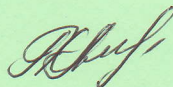


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені В.Н. Каразіна

Котвицька Клавдія Андріївна



УДК 538.945

**ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ РІЗНОЇ МОРФОЛОГІЇ НА  
МАГНІТОРЕЗИСТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ  
 $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (Re = Y, Ho, Pr)**

01.04.07– фізика твердого тіла

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі фізики низьких температур Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**Вовк Руслан Володимирович**,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, декан фізичного факультету.

**Офіційні опоненти:** доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник  
**Соловійов Андрій Львович**,  
Фізико-технічний Інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України, провідний науковий співробітник;

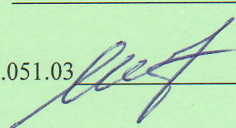
доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник  
**Сухарева Тетяна Віталіївна**,  
Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут" НАН України, старший науковий співробітник.

Захист відбудеться «13» травня 2016 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.051.03 Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4, ауд. імені академіка К. Д. Синельникова).

З дисертацією можна ознайомитись у Центральній науковій бібліотеці Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4, а також на сайті фізичного факультету ХНУ імені В.Н. Каразіна. Режим доступу: [http://physics.karazin.ua/ua/dis\\_zachyst.html](http://physics.karazin.ua/ua/dis_zachyst.html).

Автореферат розісланий «11» квітня 2016 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 64.051.03  Шурінова О.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Встановлення умов прояву високотемпературної надпровідності (ВТНП) і вивчення фізичних властивостей ВТНП матеріалів продовжує залишатися одним з найбільш актуальних напрямків фізики твердого тіла. Незважаючи на те, що з моменту відкриття ВТНП пройшло 30 років, її мікроскопічний механізм все ще остаточно не встановлений. Згідно із сучасними уявленнями ключем до розуміння природи надпровідного стану і різноманітних фізичних властивостей ВТНП матеріалів служать незвичайні явища, що проявляються в цих сполуках у нормальному (ненадпровідному) стані. До цих явищ зокрема можна віднести аномально широку температурну область прояву флуктуаційної паравпровідності, так звану «псевдоцілінну аномалію», некогерентний електротранспорт, переходи типу метал-ізолятор, тощо. Незважаючи на велику кількість існуючих у літературі експериментальних і теоретичних наукових праць, присвячених дослідженню цих явищ, досі не досягнуто остаточно розуміння механізмів, що приводять до їх виникнення. Значною мірою це обумовлено тим, що досить значна частина експериментальних даних була отримана на керамічних, плівкових та текстурованих зразках.

У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження фізичних властивостей ВТНП матеріалів, проведені на монокристалічних зразках із заданою топологією дефектної структури, а також з використанням експериментальних методик, в яких застосовані різного роду екстремальні впливи (низькі температури, високі значення напруженості магнітного поля і високі тиски). Це дає можливість не тільки перевірити адекватність численних теоретичних моделей, а й окреслити емпіричні шляхи підвищення критичних параметрів ВТНП-сполук. У цьому аспекті одними із найбільш затребуваних для досліджень є сполуки системи 1-2-3 або  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}$  та інші лантаноїди), що обумовлено одразу декількома причинами. По – перше, ці сполуки мають відносно високі критичні температури ( $T_c \approx 90\text{K}$ ), що перевищують температуру рідкого азоту. По – друге, фізичні властивості цих сполук можна відносно легко варіювати завдяки зміні вмісту кисню, а також заміни їх складових.

Таким чином, з огляду на зазначене вище, тема дисертаційної роботи, в якій досліджено вплив дефектів різної морфології на магніторезистивні властивості монокристалів  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ), є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Робота виконана на кафедрі фізики низьких температур Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Результати роботи були отримані при проведенні досліджень у рамках виконання НДР за програмами Міністерства освіти і науки України: 1) «Модифікація опроміненням функціональних властивостей перспективних матеріалів сучасної енергетики» № ДР 0113U000055; 2) «Транспортні властивості сильно корельованих анізотропних систем» № ДР 0111U010546; 3) «Розробка та дослідження

новітніх матеріалів на основі нанокompозитного діоксиду цирконію і ВТНП-сполук поліфункціонального призначення» № ДР 0113U001078.

**Мета і завдання досліджень.** Метою дисертаційної роботи є вирішення задачі, спрямованої на з'ясування фізичної суті впливу точкових і площинних дефектів на магніторезистивні властивості сполук  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) та встановлення закономірностей формування стану з провідністю – перехід діелектрик – метал, надпровідник – фермі – рідинний метал – ненадпровідник при варіюванні концентрації носіїв, за умов зміни концентрації лабільної компоненти в широкому інтервалі, а також заміни елементів, які входять до складу цих сполук.

*Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:*

1. Виростити досконалі монокристали  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) і виготовити високоякісні зразки для магніторезистивних досліджень.
2. Провести структурні дослідження отриманих зразків, а також металографічні дослідження морфології їх двійникової сітки.
3. Експериментально дослідити процеси переносу заряду у ВТНП на основі ітрію в залежності від температури та тиску для різних ступенів кисневого дефіциту та при різній топології дефектної структури.
4. Вивчити процеси переносу заряду в умовах прикладання високого гідростатичного тиску.
5. Вивчити особливості аномального впливу Pr та магнітних домішок на формування псевдощільного стану, природу зменшення критичної температури.
6. Встановити природу квазічастинкових збуджень у сильно корельованих квазідвовимірних системах.
7. Дослідити процеси релаксації електроопору в умовах стрибкоподібної зміни температури і встановити характер їх впливу на електротранспорт у монокристалах  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}$ ) з дефіцитом кисню.
8. Визначити область здійснення переходів типу метал-ізолятор на температурних залежностях електропровідності.
9. Дослідити вплив магнітного поля на характер динамічних фазових переходів в монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  з малим відхиленням від кисневої стехіометрії.

**Об'єкт дослідження:** купратні сполуки сімейства  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ).

**Предмет дослідження:** електрорезистивні властивості купратних ВТНП-сполук в інтервалі температур 30–300 К.

**Методи досліджень:** монокристали ВТНП-сполук системи 1-2-3 вирощували за розчин-розплавною технологією в золотому тиглі. Структурні дослідження проводили за методами рентгенівської дифрактометрії, електронної та оптичної мікроскопії. Концентрацію точкових дефектів (вакансій кисню) змінювали шляхом варіювання температури відпалювання кристалів в атмосфері кисню. Фазовий стан та динамічні властивості

магнітної підсистеми досліджували магніторезистивними та електротранспортними методами. Резистивні вимірювання проводили за стандартним чотирьохконтактним методом на автоматизованому стенді для вимірювань електрорезистивних властивостей сполук на основі промислових нановольтметрів В2-38.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що у дисертаційній роботі вперше були одержані такі наукові результати:

