

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **ШИТОВА Микити Віталійовича**

**«Особливості флуктуаційної провідності та псевдощільни у плівках і монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  під впливом зовнішніх чинників»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія

з галузі знань 10 – Природничі науки

### **Актуальність теми дослідження**

Дослідженню механізму високотемпературної надпровідності (ВТНП) в купратних сполуках з моменту їх відкриття присвячено величезну кількість теоретичних і експериментальних робіт. Проте, механізм куперовського спарювання електронів при таких високих температурах (більше 100 K) досі залишається відкритим. На сьогодні зрозуміло, що фізику надпровідності у ВТНП матеріалах можна з'ясувати перш за все вивчаючи їх досить незвичні властивості у нормальному стані при температурах вищих за критичну температуру надпровідного стану  $T_c$ . Численні дослідження електронних властивостей купратів показали існування т.з. псевдощільни (ПЩ), що виникає при температурі  $T^*$ , значно вищій за температуру переходу у надпровідний стан:  $T^* \gg T_c$ . Вважається, що дослідження ПЩ мають пролити світло на механізм куперовського спарювання у ВТНП купратах та на явище високотемпературної надпровідності в цілому. Однак, фізика виникнення ПЩ також досі неясна. Таким чином, головні фундаментальні питання фізики ВТНП полягають у з'ясуванні механізму куперовського спарювання і природи псевдощільнинної фази, яка на фазовій діаграмі ВТНП перекривається із більшою частиною надпровідної фази. Існує значна кількість теоретичних робіт, в яких розвивається флуктуаційна модель виникнення ПЩ, Проте, до сих пір немає загально прийнятої точки зору стосовно природи і впливу цих флуктуацій.

Дисертаційна робота М.В. Шитова якраз і пов'язана із дослідженням флуктуаційних ефектів і псевдощільни у ВТНП  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , та впливу на них магнітного поля, сильного електронного опромінення та довготривалого

зберігання. В роботі Шитова експериментально досліджено вплив магнітного поля та опромінення великими дозами високоенергетичних електронів на флуктуаційну провідність та псевдощілину в монокристалах та тонких плівках  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Ці дослідження дають нову інформацію про основні електронні процеси та взаємодії, які формують надпровідну фазу у ВТНП сполуках і можуть служити підґрунтям для подальшого розвитку теоретичних моделей високотемпературної надпровідності. Окрім того, в роботі Шитова досліджено, як під час довготривалого зберігання (старіння) змінюються основні характеристики купратних ВТНП, і як це впливає на флуктуаційну провідність та псевдощілину. Ці дослідження мають суттєве практичне значення для застосування ВТНП у різних електронних пристроях. Таким чином, дисертаційна робота М. В. Шитова є **вельми актуальною** і має суттєве значення для фундаментальної і прикладної надпровідності.

### **Структура дисертації, основні наукові результати**

Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, переліку умовних позначень і скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 133 сторінки, вона містить 32 рисунки, 7 таблиць та список використаних джерел з 139 найменувань на 14 сторінках.

У *вступі*, відповідно чинним вимогам до оформлення дисертації, подана загальна характеристика дисертації.

У *першому розділі* наведено огляд літератури за темою дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* висвітлені методики виготовлення експериментальних зразків, які досліджувались в роботі - методика вирощування монокристалів  $\text{YBCO}$  та технологія виготовлення тонких плівок цього матеріалу за допомогою імпульсного лазерного осадження. Надано опис методу створення контактів для резистивних вимірювань. Описано конструкцію установки для вимірювання електричного опору надпровідних зразків, яка використовувалась в роботі при



низьких температурах, а також під впливом магнітного поля та електронного опромінення.

У *третьому розділі* досліджено вплив магнітного поля у діапазоні від 0 до 8 Тл на температурні залежності питомого опору, надлишкової провідності та псевдощільності тонких плівок YBCO. Вперше проведено аналіз температурної залежності флуктуаційної провідності у магнітному полі. Під впливом магнітного поля відбувається помітна зміни форми температурної залежності псевдощільності, незважаючи на те, що температура відкриття псевдощільності та надлишкова провідність вважаються незмінними. Виявлено помітний зсув кривої температурної залежності псевдощільності у бік нижчих температур під впливом магнітного поля. В області надпровідних флуктуацій поблизу температури надпровідного переходу вперше спостерігалось інтенсивне зменшення значення псевдощільності магнітним полем.

У *четвертому розділі* наведено результати дослідження впливу опромінення високоенергетичними електронами на температурні залежності флуктуаційної провідності (ФЛП) та псевдощільності (ПЩ) монокристала YBCO, який не містить двійників. Електронне опромінення з енергією 2,5 MeV призводить до появи структурних, переважно точкових дефектів у площинах  $\text{CuO}_2$ . Вплив цих дефектів на ФЛП і ПЩ у ВТНП при великих дозах опромінення раніше не вивчався. Показано, що при збільшенні дози опромінення відбувається лінійне збільшення питомого опору разом із лінійним зменшенням температури НП переходу. Це спостерігається при всіх дозах опромінення.

