

## Рецензія

завідувача відділу спектроскопії молекулярних систем і наноструктурних матеріалів ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, доктора фізико-

математичних наук, професора

Камарчука Геннадія Васильовича

на дисертаційну роботу Шитова Микити Віталійовича

«Особливості флуктуаційної провідності та псевдощілини у плівках і монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  під впливом зовнішніх чинників», представлену на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 – «Фізика та астрономія»

з галузі знань 10 – «Природничі науки»

Кінець минулого століття ознаменувався появою низки значущих наукових напрямків в області низькотемпературної фізики конденсованого стану. Одним з них, поза сумнівом, стала високотемпературна надпровідність, відкрита в 1986 р. Беднорцем і Мюллером. За шість років критичну температуру надпровідного переходу  $T_c$  вдалося підняти майже в п'ять разів: з 27 К в  $\text{Nb}_3\text{Ge}$  до 135 К в високотемпературному надпровіднику (ВТНП) на основі Hg. Під тиском ця  $T_c$  зростає до 164 К, що складає більше ніж половину величини по відношенню до кімнатної температури. І навіть через 38 років після відкриття це явище продовжує привертати увагу дослідників великою кількістю нових експериментальних спостережень, що стимулюють розвиток теорії, а також перспективами їх практичного використання.

Але все ще невизначеним залишається питання: який механізм надпровідного спарювання існує в ВТНП, що дозволяє мати куперівські пари при таких високих температурах? Це важливо для пошуку ВТНП з ще більш високими  $T_c$ , бажано при кімнатній температурі. Вважається, що відповідь на це питання може дати дослідження іншого надцікавого явища, а саме псевдощілини (ПЩ), яке спостерігається у ВТНП в широкому інтервалі температур вище за  $T_c$ . Але фізика ПЩ також до кінця не з'ясована.

Дисертаційна робота М.В. Шитова присвячена вивченню впливу різноманітних дефектів, які виникають під впливом магнітного поля, опромінення високо енергетичними електронами та довго тривалого зберігання на властивості ВТНП  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (YBCO). Дослідження впливу таких зовнішніх чинників на флуктаційну провідність (ФЛП) та ПЩ, яке може дати нову інформацію щодо фізики ПЩ, раніше не проводилися. Тому **актуальність** теми дисертаційної роботи не викликає сумнівів, адже в роботі отримано низку нових унікальних результатів.

Дисертація базується на трьох статтях, які опубліковано в журналі *Low Temperature Physics* з кварталом Q3 згідно SCImago Journal та Country Rank, та п'яти тезах міжнародних конференцій. Всі статті і тези опубліковано у співавторстві, втім особистий внесок здобувача переважно був визначальним, особливо у вдосконаленні існуючих методів аналізу псевдощільності та систематизації великого об'єму експериментальної інформації. Н.В. Шитов брав участь у написанні статей та представляв особисто матеріали досліджень на міжнародних конференціях з усними доповідями.

### **Основні результати дисертаційної роботи.**

Дисертація традиційно складається із вступу та п'яти розділів. Як зазначено у **вступі**, метою дисертаційної роботи є вивчення та аналіз нової інформації про основні електронні процеси та взаємодії, які формують нормальну і надпровідну фазу у ВТНП  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , та їх зміни під впливом магнітного поля, сильного електронного опромінення та довготривалого зберігання.

**Перший розділ** присвячено аналізу сучасного стану та перспектив розвитку досліджень фазової діаграми та фізичних властивостей досліджуваних об'єктів. Розглянуті теоретичні основи фізики високотемпературних надпровідників. Описані основні властивості ВТНП, які відрізняють їх від низькотемпературних надпровідників (НТНП).

Охарактеризовано такі поняття, як ПЩ та локальні пари, розглянуті різні точки зору на механізм надпровідного спарювання у ВТНП. Наведено відомості про температурні залежності надлишкової провідності та псевдощільності. Звернута увага на процеси, які відбуваються у ВТНП при зниженні густини носіїв заряду, порушені питання щодо анізотропії властивостей та специфіки поведінки локальних пар у ВТНП.

У **другому розділі** детально розглянуто методичні особливості досліджень та експериментальне обладнання. У достатньому обсязі для подальшого розуміння проведених досліджень пояснена методика вирощування монокристалів YBCO та технологія виготовлення тонких плівок за допомогою імпульсного лазерного напилення. Всебічно обговорено методики нанесення електричних контактів для резистивних досліджень. Надано опис конструкції установки для вимірювання електроопору при низьких температурах, яка використовувалася в роботі. Описані методи вимірювання електроопору при низьких температурах під впливом магнітного поля та електронного опромінення.