1. Вперше показано, що в слабкодопованих празеодимом ( $x \approx 0,05$ ) монокристалічних зразках з заданою топологією площинних дефектів  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , на відміну від бездомішкових зразків  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , прикладання високого тиску приводить до істотного зростання величини баричної похідної  $dT_c/dP$ .
2. Встановлено, що надлишкова провідність  $\Delta\sigma(T)$  монокристалів  $Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  з заданою топологією площинних дефектів в широкому інтервалі температур  $T_c < T < T^*$  описується експоненціальною температурною залежністю. Прикладання високого тиску приводить до зменшення температурного інтервалу проявлення ПЩ-режиму, розширюючи область лінійної залежності  $\rho_{ab}(T)$  в  $ab$ -площині.
3. Вперше показано, що зниження ступеня допування киснем в зразках  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho$ ) приводить до посилення ефектів локалізації та здійснення в системі переходу типу метал-діелектрик, який завжди передує надпровідному переходу.
4. Збільшення часу відпалювання зразків  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho$ ) при кімнатній температурі приводить до суттєвого зміщення точки переходу метал-діелектрик  $T_{MI}$  в область більш високих температур, що пов'язано зі зниженням частки напівпровідникового вкладу в провідність зразків.
5. Показано, що прикладання постійного магнітного поля (до 15 кЕ) до роздвійникованих (монодомених) монокристалів  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  з малою нестачею кисню, на відміну від аналогічних зразків, оптимально допованих киснем, приводить до появи додаткового низькотемпературного максимуму на температурних залежностях надлишкової провідності в базисній  $ab$ -площині, обумовленого пригніченням динамічного фазового переходу виду «порядок-безпорядок».

**Практичне значення отриманих результатів.** Основні наукові результати, одержані в ході дисертаційної роботи, можуть бути використані при подальших дослідженнях фізичних властивостей сполук  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho, Pr$ ) із заданою топологією дефектного ансамблю. Отримані при виконанні роботи високодосконалі зразки на основі ВТНП-монокристалів із заданою топологією двійникових границь та встановлені в результаті проведених досліджень їх резистивні характеристики можуть бути застосовані для розробки нових матеріалів поліфункціонального призначення з метою їх подальшого використання при створенні новітніх зразків

електрообладнання і моделювання відповідних технологічних процесів та розробки алгоритмів їх оптимізації на виробництві.

**Особистий внесок автора.** Всі результати, що склали зміст дисертаційної роботи, отримані здобувачем у співавторстві. В опублікованих працях [1–3] автор брала участь у формулюванні мети та завдань досліджень і проведенні електрорезистивних вимірювань. Безпосередньо в статтях [2–8] автором були проведені дослідження магніторезистивних характеристик зразків і опрацювання та аналіз отриманих експериментальних результатів з використанням існуючих теоретичних моделей.

**Апробація результатів роботи.** Основні наукові та практичні результати досліджень доповідалися й обговорювалися на таких конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукових досліджень», м. Полтава, 2008 р.; 14-й щорічній Міжнародній конференції ІВТН–2014 «Інформаційні технології у фундаментальних і прикладних фізико-математичних дослідженнях», РАН, м. Москва, 2014 р.; 77-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 2015 р.

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, в тому числі 8 статей у фахових наукових виданнях та 4 тези доповідей на міжнародних та вітчизняних конференціях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та переліку використаних джерел. Повний обсяг роботи становить 129 сторінок друкованого тексту і містить: перелік умовних позначень і скорочень, 30 рисунків, а також список використаних джерел із 177 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів. Наведені відомості про зміст та методи проведення досліджень, апробацію одержаних результатів і загальну кількість публікацій за темою дисертації.

У **першому розділі** «Нормальний електротранспорт у ВТСП-сполуках  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}$  або лантаноїди) в умовах екстремальних впливів» проведена систематизація наявних літературних джерел про структуру і основні фізичні властивості сполук  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  з різними значеннями кисневого індексу. Розглянуто вплив структурних дефектів різної морфології на транспортні властивості надпровідника  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в нормальному (ненадпровідному) стані, та механізм виникнення флуктуаційної провідності при температурах вище критичної ( $T_c$ ) і 2D-3D кросовер. Наведені літературні дані про перерозподіл лабільного кисню та еволюцію резистивних характеристик монокристалів  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в процесі їх термообробки.

У другому розділі «Об’єкти та методи досліджень» наведена методика вирощування бездомішкових монокристалів  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  за розчин-розплавною технологією. При насиченні киснем у сполуках  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  відбувається тетра-орто структурний перехід, який призводить до двійникування кристалу, що мінімізує його пружну енергію. Для отримання бездвійникових зразків проводили роздвійникування у спеціальній комірці при температурі 720 К і тиску 30–40 ГПа. Після роздвійникування кристали повторно відпалювали в атмосфері кисню протягом трьох діб з метою отримання однорідного контрольованого вмісту кисню. На рис.1 представлено характерний вигляд кристалу  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , отриманого з розплаву до відпалювання в потоці кисню.



Рис. 1. Характерний вигляд кристалу  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , отриманого з розплаву до відпалювання в потоці кисню.

Після насичення киснем і виготовлення електричних контактів із монокристалів  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  у ФТІНТ НАН України імені Б.І. Веркіна імпульсним ультрафіолетовим лазером вирізали містки шириною 0,2 мм. Електроопір в  $ab$ -площині вимірювали за стандартною 4-х контактною методикою на постійному струмі до 10 мА. Схематичне зображення містків показано на рис. 2.

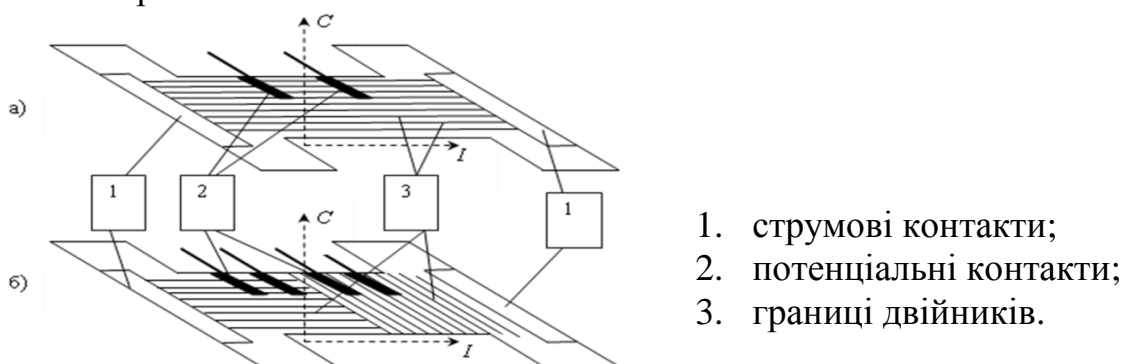


Рис. 2. Схематичне зображення містків для резистивних досліджень: а) вектор транспортного струму  $I$ , паралельний до площин двійникування; б) вектор транспортного струму  $I$ , паралельний і перпендикулярний до площин двійникування.

