

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Петренка Євгена Володимировича

«Ефекти, що впливають на флуктуаційну провідність та формування псевдощільного стану в купратах та залізовмісних ВТНП»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність теми дисертаційної роботи Є.В. Петренка пов'язана з тим, що, незважаючи на більш, ніж 30-річну історію високотемпературної надпровідності (ВТНП), та застосуванні ВТНП-матеріалів у сучасній техніці, теорія цього явища досі не побудована. Основною проблемою є встановлення механізмів міжчастинкових взаємодій в таких багатокомпонентних анізотропних сполуках, якими є ВТНП, зокрема механізму надпровідного спарювання, що забезпечує високу критичну температуру надпровідного переходу. Для вирішення цієї проблеми потрібні не тільки експериментальні та теоретичні дослідження поблизу T_c , але й дослідження у широкому інтервалі температур вище T_c . Зручним матеріалом для таких досліджень є $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, для якого відпрацьовані методики отримання монокристалів високої якості, та характеристики якого можна змінювати варіюванням кисневого дефіциту, δ , чи частковим заміщенням Y , наприклад, празеодимом. Вельми важливим є встановлення загальних рис, що поєднують ВТНП, різні за своєю будовою.

Підкреслимо, що результати, які склали дисертаційну роботу, отримані в рамках тематичних планів Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б.І. Веркіна НАН України, а саме, в ході виконання НДР «Електронний транспорт в нових провідних і надпровідних системах» (ДР № 0112U002637) та «Функціональні властивості новітніх надпровідникових сполук і металовмісних спін та зарядово-впорядкованих структур» (ДР № 0117U002294).

Таким чином, враховуючи вище сказане, вважаю, що тема дисертаційної роботи, як її сформульовано у назві, є **безумовно актуальною**.

Метою дисертаційної роботи є дослідження впливу на основні електронні процеси і взаємодії, які формують нормальну і надпровідну фазу: відпалу в високотемпературних надпровідниках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$; гідростатичного тиску до 1,7 ГПа в системі $Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$; домішок у залізовмісному надпровіднику FeSe.

Структура дисертації. Дисертація структурована у традиційний спосіб, та складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та двох додатків. Оригінальні розділи (3-5) містять власні короткі висновки. Загальний обсяг дисертації – 150 сторінок, 38 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел містить 249 найменувань. Список літературних джерел досить повно відображає сучасний стан проблеми, якій присвячена дисертація.

Перший розділ «Основні властивості досліджуваних надпровідників (огляд літератури)» містить огляд літературних даних щодо сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень стосовно тематики дисертації. Розглянуто основні особливості кристалічної будови та специфічні механізми електричної провідності у сполуках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та FeSe; фазову діаграму $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та механізм виникнення псевдощільни у високотемпературних надпровідниках в моделі локальних пар. Огляд літератури свідчить про ґрунтовний науковий підхід автора до проблеми, що вивчається.

У другому розділі «Об'єкти і методи експериментальних досліджень» наведено:

методи вирощування монокристалів ВТНП $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та $Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, отримання бездвійникових зразків кристалів $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, відпалу їх для отримання однорідного контрольованого вмісту кисню, відпалу зразків $Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ для отримання орторомбічної фази з вмістом кисню близьким до стехіометричного ($\delta < 0,1$); методи виготовлення полікристалічних зразків $FeSe_{0,94}$;

конструкцію установки та методикку вимірювання температурних залежностей електроопору $\rho_{ab}(T)$ вказаних зразків, включаючи вимірювання опору в умовах прикладання гідростатичного тиску.

Застосовані методики та обладнання знаходяться на світовому рівні.

У третьому розділі «Вплив відпалу на властивості оптимально допованих бездвійникових монокристалів $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ » наведені результати експериментального дослідження впливу відпалу на $\rho_{ab}(T)$ вказаних зразків. Встановлено, що в міру збільшення вмісту кисню температура надпровідного переходу, T_c , зростає, а $\rho(T)$ зменшується. Аналіз отриманих даних дозволив встановити величини та температурні залежності надлишкової провідності та псевдощільни в оптимально допованих монокристалах YBCO, зокрема, змінення температури відкриття псевдощільни, T^* , відповідає фазовій діаграмі купратів. Поведінка надлишкової провідності поблизу T_c добре описується флуктуаційними теоріями Асламазова-Ларкіна та Хікамі-Ларкіна. Обчислені параметри застосованої моделі, оцінено густину локальних пар поблизу T_c .