У *п'ятому розділі* вперше досліджено та проаналізовано вплив тривалого зберігання (старіння), протягом 17 років за нормальних умов, на флуктуаційну провідність та псевдощільність в монокристалах YBCO з двійниками. Показано, що дефекти які виникають під час тривалого старіння, суттєво впливають як на питомий опір, так і на ФЛП та псевдощільність.

Таким чином, доведено, що високотемпературні надпровідники мають певні обмеження щодо терміну їх практичного використання. За наявних даних,

можна стверджувати, що цей час обмежений, як мінімум, терміном близько півтора десятиріччя.

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів**

В дисертаційній роботі Шитова експериментальні зразки монокристалів і плівок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  виготовлялись стандартними методами. Дослідження їх резистивних властивостей проводилось стандартним і загальноприйнятим чотирьохзондовим методом на повністю комп'ютеризованій установці. Результати вимірювань надлишкової провідності та псевдощільності оброблялись і порівнювались із добре відомими теоретичними моделями.

Результати дисертації доповідались на кількох міжнародних конференціях і опубліковані у фахових виданнях, що входять у базу даних Scopus. Таким чином отримані результати слід вважати обґрунтованими і достовірними.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

В даній роботі **вперше були отримані такі результати:**

- 1) отримано інформацію про еволюцію надлишкової провідності та псевдощільності під впливом магнітного поля до 8 Тл у тонкій плівці  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ;
- 2) отримано інформацію про еволюцію флуктуаційної провідності та псевдощільності під впливом електронного опромінення з дозами до  $5.6 \cdot 10^{19}$  е/см<sup>2</sup> у монокристалі  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (YBCO);
- 3) виявлено несподівану немонотонну поведінку ПЩ  $\Delta^*(T)$  під впливом дефектів;
- 4) показано, що дефекти, які виникають під час тривалого зберігання, суттєво впливають як на опір, так і на флуктуаційну провідність та псевдощільність в монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .
- 5) показано, що велика кількість дефектів, які з'являються в зразку після 17 років зберігання, призводить до деградації структури та перерозподілу заряду в кристалі, що, швидше за все, відповідає за спостережувану незвичайну форму ПЩ, отриману після 17 років зберігання.



## **Наукове та практичне значення отриманих результатів.**

Основні результати дисертаційної роботи отримані вперше і можуть бути використані для з'ясування механізмів надпровідного спарювання, для подальшого вивчення впливу магнітного поля, опромінення та старіння в купратних ВТНП типу  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Отримані в дисертації результати важливі для пошуку нових надпровідників з більш високим значенням критичної температури та для їх практичного застосування в електротехніці та електроніці.

## **Повнота викладення наукових результатів в опублікованих працях**

Результати дисертаційної роботи опубліковані у 8 наукових працях: 3 статтях у провідних спеціалізованих наукових журналах та 5 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних наукових конференціях. Матеріали дисертації повністю викладені в цих публікаціях.

## **Зауваження та побажання**

1. В огляді розділу 1 варто було б згадати інші моделі утворення псевдощільнини, зокрема ті, що пов'язані з хвилями зарядової чи спінової густини (ХЗП, ХСП).
2. На Рис. 3.5. велика кількість позначок без відповідних коментарів у підпису до цього рисунку ускладнює сприйняття інформації. Окрім того, фітування експериментальних даних теоретичними залежностями (прямі лінії) відбувається на малих інтервалах зміни функції, що викликає деякий сумнів у точності та однозначності їхньої інтерпретації.
3. В розділі 4 зменшення критичної температури при малих дозах опромінення пов'язується із теорією Абрикосова –Горькова. Між тим, ця теорія стосується впливу магнітних домішок на надпровідність в моделі БКШ (ефект розпарювання). Втім радіаційні дефекти, утворені при опроміненні електронами зразків ВТНП, скоріш за все не мають магнітного моменту. Отже, можна було б очікувати, що критична температура при малих дозах опромінення не буде змінюватись (відповідно до т.з. теореми Андерсона). Таким чином, виникає деяка проблема з інтерпретацією експериментальних даних.

Зроблені зауваження не мають принципового значення і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

### Загальний висновок

Дисертаційна робота ШИТОВА Микити Віталійовича «Особливості флуктуаційної провідності та псевдощільни у плівках і монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  під впливом зовнішніх чинників», є завершеним і самостійним науковим дослідженням, яке за актуальністю теми, новизною та обґрунтованістю наукових результатів, їх теоретичним та практичним значенням, відповідає вимогам до наукової кваліфікації ступеня доктора філософії, що встановлені «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а ШИТОВ Микита Віталійович **заслуговує присудження** наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 10 - Природничі науки, за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія.

### ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Доктор фізико-математичних наук,  
Старший дослідник, провідний науковий  
співробітник відділу надпровідності  
Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України

О.Л. Касаткін

Підпис д.ф.-м.н. О.Л. Касаткіна засвідчую.

Учений секретар Інституту металофізики  
ім. Г.В. Курдюмова НАН України  
канд. фіз.-мат. наук



М.І. Савчук