Вимірювання температурних залежностей електроопору  $\rho_{ab}(T)$  в умовах прикладання високого гідростатичного тиску (до 17 кбар) проводили в камері високого тиску. Тиск у камері отримували за допомогою стискання рухомим поршнем керосиново-масляної рідини та вимірювали манганіновим манометром. Температуру в експериментальній комірці вимірювали мідь-константановими термопарами. Магнітне поле до 15 кЕ створювалось електромагнітом, вектор індукції якого міг повертатися навколо осі криостата відносно зразка на заданий кут в межах  $360^\circ$ .

У третьому розділі «Вплив високого тиску на провідність у базисній площині слабо легованих празеодимом монокристалів  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ » представлені експериментальні результати, які були одержані при дослідженні впливу високого гідростатичного тиску (до 17 кбар) на резистивні характеристики слабкодопованих празеодимом ( $x \approx 0,05$ ) монокристалічних зразків  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . На рис. 3 показані температурні залежності електроопору  $\rho_{ab}$  монокристала  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , виміряні при різних значеннях тиску.

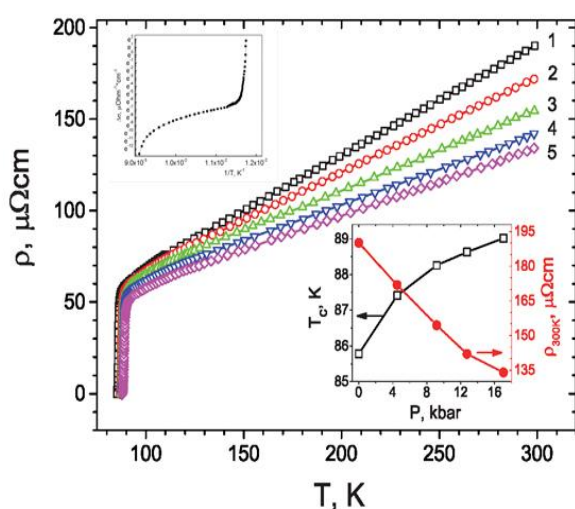


Рис. 3. Температурні залежності електроопору  $\rho_{ab}$  монокристала  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , виміряні при тисках 0; 4,52; 9,17; 12,74; 17,05 кбар – криві 1–5, відповідно. На вставках показані температурна залежність надлишкової провідності  $\Delta\sigma(T)$  при атмосферному тиску в координатах  $\ln\Delta\sigma - 1/T$  та баричні залежності  $T_c$  і  $\rho_{ab}(300K)$ .

Встановлено, що зі збільшенням прикладеного тиску електроопір зразка зменшується, а критична температура збільшується, що узгоджується з літературними даними. Вперше було показано, що для зразка  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x \approx 0,05$ )  $dT_c/dP \approx 0,18$  K/кбар, що дещо менше ніж у сполук з  $x \geq 0,1$ , але майже вдвічі більше ніж у бездомішкових монокристалів  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  з оптимальним вмістом кисню.

Видно, що на температурних залежностях  $\rho_{ab}(T)$  в області високих температур спостерігається достатньо широка лінійна ділянка, що слугує достовірною ознакою нормального стану системи. При зниженні температури нижче за деяке характерне значення  $T^*$  (температура відкриття псевдощільнини), відбувається відхилення експериментальних точок вниз від



лінійної залежності  $\rho_{ab}(T)$ , що свідчить про появу в кристалі надлишкової провідності ( $\Delta\sigma$ ), яка зумовлена переходом до псевдощільного стану.

Температурну залежність надлишкової провідності зазвичай визначають із співвідношення:

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

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

Одержані експериментальні залежності  $\Delta\sigma(T)$  представлені на вставці до рис. 3 в координатах  $\ln\Delta\sigma - 1/T$ . Видно, що в достатньо широкому температурному інтервалі ці залежності мають вигляд прямих, що відповідає їх описанню експоненціальною залежністю виду:

$$\Delta\sigma \sim \exp(\Delta^*_{ab}/kT), \quad (2)$$

де  $\Delta^*_{ab}$  – величина, що визначає деякий термоактиваційний процес через енергетичну щілину – «псевдощілину».

Як було показано в статті Д.Д. Прокоф'єва із співавторами [1\*], апроксимація експериментальних даних може бути істотно поліпшена за допомогою введення співмножника  $(1 - T/T^*)$ . В цьому випадку надлишкова провідність виявляється пропорційною густині флуктуаційних носіїв  $n_s \sim (1 - T/T^*)$  і обернено пропорційною до числа «куперівських» пар  $\sim \exp(\Delta^*/kT)$ , зруйнованих тепловим рухом:

$$\Delta\sigma \sim (T - T/T^*) \exp(\Delta^*_{ab}/kT) \quad (3)$$

Таким чином, з експериментальної кривої  $\ln\Delta\sigma$  з використанням формули (3), можна побудувати температурні залежності  $\Delta^*_{ab}(T)$  до температури  $T^*$ .

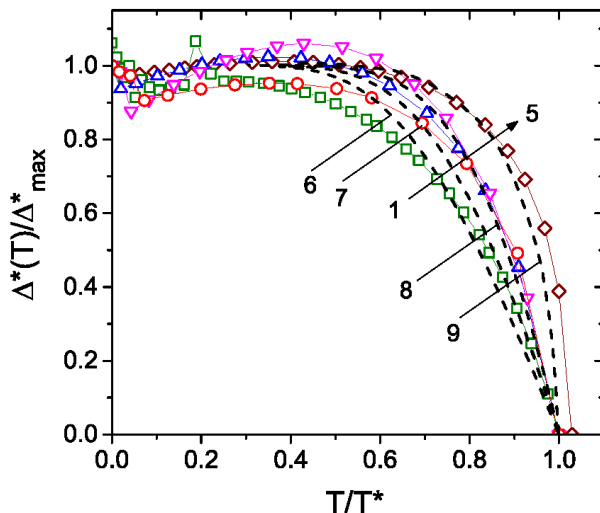


Рис. 4. Температурні залежності псевдощільни при різних значеннях тиску для монокристала  $Y_{0.95}Pr_{0.05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  в зведених координатах  $\Delta^*(T)/\Delta^*_{max} - T/T^*$ . Нумерація кривих відповідає нумерації на рис. 3. Пунктирними лініями (6-9), відповідно, показані залежності  $\Delta^*(T)/\Delta(0)$  від  $T/T^*$ , розраховані за формулами (5) і (6).

Як було показано у теоретичних працях [2\*, 3\*], температурні залежності псевдощілини задовільно описуються в рамках теорії кросовера БКШ-БЕК для випадку слабого і сильного спаровування. У загальному вигляді ці залежності описуються рівнянням:

$$\Delta(T) = \Delta(0) - \Delta(0) \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{T}{\Delta(0)}} \exp\left[-\frac{\Delta(0)}{kT}\right] \times \left[1 + \operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{\sqrt{x_0^2 + 1} - 1}{T/\Delta(0)}}\right)\right], \quad (4)$$

де  $x_0 = \mu/\Delta(0)$  ( $\mu$  – хімпотенціал системи носіїв,  $\Delta(0)$  – величина енергетичної щілини при  $T=0$ ).