Четвертий розділ «Властивості монокристалів $Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ під тиском до

1,7 ГПа» присвячений експериментальному дослідженню впливу тиску на $\rho_{ab}(T)$ вказаних зразків, які містили як двійникові границі (ДГ), так і дефекти, створювані діелектричними комірками PrBCO. Отримані величини та температурні залежності надлишкової провідності та псевдощільни. Незалежно від тиску поведінка надлишкової провідності поблизу T_c добре описується флуктуаційними 3D теорією Асламазова-Ларкіна та теорією Лоуренса-Доніаха. Показано, що вплив тиску на всі параметри флуктуаційних теорій носить пороговий характер. Це пов'язується покращенням структурного порядку за рахунок тиску.

У п'ятому розділі «Аналіз надлишкової провідності та можливості існування псевдощільни у надпровідниках FeSe» автор експериментальному дослідив вплив на $\rho_{ab}(T)$ полікристалічних зразків FeSe_{0,94} дефектів, пов'язаних з технологією виготовлення. Показано, що температурна залежність надлишкової провідності відмінно апроксимується 3D флуктуаційною теорією Асламазова-Ларкіна та 2D теорією Макі-Томпсона з відповідним 3D-2D кросовером. Підтверджено формування псевдощільниного стану в FeSe. Визначена густина локальних пар у FeSe, яка в разі бездомішкового зразка така ж, як і в YBCO. Цей результат дозволяє говорити про спільність механізму формування флуктуаційної провідності поблизу T_c в різних ВТНП без допантів.

Наукова новизна. Усі основні результати дисертації отримані здобувачем вперше та в повній мірі відображені в опублікованих роботах. Найбільш важливими результатами дисертації, що складають її наукову новизну, є такі:

- Доведено існування флуктуаційних куперівських пар (ФКП) в FeSe до температур, що більш ніж удвічі перевищують T_c . Для бездвійникових монокристалах YBa₂Cu₃O_{7- δ} з малим відхиленням від кисневої стехіометрії та для бездомішкового зразка FeSe густини локальних пар, оцінені поблизу T_c , виявилися дуже близькими. Для FeSe проведена оцінка часу фазової релаксації ФКП, який виявився практично таким же, як і в купратах. Ці результати вказують на те, що механізм формування ФКП, а, отже, і механізм утворення надпровідного стану може виявитися однаковим для різних типів ВТНП.
- В монокристалах Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba₂Cu₃O_{7- δ} виявлено пороговий ($P \geq 0,9$ ГПа) вплив тиску на всі вимірювані параметри надпровідного стану, що може бути пов'язаним з пороговим покращенням структури під впливом тиску.
- Отримано температурні залежності параметра $\Delta^*(T)$ в FeSe, який в купратах асоціюється з псевдощільною. Виявилось, що нижче T_s – температури структурного

переходу від тетрагональної до орторомбічної фази – форма $\Delta^*(T)$ така ж, як і у купратів, що вказує на реалізацію ПЦ стану в FeSe нижче T_s .

Достовірність і обґрунтованість висновків дисертації Є.В. Петренка забезпечує використання в роботі фізично обґрунтованого, надійного та широко розповсюдженого чотирьохконтактного методу визначення електричного опору; інтерпретація експериментальних результатів в рамках єдиної теоретичної схеми, що дозволило встановити особливості переносу заряду у досліджених зразках у широкому інтервалі температур та під тиском; публікацією робіт автора в провідних міжнародних фахових виданнях та апробацією результатів дисертації на багатьох міжнародних конференціях.

Конструкція установки, вимірювальна апаратура високого класу точності, термометричні датчики та ефективні методики забезпечили **реалізацію завдань дисертації** – отримати інформацію про вплив відпалу на надлишкову провідність і псевдощільну бездвійникового монокристала $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$; визначити вплив гідростатичного тиску на температурні залежності надлишкової провідності і псевдощільності монокристала YPrBCO з двійниками, а також тих, що виникають за рахунок PrBCO ; – визначити в полікристалах FeSe, виготовлених різними методами, область існування надпровідних флуктуацій і отримати інформацію про можливий псевдощільний стан у таких сполуках.