У **третьому розділі** вперше проведено аналіз температурної залежності флуктуаційної провідності у магнітному полі. З'ясовано, що коли значення магнітного поля перевищує 3 Тл, інтервал надпровідних флуктуацій різко зростає приблизно в 7 разів, а довжина когерентності вздовж осі  $c$  демонструє незвичну залежність від температури НП переходу, що вказує на перебудову кристалічної структури зразка під впливом магнітного поля. З'ясовано, що усі параметри зразків помітно змінюються при збільшенні поля до 8 Тл, що призводить до зміни форми температурної залежності псевдощільності і незвичайної еволюції псевдощільності поблизу температури НП переходу.

**Розділ 4** дисертаційної роботи присвячено дослідженню впливу опромінення високоенергетичними електронами на температурні залежності ФЛП та псевдощільності монокристала YBCO, який не містить двійників. Вперше проаналізовано вплив дефектів, які індукує опромінення з енергією 2,5 MeV, на ФЛП і ПЩ у ВТНП при великих дозах опромінення. Виявлено

несподіване зростання  $T^*$  – температури відкриття ПЩ, значення ПЩ за температури БЕК-БКШ кросовера та в цілому всієї ПЩ кривої при середньому значенні дози опромінення, що свідчить про можливе зниження щільності станів на рівні Фермі (DOS) через дефекти. Водночас з'ясовано, що при збільшенні дози опромінення, як ФЛП, так і ПЩ демонструють криві, типові для добре структурованого YBCO, з чого зроблено висновок, що “Чим більше дефектів, тим більш ізотропним є зразок”. І саме з цього “ізотропного” стану монокристал YBCO під впливом електронного опромінення починає перехід метал-ізолятор.

У розділі 5 наведено результати дослідження та аналізу впливу тривалого зберігання (старіння) протягом 17 років за нормальних умов на ФЛП та ПЩ в монокристалах YBCO з двійниками, що є важливим, але фактично не вивченим питанням. Виявлено, що після 6 років зберігання, дефекти, які виникли під час старіння, практично повністю усувають вплив двійників і двійникових границь у зразку і температурна поведінка як ФЛП, так і ПЩ нагадує типову для добре структурованих монокристалів YBCO. Таким чином доведено, що високотемпературні надпровідники після 6 років зберігання можна використовувати у різноманітних приладах. Але після 17 років зберігання велика кількість структурних дефектів, які виникають у зразку, призводить до сильної деградації структури та перерозподілу заряду в кристалі, які призводять до сильного зростання опору та, швидше за все, відповідають за спостережувану незвичайну температурну залежність як ФЛП, так і ПЩ. Таким чином показано, що такі зразки ВТНП вже не можна використовувати.

Не буду повторювати всі інші результати, котрих чимало. Хочу тільки підкреслити що всі результати отримані дисертантом вперше.

Також хочу додати, що дисертаційна робота написана ясно та послідовно, кожен розділ дисертації є доповненням попереднього, автор приділив значну увагу точності формулювань. Але є невеличкі зауваження. У підписах до рисунків 4.1 и 4.2 бажано вказати значення всіх доз

опромінювання, а не тільки  $\varphi_1$  і  $\varphi_{12}$ . На рисунку 4.2 пунктирна пряма 4, що проведена з урахуванням 4-х жовтих точок, виглядає дуже непереконливо. Вважаючи, що ця інформація далі не використовується, пропоную пряму 4 з рисунку 4.2, а також відповідний текст з дисертації прибрати. Але ці зауваження ніяк не впливають на загальну високу позитивну оцінку роботи.

Зазначу, що істотних зауважень до дисертаційної роботи у мене немає.

### Загальні висновки

Представлені в дисертації результати і стиль доповіді матеріалу свідчать про високий рівень володіння предметом. Виходячи з цього можна констатувати, що М.В. Шитов вже є сформованим науковим працівником.

Таким чином, дисертаційна робота Шитова М.В. «Особливості флуктуаційної провідності та псевдощілини у плівках і монокристалах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  під впливом зовнішніх чинників», є оригінальною та завершеною науковою працею, яка повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктор 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 р. № 44, а її автор Шитов Микита Віталійович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Рецензент: завідувач відділу  
ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН  
України,  
доктор фізико-математичних  
наук, професор

Камарчук Г. В.



Особистий підпис гр.

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар ФТІНТ  
ім. Б.І. Веркіна НАН України  
кандидат фізико-математичних наук

Камарчук Г. В.  
Кашиненко О. М.