У граничному випадку при  $x_0 \rightarrow \infty$  (слабого спаровування), аналітичний вираз (4) набуває вигляду, добре відомого в теорії БКШ [2\*]:

$$\Delta(T) = \Delta(0) - \Delta(0) \sqrt{2\pi\Delta(0)/kT} \exp\left[\frac{\Delta(0)}{T}\right]. \quad (5)$$

Для межі сильних взаємодій (теорія БЕК) в 3-х вимірному випадку [3\*] при  $x_0 < -1$ , формула (4) переходить в:

$$\Delta(T) = \Delta(0) - \frac{8}{\sqrt{\pi}} \sqrt{-x_0} \left(\frac{\Delta(0)}{kT}\right)^{3/2} \exp\left[-\frac{\sqrt{\mu^2 + \Delta^2(0)}}{T}\right]. \quad (6)$$

Залежності  $\Delta^*(T)/\Delta(0)$  від  $T/T^*$ , розраховані згідно (5), (6) в рамках теорії кросовера БКШ-БЕК для значень параметра кросовера  $\mu/\Delta(0)=10$  (межа БКШ), -2, -5, -10 (межа БЕК) показані на рис. 4 пунктирними лініями.

Враховуючи деяку умовність визначення величини відкриття псевдощілини  $T^*$  за відхиленням залежності  $\rho_{ab}(T)$  від лінійної поведінки, узгодження експерименту з теорією можна вважати цілком задовільним.

У **четвертому розділі** «Структурна релаксація, зумовлена стрибкоподібною зміною температури в недодопованих киснем монокристалах  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (Re=Y, Ho)» наведені результати досліджень впливу перерозподілу лабільного кисню на критичну температуру і псевдощілину монокристалів  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (Re=Y, Ho) сильно недодопованого складу.

Видно, що критична температура ( $T_c$ ), яка визначається за серединою надпровідного переходу, дорівнює  $T_c \approx 43$  К. Слід зазначити, що зменшення вмісту кисню, крім зниження  $T_c$  (від 92 до 43 К), приводить до трансформації форми залежностей  $\rho_{ab}(T)$ , яке відображається в переході від квазіметалевої поведінки кривих, характерної для оптимально допованих зразків, до залежностей з термоактиваційним прогином.

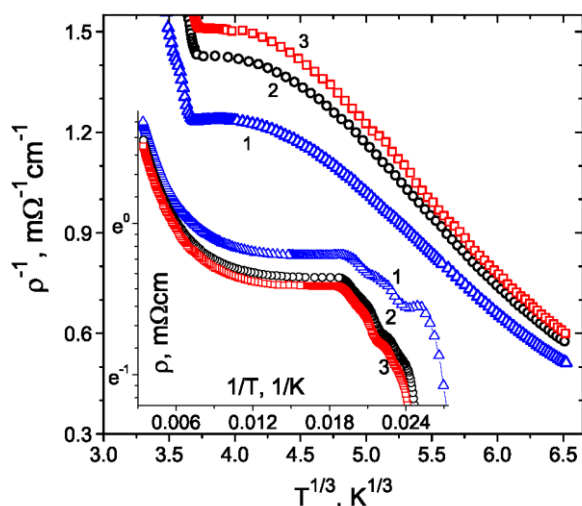


Рис 5. Температурні залежності електроопору  $\rho_{ab}(T)$  монокристалу К1 в координатах  $\ln(\rho_{ab}) - 1/T$  і  $1/\rho_{ab} - T^{1/3}$ .

При цьому криві (1) були виміряні безпосередньо після зниження температури, а криві (2) і (3) – після поетапного відпалювання при кімнатних температурах протягом 20 годин та додаткової витримки зразків при кімнатній температурі протягом 5 діб. Видно, що через 20 годин після витримки зразків при кімнатній температурі їх електроопір знизився, а критична температура зросла. Після подальшої витримки зразків при кімнатній температурі протягом 5 діб електроопір виходив на насичення.

Розглянемо більш детально еволюцію форми експериментальних кривих  $\rho_{ab}(T)$ . Слід зазначити, що у процесі відпалювання всі криві зберігають вигляд залежностей  $\rho_{ab}(T)$  з характерним термоактиваційним прогином, що свідчить про значну роль, яку відіграють ефекти локалізації в електротранспорті експериментального зразка. Як видно з рис. 5, ці залежності в координатах  $\ln(\rho_{ab}) - 1/T$  спрямляються в досить широкому температурному інтервалі, що відповідає їх описанню за допомогою аналітичного співвідношення:

$$\rho(T) \sim \exp\left(\frac{\Delta E}{kT}\right), \quad (7)$$

де  $\Delta E$  – деяка енергія активації.

У той же час, при зниженні температури нижче деякого характерного значення починається систематичне відхилення експериментальних точок від лінійної залежності, що може слугувати ознакою проявлення в системі переходу метал-діелектрик «андерсонівського» типу. Перехід Андерсона може відбуватися також і в речовинах, які не є аморфними, але, водночас, мають певний ступінь неупорядкованості. У сполуках системи 1-2-3 роль такого фактора може відігравати розупорядкування лабільної компоненти.

Дійсно, як показав проведений аналіз одержаних нами експериментальних даних (рис. 5), в області температур, в якій спостерігається систематичне відхилення експериментальних точок від лінійної залежності в координатах  $\ln(\rho_{ab}) - 1/T$ , наші криві досить добре описуються за допомогою асимптотичної залежності виду:

$$1/\rho \propto T^{1/3}, \quad (8)$$

Така поведінка залежностей  $\rho^{-1}(T)$  вже спостерігалася раніше експериментально для аморфних сплавів Gd-Sn. Залежність виду (8) впливає зі скейлінгового описання границі переходу метал-діелектрик у разі проявлення в системі, так званого, «критичного» режиму, при якому провідність носить в основному квантовий характер.

Аналіз експериментальних кривих  $\rho_{ab}(T)$  проводили за допомогою формули [4\*]:

$$\rho = \frac{\rho_0 + \beta T}{1 - n[1 - \exp(-\Delta E/2kT)]} - \frac{\beta T_c}{T - T_c}, \quad (9)$$

у якій перша складова описує металевий і напівпровідниковий температурний хід електроопору в нормальному стані, а друга – флуктуаційну надпровідність, що виникає при температурі вище резистивного переходу в нормальний стан;  $n$  і  $1-n$  – частки металевої і напівпровідникової провідності, відповідно.