Отримані експериментальні результати узгоджуються між собою та з відповідними літературними теоретичними та експериментальними даними інших авторів.

Всі положення та результати, як вони сформульовані автором в пункті «**наукова новизна**», є новими, вперше отриманими та описаними автором.

Наукова і практична цінність отриманих результатів. Основні результати дисертаційної роботи можуть бути використані для з'ясування механізмів надпровідного спарювання в мідно-оксидних та залізовмісних високотемпературних надпровідниках, а також для пошуку нових надпровідників зі ще більш високими T_c . Отримані результати можуть бути застосованими для прогнозування властивостей та паспортизації ВТНП-матеріалів для струмопідводів надпровідних магнітів, розмикачів-запобіжників в потужнострумівих лініях зв'язку, обладнання залізничного транспорту, в магнітометричних приладах та високочастотних пристроях: резонаторах, прийомних котушках для медичних томографів, СКВІДах, надшвидкісних лініях зв'язку.

Повнота викладення основних наукових і практичних результатів в опублікованих роботах. Усі основні результати роботи Є.В. Петренка опубліковано в 4 статтях у провідних фахових виданнях України та за кордоном, які індексуються у

наукометричній базі даних Scopus. Результати досліджень доповідалися й обговорювалися на 8 міжнародних наукових конференціях, опубліковані в збірниках тез цих конференцій та відомі спеціалістам в галузі фізики твердого тіла.

Автореферат повністю та вірно відображає зміст та структуру дисертації.

Тема роботи та суть її наукових результатів пов'язані з явищами та процесами, що відбуваються у твердих тілах, і повністю відповідають паспорту спеціальності 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Зауваження до змісту дисертації є такі:

1. У тексті дисертації є багато таблиць, де наведено числові дані, які містить до 5 значущих цифр (табл. 4.2), але у якій спосіб визначалась похибка наведених параметрів, не обговорюється. Зокрема, у табл. 3.1, 4.1, 5.1 температура надпровідного переходу, T_c , наведена з точністю 0.1 К, у той час, як ширини НП-переходів у досліджених зразках – від 0.3 К до ~1 К (стор. 75, 97).

2. Ширина НП-переходу 0.3 К \div 1 К свідчить про певну неоднорідність зразків, але питання однорідності зразків у дисертації не обговорюється.

3. У тексті є певні неточності, як то:

Стор. 78, Рис. 4.2 – Баричні залежності параметрів моделі побудовані по 5 точкам, я вважаю, що для визначення «зламу» це мало !

Стор. 93, «З Рис. 4.9. видно, що характер залежності $G_i(P)$ різко змінюється при $P > 0,9$ ГПа.» та Стор. 92, Підпис до Рис. 4.9 «... Суцільна крива – екстраполяція залежності поліномом.» – по-перше, суцільна крива – це інтерполяція, а не екстраполяція, по друге, якщо залежність наближена поліномом, похідна неперервна.

Стор. 88, «Із Рис. 4.7 видно, ... слабо виражений мінімум при $T_{min} \approx 103$ К». Побачити цей мінімум на рис. 4.7 неможливо – треба застосувати зовсім інший масштаб !

4. У тексті зустрічаються вирази типу «3.4 Ефект (відпалу) на (температурну) залежність (псевдощільни)», «Ефект гідростатичного тиску до 1.7 ГПа на властивості...». «Ефект» замість «вплив» – це жаргон, якого треба уникати.

Зазначені зауваження не стосуються сутності роботи, основних висновків та наукових положень, що виносяться на захист, і не впливають на високу загальну оцінку дисертації Є.В. Петренка.

В якості загальної оцінки дисертації вважаю, що за актуальною, новизною. рівнем та достовірністю отриманих наукових результатів та їх практичною значимістю дисертаційна робота Є.В. Петренка «Ефекти, що впливають на флуктуаційну провідність та формування псевдощільнинного стану в купратах та залізовмісних ВТНП» відповідає

вимогам МОН України до кандидатських дисертацій. зокрема пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів». а її автор, Є.В. Петренко, заслуговує присудження вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
кафедри фізики низьких температур
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна,
канд. фіз.-мат. наук, ст. н. сп.

Г.Я. Хаджай

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу
кадрів

