОВАНИМИ ДВІЙНИКОВИМИ МЕЖАМИ

М.О. Оболенський, Р.В. Вовк, О.В. Бондаренко

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

Україна 61077 р. Харків-77пл. Свободи 4

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

Поступила до редакції 3 серпня 2005 р.

В роботі досліджено методику отримання і провідність монокристалів $YBa_2Cu_{3-y}Al_yO_{7-x}$ в нормальному і надпровідному стані. Показано, що домішки Al є ефективними центрами розсіювання нормальних носіїв. Температурна залежність флуктуаційної провідності досліджених зразків поблизу T_c задовільно описується теоретичною моделлю Асламазова-Ларкіна. В той же час, часткова заміна Cu на Al викликає значне розширення області існування надлишкової провідності, що може свідчити про можливу присутність домішкової фази з підвищеною критичною температурою.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: флуктуаційна провідність, легування, монокристали $YBaCuO$, високотемпературна надпровідність, кросвер, довжина когерентності.

Транспортні властивості високотемпературних надпровідників (ВТНП) суттєво залежать від дефектності структури і, зокрема, від вмісту кисню та домішок [1]. Як відомо, легування сполуки $YBaCuO$ алюмінієм приводить до заміщення атомів міді в площинах CuO , при цьому дані про міру впливу такої заміни на транспортні властивості, наприклад електропровідність, залишаються в значній мірі суперечливими. Так, наприклад, в роботі [2] повідомлялося про незначне збільшення електроопору в базисній площині ρ_{ab} в кристалах $YBa_2Cu_{3-z}Al_zO_{7-x}$ при $z \leq 10\%$, а в роботі [3] спостерігалось двохкратне збільшення величини ρ_{ab} при тій же концентрації алюмінію. Причиною такої розбіжності, ймовірно, міг бути неоднорідний розподіл алюмінію в об'ємі кристала, оскільки при вирощуванні кристалів в алундових тиглях поширення алюмінію відбувається неконтрольованим чином. Зокрема, про неоднорідний розподіл алюмінію свідчать широкі переходи в надпровідний стан $\Delta T_c \geq 2K$ та їх ступінчаста форма [2,3]. Існують також істотні розбіжності параметрів надпровідного стану. Крім цього, в монокристалах $YBaCuO$, завжди присутні площинні дефекти – межі двійників (МД) [4], вплив яких на транспортні властивості у нормальному стані недостатньо вивчено, що пов'язано з експериментальними труднощами, які виникають при визначенні внеску цих дефектів. Враховуючи вищесказане, в даній роботі було досліджено вплив домішок Al до 5% на різні режими провідності монокристалів $YBaCuO$ з високою критичною температурою T_c і системою односпрямованих МД при орієнтації вектора транспортного струму $I \parallel MД$, коли вплив двійників на процеси розсіювання носіїв мінімальний.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИКИ

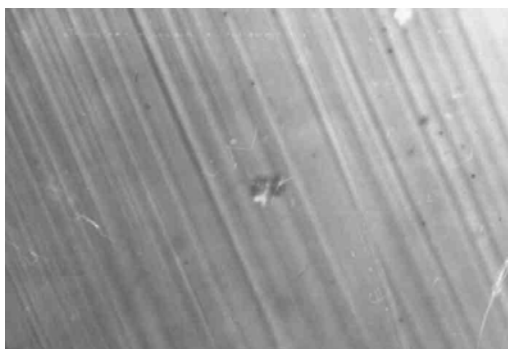


Рис.1. Знімок ділянки поверхні кристала K2 з характерним рисунком двійникової структури, отриманий на мікроскопі МІМ-7 в поляризованому світлі (x440).

Монокристали $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ вирощувались за технологією детально описаною в [4]. Для отримання монокристалів з домішкою алюмінію в первинну шихту додавали 0,2 вагових % Al_2O_3 . Режими росту і насичення киснем кристалів $YBa_2Cu_{3-y}Al_yO_{7-x}$ були такими ж, як і для нелегованих монокристалів [4]. В якості первинних компонент для росту кристалів використовувались сполуки Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO , всі марки ОСЧ.

Для резистивних досліджень відбиралися тонкі кристали з проникаючими МД, у яких були області з односпрямованими МД розміром $0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$. Це дозволяло вирізати з таких монокристалів містки з односпрямованими МД шириною 0,2мм і відстанню між потенційними контактами 0,3мм як це показано на вставці до рис.2. Електроопір в аб-площині вимірювався по стандартній 4-х контактній методиці на постійному струмі до 10мА. Температура зразка визначалася платиновим терморезистором.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

На рис.1 представлений знімок поверхні кристала $YBa_2Cu_{3-y}Al_yO_{7-x}$ з характерним рисунком двійникової сітки. Як відомо, домішки трьохвалентних іонів є центрами дефектоутворення [5], при підвищенні густини яких період доменної двійникової структури зменшується. Наслідком цього є перекриття близьких мікродвійників і

утворення структури типу «твід» [6]. Як видно з рисунка, в досліджених кристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-y}\text{Al}_y\text{O}_{7-x}$, $y \leq 5$ «твідова» структура не спостерігалась, що, вірогідно, пов'язано з малою концентрацією Al, а міждвійникова відстань була в два-три рази меншою, ніж у чистих кристалах.