Використовуючи значення параметрів, отриманих з аналізу наших кривих за допомогою формули (9), ми, за методикою [4\*], розділили вклади, що відповідають металевій і напівпровідниковій складовим провідності для всіх досліджених зразків. На рис. 6 показані температурні залежності  $\sigma_{мет}(T)$  і  $\sigma_{н.п.}(T)$ , розраховані за формулами (10) з використанням вищевказаних параметрів:

$$\sigma_1 = \frac{1-n}{\rho_0 + \alpha T} \quad \text{і} \quad \sigma_2 = \frac{n}{(\rho_0 + \alpha T)\exp(\Delta E/2kT)} \quad (10)$$

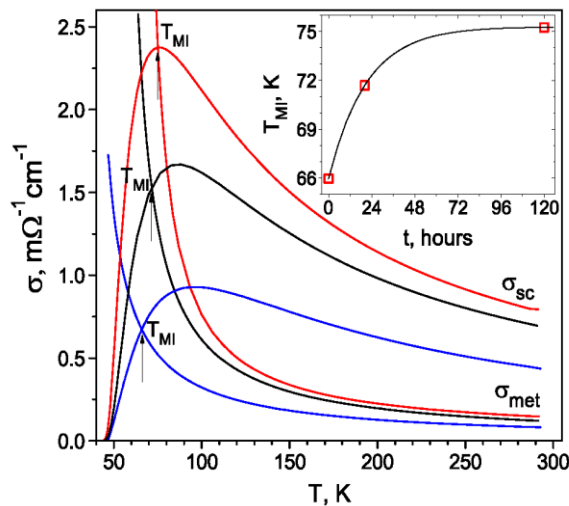


Рис.6. Температурні залежності металевого і напівпровідникового внесків провідність зразка К1, де  $\sigma_{мет}(T)$  і  $\sigma_{н.п.}(T)$ , виміряні одразу після охолодження зразка від 690 °С, а також після відпалювання при кімнатній температурі протягом 20 годин і 5 днів, відповідно. Стрілки вказують температуру переходу метал-діелектрик  $T_{MI}$ . Вставка: залежність температури переходу метал-діелектрик  $T_{MI}$  від часу відпалювання.

З рис.6 видно, що 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  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re=Y, Ho$ ) сильно

недодопованного складу надпровідному переходу завжди передує перехід 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 часу відпалювання приводить до істотного зміщення  $T_{MI}$  в область високих температур (рис. 6). На вставці до рис.6 представлені результати вимірювань часової залежності релаксації критичної температури переходу метал-діелектрик у процесі поетапного відпалювання зразка при кімнатній температурі  $T_{MI}(t_a)$ , де  $t_a$  – час відпалювання.

Суцільною лінією показаний результат розрахунків за формулою Йоргенсена [5\*]:

$$T_{MI}(t) = T_{MI}(\infty) + [T_{MI}(0) - T_{MI}(\infty)] \exp[-(t/\tau)^{1/2}] \quad (11)$$

де  $T_{MI}(\infty)$  і  $T_{MI}(0)$  – рівноважне і початкове значення температури переходу метал-діелектрик, відповідно;  $\tau$  – характерний час релаксаційного процесу.

Розрахунки, проведені згідно (11), показали, що досягнення рівноважного значення  $T_{MI}(\infty)$  в процесі поетапного відпалювання відбувається протягом 9 годин. Використовуючи значення  $\tau$ , отримані відповідно до (11) з наших експериментальних даних, ми визначили енергію активації релаксаційного процесу за допомогою закону Арреніуса:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E_A}{k_B T}\right) \quad (12)$$

де  $\tau_0 = 1,4 \cdot 10^{-12}$  с – характерний період [5\*] для цих ВТНП-сполук.

При цьому слід зазначити, що отримані з наших даних для зразка  $\text{Ho}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  значення  $E_A \approx 0,95$  еВ виявились дещо нижчими від характерних значень  $E_A \approx 0,98$  еВ, отриманих для сполук  $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  з нестачею кисню. Виявлено, що всі характерні зміни форми температурних залежностей електроопору та абсолютних значень резистивних параметрів у разі сполук  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  носили набагато більш яскраво виражений характер у порівнянні зі зразками  $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Це, вірогідно, може бути зумовлено зміною характеру перерозподілу вакансійної кисневої підсистеми при заміні ітрію на гольмій, що має більший іонний радіус.

Таким чином зниження ступеню допування киснем в зразках  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (Re = Y, Ho) приводить до посилення ефектів локалізації та здійснення в системі переходу виду метал-діелектрик, який завжди передує надпровідному переходу. Збільшення часу відпалювання приводить до суттєвого зміщення точки переходу  $T_{MI}$  в область більш високих температур, що, ймовірно, пов'язано зі зниженням частки напівпровідникового вкладу в провідність експериментальних зразків  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (Re = Y, Ho).

У **п'ятому розділі** «Паракогерентний перехід і 2D-3D кросовер у монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  з малим дефіцитом кисню» представлені результати вимірювань магнітопровідності в бездвійникових монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  при фіксованому значенні магнітного поля і різних значеннях кута  $\alpha \equiv \angle(\mathbf{H}, ab)$ .

Для дослідження резистивних переходів у надпровідний стан (НП) ми використовували метод Коувеля–Фішера [6\*], основою якого є аналіз величини:

$$\chi = \frac{-d(\ln \Delta\sigma)}{dT}, \quad (13)$$

де  $\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0$  – поправка, яка враховує провідність, що виникає в провідній підсистемі внаслідок флуктуаційного спаровування носіїв при  $T > T_c$  і зумовлена фазовим станом вихорової матерії при  $T < T_c$ ,  $\sigma = \rho^{-1}$  – експериментально вимірюване значення провідності, а  $\sigma_0 = \rho_0^{-1} = (a + bT)^{-1}$  – провідність, що визначається екстраполяцією лінійної ділянки в нульове значення температури. Припускаючи, що  $\Delta\sigma$  змінюється за законом  $\Delta\sigma \sim (T - T_c)^{-\beta}$  при  $T \approx T_c$ , з формули (13) випливає, що  $\chi^{-1} = \beta^{-1}(T - T_c)$ , де  $\beta$  – деякий показник, який залежить від розмірності і фазового стану флуктуаційної і вихорової підсистем. На рис. 7 представлені резистивні переходи в НП-стан експериментального зразка, виміряні при  $H = 0$  (крива 1) та фіксованому магнітному полі  $H = 15$  кЕ при різних кутах  $\alpha \equiv \angle(\mathbf{H}, ab)$  (криві 2-9).

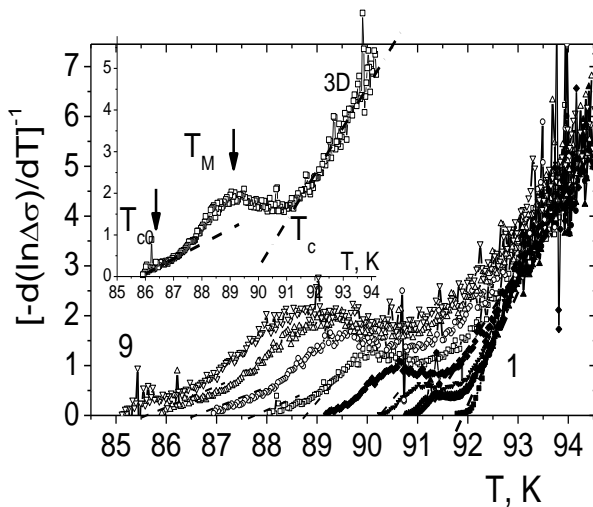


Рис. 7 Резистивні переходи у надпровідний стан монокристала  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$   $H=0$  (крива 1) і  $H=15$  кЕ, отримані при  $\alpha \equiv \angle(\mathbf{H}, ab)$ : 0; 5; 10; 20; 30; 45; 60; 90° – криві 2-9, відповідно в координатах  $\left[ \frac{-d(\ln \Delta\sigma)}{dT} \right]^{-1} - T$ . На вставці виділена крива, отримана для  $\alpha = 60^\circ$ .

Пунктирними лініями на рисунку і на вставці показана екстраполяція ділянок, що відповідають різним ФП-режимам. Стрілочками показані характерні температури:  $T_{c0}$  – температура кінця резистивного переходу в НП-стан,  $T_M$  – температура, що відповідає точці плавлення вихорової решітки,  $T_c$  – критична температура в наближенні середнього поля.

Видно, що у високотемпературній області НП-переходу у всіх кривих спостерігається досить протягла лінійна ділянка з кутом нахилу  $\beta \approx 0,5$ , що згідно з теоретичною моделлю Асламазова–Ларкіна, свідчить про появу в системі тривимірного (3D) режиму існування флуктуаційних носіїв. При цьому ділянка, що відповідає 3D режиму, є істотно нестійкою в магнітному

полі. Встановлено, що прикладання магнітного поля і збільшення кута  $\alpha$  приводить до значної трансформації форми НП-переходу, яка виражається в появі додаткового низькотемпературного максимуму, так званого «паракогерентного переходу». Цей максимум істотно зміщується в бік низьких температур по мірі збільшення кута  $\alpha$  з одночасним зростанням амплітуди і ширини піку. Це зумовлено зменшенням, з ростом  $\alpha$ , вкладу власного пінінгу вихорової підсистеми і, відповідно, посиленням ролі об'ємного пінінгу внаслідок наявності в структурі експериментального зразка сильних центрів пінінгу. Присутність в системі сильних центрів пінінгу приводить до переходу від фази впорядкованої вихорової решітки до фази, так званого «вихорового» або «бреггівського» скла. У разі прояву в системі стану «бреггівського скла» на залежностях  $\chi(T)$  повинен спостерігатися скейлінг у зведених координатах  $\chi(T_c - T_{c0})/\varepsilon_\alpha - (T - T_{c0})/(T_c - T_{c0})$ , де  $T_{c0}$  – критична температура кінця переходу в паракогерентній області, а  $T_c$  – температура, що відповідає середньопольовій критичній температурі. На рис. 9 представлені резистивні переходи в надпровідний стан монокристалу  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в координатах  $\chi(T_c - T_{c0})/\varepsilon_\alpha - (T - T_{c0})/(T_c - T_{c0})$ .

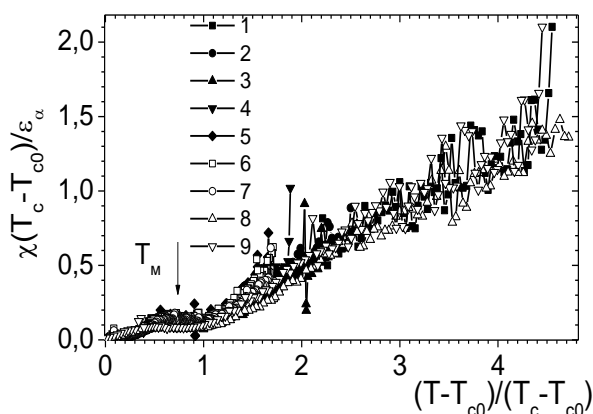


Рис.8 Резистивні переходи в надпровідний стан монокристалу  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в координатах  $\chi(T_c - T_{c0})/\varepsilon_\alpha - (T - T_{c0})/(T_c - T_{c0})$ . Позначення кривих відповідає позначенням на рис. 7.

Видно, що на експериментальних кривих  $\chi(T)$ , у зведених координатах  $\chi(T_c - T_{c0})/\varepsilon_\alpha - (T - T_{c0})/(T_c - T_{c0})$ , найкращий скейлінг спостерігається в паракогерентній області при  $T < T_M$ . При більш високих температурах розбіжність кривих стає істотною, вірогідно, внаслідок впливу пінінгу надпровідних флуктуацій на кластерних включеннях.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання даної дисертаційної роботи вирішена поставлена задача, яка полягає у з'ясуванні фізичної суті впливу точкових і площинних дефектів на магніторезистивні властивості сполук  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) та встановленні закономірностей формування стану з провідністю – перехід діелектрик – метал, надпровідник – фермі – рідинний метал –

ненадпровідник при варіюванні концентрації носіїв, за умов зміни вмісту лабільної компоненти в широкому інтервалі, а також заміни елементів, які входять до складу цих сполук. Основні наукові та практичні результати узагальнені у наступних висновках:

1. Прикладання високого тиску до монокристалів  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x \leq 0,05$ ) приводить до істотного розширення інтервалу лінійної залежності  $\rho_{ab}(T)$ , та відповідного звуження температурної ділянки проявлення псевдоцілінного режиму. При цьому надлишкова провідність підпорядковується експоненціальній температурній залежності в широкому інтервалі температур, а температурна залежність псевдоціліни задовільно описується в рамках теорії кросовера БКШ–БЕК.
2. Еволюція під тиском режиму флуктуаційної провідності в слабо допованих празеодимом зразках  $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  вірогідно визначається двома процесами: зміною співвідношення між  $\xi_c$  і  $d$ , з одного боку, і зумовленим внесенням домішки празеодима, зміщенням рівня Фермі відносно особливостей густини станів – з іншого. Прикладання високого тиску до монокристалів  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , приводить до суттєвого зростання величини баричної похідної  $dT_c/dP$ .
3. Збільшення ступеня нестачі кисню в сполуках  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho$ ) стимулює процеси перерозподілу лабільної компоненти між різними фазами в об'ємі експериментальних зразків, які, в свою чергу, також можуть розрізнятися ступенем кисневої нестехіометрії.
4. Встановлено, що інтенсивність процесів структурної релаксації в нестехіометричних купратах системи 1-2-3 істотним чином залежить від природи рідкоземельного іона. При цьому енергія активації дифузії лабільної компоненти може варіюватися від 0,95 до 0,98 еВ при заміні в цих сполуках ітрію на гольмій, що, завдяки більш сильній залежності  $T_c(\delta)$ , може приводити до значного посилення релаксаційних процесів у кисневій підсистемі.
5. Зниження ступеня допування киснем в зразках  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho$ ) приводить до посилення ефектів локалізації та здійснення в системі переходу типу метал-діелектрик, який завжди передує надпровідному переходу.
6. Встановлено, що збільшення часу відпалювання зразків  $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $Re = Y, Ho$ ) при кімнатній температурі приводить до суттєвого зміщення точки переходу метал-діелектрик  $T_M$  в область більш високих температур, що, ймовірно, пов'язано зі зниженням частки напівпровідникового вкладу в провідність зразків.
7. Прикладання постійного магнітного поля до монокристалів  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  з нестачею кисню, приводить до появи додаткового паракогерентного переходу на температурних залежностях надлишкової провідності в базисній  $ab$ -площині в області резистивних переходів в надпровідний стан.