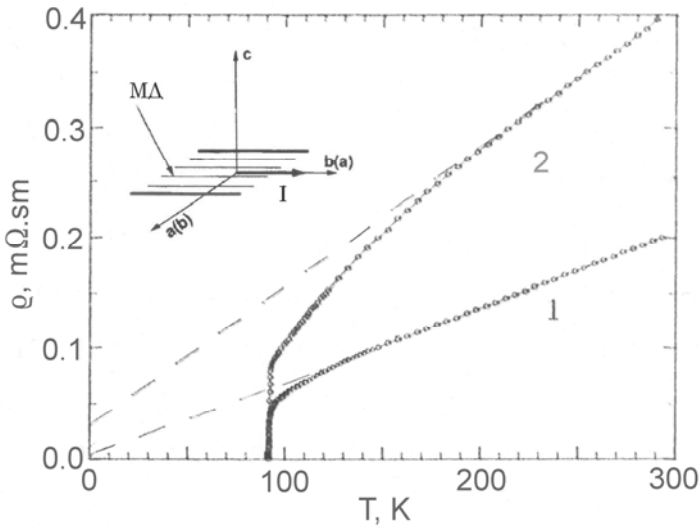


Рис.2. Температурні залежності електроопору $\rho_{ab}(T)$ монокристалів 1-K1 і 2-K2. На вставці показане схематичне зображення містка для резистивних досліджень.

спостережуване двохкратне збільшення ρ_{ab} , вірогідно, може бути викликане зменшенням густини носіїв струму або появою ефективних центрів розсіювання. Враховуючи слабе збільшення сигналу Холла при подібних концентраціях Al [1], можна зробити висновок, що зростання ρ_{ab} в основному визначається збільшенням числа центрів розсіювання. На користь цього припущення також свідчить зміна співвідношення $\rho_{ab}(300\text{K})/\rho_{ab}(0\text{K})$.

Як видно з рис.2, нижче 180K залежності $\rho(T)$ «зкругляються», що може бути викликано процесами флуктуаційного спаровування носіїв. З теорії [7] відомо, що внесок флуктуаційних носіїв в провідність при $T > T_c$ для двовимірного і трьохвимірного випадків визначається ступеневими залежностями виду:

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

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

де $\varepsilon = (T - T_c)/T_c$, e – заряд електрона, ξ_c – довжина когерентності вздовж осі c при $T > 0$ і d – характерний розмір двовимірного шару. Надлишкова провідність в цьому інтервалі температур, зазвичай визначається рівністю:

$$\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0, \quad (3)$$

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

На рис.3 показана залежність $\Delta\sigma(T)$ для кристалів K1 і K2 в координатах $\ln\Delta\sigma(\ln\varepsilon)$. Видно, що поблизу T_c , в обох випадках ця залежність добре апроксимується рівнянням (2) для показника ступеня ε близько $-1/2$, що свідчить про існування 3D режиму в цьому температурному інтервалі. Визначені згідно (2) значення довжини когерентності $\xi_c(0)$, змінюються від $2,7 \pm 0,3 \text{ \AA}$ ($d = 12 \text{ \AA}$ і $T_c = 89,5 \text{ K}$) у YBaCuO до $\xi_c(0)_{\text{Al}} = 3,2 \pm 0,3 \text{ \AA}$ ($d = 11,8 \text{ \AA}$ і $T_c = 92 \text{ K}$) у $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-y}\text{Al}_y\text{O}_{7-x}$, що задовільно узгоджується із значеннями $\xi_c(0)$, одержаними з вимірювань магнітної сприйнятливості [4] для чистих монокристалів YBaCuO та вимірювань другого критичного поля для монокристалів YBaCuO допованих алюмінієм [8]. При $T \geq 1,1T_c$ відбувається крутіше зменшення $\ln\Delta\sigma$, що, вірогідно, пов'язано із зміною розмірності системи (2D-3D кросовер) при $\xi_c(T) < d$, коли взаємодія між флуктуаційними носіями можлива тільки у площинах провідних шарів.