8. Збільшення кута  $\alpha \equiv \angle(\mathbf{H}, \mathbf{ab})$  приводить до одночасного зростання амплітуди і ширини піку, що відповідає цьому переходу, і його зміщення в область більш низьких температур, що є наслідком зменшення, з ростом  $\alpha$ , внеску власного пінінгу вихорової підсистеми і посиленням ролі об'ємного пінінгу, зумовленого наявністю в структурі експериментального зразка кластерів кисневих вакансій. При температурах нижче критичної  $T < T_c$ , відбувається пригнічення динамічного фазового переходу виду вихорова рідина – вихорова решітка і формування в системі переходу виду вихорова рідина – вихорове «бреггівське» скло.
9. Безпосередньо поблизу  $T_c$  ФП задовільно описується тривимірною моделлю Асламазова–Ларкіна для шаруватих надпровідних систем. При цьому збільшення кута розорієнтації  $\alpha \equiv \angle(\mathbf{H}, \mathbf{ab})$  приводить до загального відносного розширення температурного інтервалу прояву режиму флуктуаційної паропровідності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- 1\*. Прокофьев Д.Д. Величина и температурная зависимость псевдощели в  $\text{YBaCuO}$ , полученные из резистивных измерений [Текст] / Д.Д. Прокофьев, М.П. Волков, Ю.А. Бойков // ФТТ. – 2003. – Т.45, №7. – С.1168–1176.
- 2\*. Babaev E. Crossover from Weak-to Strong-Coupling Superconductivity and to Normal State with Pseudogap / E. Babaev, H. Kleinert [Текст] // Cond. mat. – 1998. – P.9804206.
- 3\*. Babaev E. Nonperturbative XY-model approach to strong coupling superconductivity in two and three dimensions / E. Babaev, H. Kleinert [Текст] // Phys. Rev. B. – 1999. – V.59, №18. – P.12083–12089.
- 4\*. Boyko F. A. On the criteria for superconductivity in  $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.6}$  [Текст] / F. A. Boyko, G.V. Bukin, V. A. Voloshin, and A.A. Gusev // J Low Temp Phys. – 2002. – V.28, № 2. – P.138–143.
- 5\*. Jorgensen J. D. Time-dependent structural phenomena at room temperature in quenched  $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.41}$ . Local oxygen ordering and superconductivity [Текст] / J.D. Jorgensen, Pei Shiyou, P. Lightfoot, H. Shi, A.P. Paulikas, B.M.W. Veal // Physica C. – 1990. – V.167, №5. – P.571–578
- 6\*. Kouvel J.S. Detailed Magnetic Behavior of Nickel Near its Curie Point [Текст] / J.S. Kouvel, M.E. Fischer // Phys. Rev. – 1964. – V.136, № 6A. – P.1626–1632.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Котвицька К.А. Температурна залежність псевдощілини в монокристалах  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re}=\text{Y}, \text{Ho}$ ) з різним вмістом кисню [Текст] / Р.В. Вовк, А.А. Завгородній, М.О. Оболенський, К.А. Котвицька, О.В.

- Самойлов // Вісник. Харків. нац. Ун-ту. Сер. Фізична. Ядра, частинки, поля. – 2008. – №823. – вип.4/40. – С.97–101.
2. Kotvitskaya K.A. Temperature dependence of the pseudogap in aluminum - and praseodymium-doped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  single crystals [Текст] / К.А. Kotvitskaya, R.V. Vovk, М.А. Obolenskiy, А.А. Zavgorodniy, D.A. Lotnyk // Physica B. – 2009. – V.404. – P.3516–3518.
  3. Котвицька К.А. Вплив допування празеодимом на температурну залежність псевдощільності монокристалів  $\text{Y}_{1-z}\text{Pr}_z\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  [Текст]/ О.В. Самойлов, А.А. Завгородній, Р.В. Вовк, М.О. Оболенський, К.А. Котвицька, В.Ю. Гресь // Вісник. Харків. нац. Ун-ту. Сер. Фізична. Ядра, частинки, поля. – 2009. – вип.4/44, №880. – С.109–112.
  4. Котвицька К.А. Вплив перерозподілу лабільного кисню на температурну залежність псевдощільності в роздвійникованих монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . [Текст] / З.Ф. Назиров, Р.В. Вовк, М.О. Оболенський, А.А. Завгородній, К.А. Котвицька // Вісник. Харків. нац. Ун-ту. Сер. Фізична. Ядра, частинки, поля. – 2011. – №946. – вип.1/49. – С.55–58.
  5. Kotvitskaya K.A. Effect of high-pressure-induced structural relaxation on evolution of the temperature dependence pseudogap in  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  single crystals. [Текст] / Z.F. Nazirov, N.N. Zavgorodnya, R.V. Vovk, K.A. Kotvitskaya // J.Kharkiv National Univ. Phys. Series Nucleir, Particles, Fields. – 2012. – V.3/55, №1017. – P.55–58.
  6. Kotvitskaya K.A. Effect of transverse magnetic field on the excess conductivity of monodomain  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  single crystals. [Текст] / К.А. Kotvitskaya, K.V. Tiutierieva, S.V. Savich, V.V.Sklyar, R.V. Vovk // Вісник ХНУ серія «Фізика». – 2014. – вип. 21, № 1135. – С 21–24.
  7. Kotvitskaya K.A. Effect of high pressure on conductivity in the basal plane of  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  single crystals lightly doped of praseodymium [Текст] / G.Ya.Khadzhai, N.R. Vovk, R.V. Vovk, S.V. Savich, M. Kislitsa, K.A. Kotvitskaya, V.S. Morozov, J.G. Leniv, S.S. Timofeev // Functional Materials. – 2015. – V.22, № 1. – P.5–13.
  8. Kotvitskaya K. A Effect of Structural Relaxation on the Metal–Insulator Transition in Heavily Underdoped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Single Crystals [Текст] / R. V. Vovk, O. V. Dobrovolskiy, Z. F. Nazirov, K.A. Kotvitskaya, A. Chreneos // J Low Temp Phys. – 2015. – V.180, №3. – P. 277–283.
  9. Kotvitskaya K.A The pseudogap in aluminum–doped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  single crystals / К.А. Kotvitskaya, R.V.Vovk, М.А.Obolenskii, А.А.Zavgorodniy // Матеріали 4-ї міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток наукових досліджень», м. Полтава, 2009. – С.12–13.
  10. Котвицкая К.А. Эволюция флуктуационной проводимости монокристаллов  $\text{Y}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в условиях приложения высокого давления / З.Ф. Назиров, Р.В. Вовк, К.А. Котвицкая // Материалы 14-й ежегодной международной конференции ИВТН-2014 «Информационно-вычислительные технологии в решении

фундаментальных проблем и прикладных научных задач», г. Москва, 2014. – С.13.

11. Котвицкая К.А. Анализ анизотропии электропроводности монокристаллов  $\text{Pr}_y\text{Y}_{1-y}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  с различной концентрацией празеодима / Р.В. Вовк, К.А. Котвицкая, Г.Я. Хаджай // Материалы 14-й ежегодной международной конференции ИВТН-2014 «Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных проблем и прикладных научных задач», г. Москва, 2014. – С.14.
12. Котвицька К.А. Вплив високого тиску на температурну залежність псевдощілини монокристалів  $\text{Y}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  [Текст] / Р.В. Вовк, К.А. Котвицькая, О.В. Добровольський // Матеріали 77-ї Міжнародної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 2015. – вип.151. – С.57.

## АННОТАЦІЯ

**Котвицька К. А.** Вплив дефектів різної морфології на магніторезистивні властивості монокристалів  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ). – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла. Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, 2016 р.

Дисертація присвячена з'ясуванню фізичної суті впливу точкових і площинних дефектів на магніторезистивні властивості сполук  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) та встановленню закономірностей формування стану з провідністю – перехід діелектрик – метал, надпровідник – фермі – рідинний метал – ненадпровідник при варіюванні концентрації носіїв, за умов зміни концентрації лабільної компоненти в широкому інтервалі, а також заміни елементів, які входять до складу цих сполук.

Вперше показано, що в слабкодопованих празеодимом ( $x \approx 0,05$ ) монокристалічних зразках із заданою топологією площинних дефектів  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , на відміну від бездомішкових зразків  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , прикладання високого тиску приводить до істотного зростання величини баричної похідної  $dT_c/dP$ .

Вперше показано, що зниження ступеня доповнення киснем в зразках  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}$ ) приводить до посилення ефектів локалізації та здійснення в системі переходу виду метал-діелектрик, який завжди передус надпровідному переходу.

Вперше показано, що прикладання постійного магнітного поля (до 15 кЕ) до роздвійникованих (монодоменних) монокристалів  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  з малою нестачею кисню, на відміну від аналогічних зразків, оптимально допованих киснем, приводить до появи додаткового низькотемпературного максимуму на температурних залежностях надлишкової провідності в

базисній  $ab$ -площині, обумовленого пригніченням динамічного фазового переходу виду «порядок–безпорядок».

**Ключові слова:** монокристали  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ), допування, киснева нестехіометрія, двійникові границі, псевдощілинний стан, надлишкова провідність.

## ABSTRACT

**Kotvitskaya K.A.** Influence of different morphology defects on magnetoresistive properties single crystals  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ). – Manuscript.

Thesis for a PhD degree in physics and mathematics on speciality 01.04.07 – solid State Physics – Kharkiv National University name V. N. Karazin, Kharkiv, 2016.

The goal of the thesis is to determine influence physics of point and flat defects on magnetoresistive properties of  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) compounds, and to establish the laws for forming conduction state as metal–insulator transition, superconductor–Fermi–liquid metal–nonsuperconductor under carrier concentration variation and labile component concentration change in a wide range or constituent element substitution.

It was first showed that high pressure application leads to substantial increase of baric derivative  $dT_c/dP$  value in low praseodymium–doped single crystal samples  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  in contrast with pure samples  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

It was first showed that degree decrease oxygen doped in samples  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re}=\text{Y}, \text{Ho}$ ) leads to amplification of effects of localisation and embodying in system of phase transition metal-insulator which always precedes superconducting transition.

It was first established that the application of constant magnetic field (up to 15 kOe) to single-domain single crystals  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  with small oxygen deficit leads to appearance of an additional coherent transition on temperature dependences of excess conductivity in basis  $ab$ -plane. It is caused by suppression of dynamic phase transition as vortex liquid–vortex lattice

**Keywords:**  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) single crystals, doping, oxygen non-stoichiometry, twin boundaries, pseudogap state, excess conductivity

## АННОТАЦІЯ

**Котвицкая К.А.** Влияние дефектов различной морфологии на магниторезистивные свойства ВТСП-монокристаллов  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ). – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика твердого тела.

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, 2016.

Цель диссертации состоит в выяснении физической сути влияния точечных и плоских дефектов на магниторезистивные свойства соединений  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ) и установлении физических закономерностей формирования состояния с проводимостью – переход диэлектрик – металл, сверхпроводник – ферми жидкостный металл – несверхпроводник, при варьировании концентрации носителей, при условии изменения концентрации лабильной компоненты в широком интервале, а также замены элементов, которые входят в состав этих соединений.

Впервые показано, что в слабо допированных празеодимом ( $x \approx 0,05$ ) монокристаллических образцах с заданной топологией плоских дефектов  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , в отличие от беспримесных образцов  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , приложение высокого давления приводит к существенному возрастанию величины барической производной  $dT_c/dP$ .

Установлено, что избыточная проводимость  $\Delta\sigma(T)$  монокристаллов  $\text{Y}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  с заданной топологией плоских дефектов в широком интервале температур  $T_c < T < T^*$  описывается экспоненциальной температурной зависимостью. Увеличение давления приводит к эффекту сужения температурного интервала реализации ПЩ-режима, тем самым, расширяя область линейной зависимости  $\rho(T)$  в  $ab$ -плоскости.

Впервые показано, что снижение степени допирования кислородом в образцах  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}$ ) приводит к усилению эффектов локализации и осуществления в системе перехода вида металл–диэлектрик, который всегда предшествует сверхпроводящему переходу.

Установлено, что увеличение времени отжига образцов  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}$ ) при комнатной температуре приводит к существенному смещению точки перехода металл–диэлектрик  $T_{MI}$  в область более высоких температур, что связано с уменьшением доли полупроводникового вклада в проводимость образцов.

Впервые показано, что приложение постоянного магнитного поля (до 15 кЕ) к раздвойникованным (монодоменным) монокристаллам  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  с малым дефицитом кислорода, в отличие от аналогичных образцов, оптимально допированных кислородом, приводит к появлению дополнительного низкотемпературного максимума на температурных зависимостях избыточной проводимости в базисной  $ab$ -плоскости, обусловленного подавлением динамического фазового перехода вида «порядок–беспорядок»

**Ключевые слова:** монокристаллы  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{Re} = \text{Y}, \text{Ho}, \text{Pr}$ ), допирование, кислородная нестехиометрия, двойниковые границы, псевдощелевое состояние, избыточная проводимость.