Як видно з рис.2, для зразка $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-y}\text{Al}_y\text{O}_{7-x}$ на залежностях $\rho_{ab}(T)$ спостерігається значне звуження області існування лінійного режиму у порівнянні з бездомішковим зразком YBaCuO , яке, очевидно, не може бути пояснене в межах існуючих теоретичних моделей. З одного боку, подібне розширення області існування надлишкової провідності у бік високих температур може зумовлюватись зміною кореляційної взаємодії і переходом до псевдоциліндричного режиму [9], з іншого боку - наявністю адитивного внеску в $\Delta\sigma$ з боку домішкової фази з вищою T_c . Останнє припущення узгоджується з результатами роботи [10], в якій було показано, що не дивлячись на те, що надпровідні фази з $T_c > 140\text{K}$ є структурно нестабільними за нормальних умов, вони можуть існувати у вигляді домішкових фаз у легуваних і багатофазних зразках.

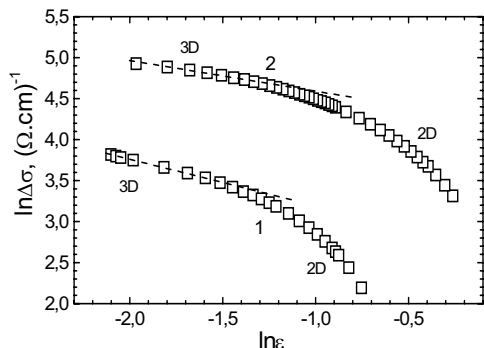


Рис.3. Залежності $\ln\Delta\sigma$ від $\ln\epsilon$ для монокристалів: 1-K1 і 2-K2.

ВИСНОВКИ

1. Збільшення електроопору на лінійній ділянці залежностей $\rho(T)$, у разі часткової заміни Cu на Al, а також зміна співвідношення $\rho_{ab}(300\text{K})/\rho_{ab}(0\text{K})$ свідчить про ефективність розсіювання нормальних носіїв на домішках Al.
2. Залежності флуктуаційної провідності $\Delta\sigma(T)$ поблизу T_c монокристалів YBaCuO і $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-y}\text{Al}_y\text{O}_{7-x}$ задовільно описуються в межах теоретичної моделі Асламазова-Ларкіна.
3. Легування алюмінієм приводить до істотного звуження області існування лінійної залежності $\rho(T)$ у аб- площині, що може свідчити про наявність в досліджуваному зразку домішкової фази з підвищеною T_c .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. P.H. Hor et al. Irradiation effects on flux pinning and J_c in high temperature conductors // Physica C. -1991.- V.185-189. - P. 2311-2312.
2. R.B. van Dover, L.F. Schneemeyer, J.V. Waszczak et al. Extraordinary effect of aluminum substitution on the upper critical field of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ // Phys. Rev. B. -1989. -V.39. -P.2932-2935.
3. B.Oh, K.Char, A.D.Kent et al. Superconductivity in Al-doped single crystals $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ // Phys. Rev. B. -1989. -V.37. P. 7861-7864.
4. М.А. Оболенский и др. Синтез и физические свойства монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ // ФНТ. -1990. -Т.16. -№9. -С.1103-1127.
5. G. Lacauc et al. Twin to tweed transition in YBaCuO by substitution of Cu // Physica C. -1992. -V.192. -P.207-214.
6. V.M. Pan et al. YBCO Single crystals microstructure related to critical current density // Supercond. Sci. Techn. -1992. -V.5. - P.707-711.
7. Л.Г. Асламазов, А.И. Ларкин. Влияние флуктуаций на свойства сверхпроводника при температуре выше критической // ФТТ. -1968. -Т.10. -№4. -С.1104-1111.
8. М.А. Оболенский и др. Сверхпроводящие параметры и динамика вихрей в допированных алюминием монокристаллах YBaCuO // ФНТ. -1995. -Т.21. -№12. -С.1200-1207.
9. М.В. Садовский. Псевдошель в высокотемпературных сверхпроводниках // УФН. -2001. -Т.171. -№5. -С.539-564.
10. Н.Е. Алексеевский и др. Флуктуационная сверхпроводимость и примесные фазы в перовскитоподобных системах и перспективы повышения T_c // СФХТ. -1989. -Т.2. -№10. -С.40-55.

CONDUCTING PROPERTIES OF $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-y}\text{Al}_y\text{O}_{7-\delta}$ SINGLE CRYSTALS WITH UNIDIRECTIONAL TWIN BOUNDARIES

M.A. Obolenskii, R.V. Vovk, A.V. Bondarenko

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

e-mail: ruslan.v.vovk@univer.kharkov.ua

In present work the method of synthesis and conductivity of $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-y}\text{Al}_y\text{O}_{7-x}$ single crystals in the normal and superconductivity state are investigated. The Al admixtures are the effective scattering centers of normal carriers. Temperature dependence of fluctuation conductivity near-by T_c satisfactorily described by the Aslamazov-Larkin theoretical model. At the same time, the partial replacement Cu on Al results in considerable expansion of region of surplus conductivity. It can be confirmation on possible existence of admixture phase with higher critical temperature.

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