

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Омельченко Людмили Валеріївни

«Надлишкова провідність в купратних високотемпературних надпровідниках $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($RE=Y, Pr$)»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Дисертаційну роботу Омельченко Л.В. присвячено експериментальному дослідженню впливу гідростатичного тиску на температурну залежність опору в слабо допованих і оптимально допованих монокристалах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, впливу Pr та $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на особливості поведінки температурної залежності надлишкової провідності $\sigma'(T)$ і псевдощільності $\Delta^*(T)$ в монокристалах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та надгратках і гетероструктурах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} - PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Актуальність теми дисертації. Одним з найбільш важливих досягнень сучасної фізики твердого тіла є відкриття сполук типу $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з активною площиною CuO_2 (купрати), які крім високої критичної температури надпровідного перетворення T_c мають ряд інших незвичайних властивостей. Це мала щільність носіїв заряду n_f , яка навіть в оптимально допованих зразках на порядок менша, ніж в звичайних металах, сильні електронні кореляції, квазідвовимірність, яка обумовлена провідністю в площинах CuO_2 , і, як наслідок, сильна анізотропія електронних властивостей.

Хоча з моменту відкриття високотемпературної надпровідності пройшло більше 30 років, механізм спарювання електронів, що призводить до надпровідності при температурах вище 100 К, до кінця невідомий. В даний час вважається, що правильне розуміння такого специфічного явища, як псевдощільнинний стан, який спостерігається в купратах при температурі $T^* \gg T_c$, має допомогти зрозуміти механізм надпровідного спарювання електронів в високотемпературних надпровідниках (ВТНП), а також з'ясувати роль взаємозв'язку надпровідності і магнетизму в формуванні унікальних носіїв – ферміонів при таких високих температурах. Однак, фізична природа формування псевдощільності також до теперішнього часу не з'ясована.

Для вивчення цього питання, в дисертації в рамках моделі локальних пар були досліджені температурні залежності надлишкової провідності і параметрів псевдощільності в ряді купратних ВТНП. За визначенням поява псевдощільності (ПЩ) - це особливий стан речовини, який характеризується зниженою (але не до нуля) щільністю електронних станів на рівні Фермі. Слід відзначити принципову відмінність псевдощільнинного стану від надпровідного, в якому відкривається надпровідна щільність і щільність електронних станів на рівні Фермі дорівнює нулю. Вважається, що псевдощільність в купратах обумовлена надпровідними флуктуаціями, які призводять до утворення спарених ферміонів, так званих, локальних пар, при $T^* \geq T \geq T_c$, і, таким чином, утворення псевдощільності є передвісником переходу високотемпературних надпровідників в надпровідний стан. В області температур $T \leq T^*$ локальні пари виникають у вигляді сильно зв'язаних бозонів, які підпорядковуються

теорії Бозе – Ейнштейнівської конденсації (БЕК). Розмір сильно зв'язаних бозонів визначає довжина когерентності в площині ab кристалічної ґратки надпровідника: $\xi_{ab}(T) = \xi_{ab}(0)(T/T_c - 1)^{-1/2}$, величина якої $\xi_{ab}(0) \sim \xi_{ab}(T^*)$ виключно мала. Відповідно сила зв'язку в такій парі, $\epsilon_b \sim 1/(\xi_{ab})^2$, навпаки, значна. Однак, як уже зазначалося вище, деталі такого спарювання до теперішнього часу не з'ясовані.

Таким чином, з огляду на все вище сказане, тема дисертаційної роботи Омельченко Л.В., в якій в моделі локальних пар досліджена надлишкова провідність і температурна залежність параметрів псевдощільнини в купратних високотемпературних надпровідниках, а саме, в монокристалах $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($RE=Y, Pr$), в тому числі і під впливом гідростатичного тиску, є **актуальною**.

Дослідження, які лягли в основу роботи Омельченко Л.В., виконані у відділі транспортних властивостей провідних і надпровідних систем Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б.І. Веркіна НАН України в рамках тематичного плану інституту відповідно до відомчої теми: «Електронний транспорт в нових провідних і надпровідних системах» (номер державної реєстрації 0112U002637, термін виконання 2012-2016 рр.), що додатково підтверджує актуальність теми.

Мету дисертаційної роботи - отримання нової інформації про різноманітні електронні та іонні процеси, які формують нормальну і надпровідну фазу у високотемпературних надпровідниках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, як при зміні рівня допування киснем, так і в умовах дії гідростатичного тиску, а також в сполуках типу $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ і $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} - PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ при зміні вмісту магнітних іонів Pr і шарів $PrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, вважаю досягнутою в межах поставлених автором задач.

Дисертаційна робота складається з п'яти розділів. **У першому розділі** наведено короткий огляд літературних джерел, вирішенню яких присвячена дисертація. Розглянуто основні особливості кристалічної структури та можливі механізми провідності в сполуках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, вивчені основні закономірності і характер фазової діаграми $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, а також запропоновано можливі механізми появи псевдощільнини в високотемпературних надпровідниках в моделі локальних пар. **У другому розділі** міститься опис експериментальної установки і методики дослідження. Описано метод вирощування монокристалів високотемпературних надпровідників типу $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($Re=Y, Pr$) 1-2-3 та метод виготовлення надґраток і гетероструктур. **У третьому розділі** вивчено вплив гідростатичного тиску на величину і температурну залежність надлишкової провідності та параметрів псевдощільнини в слабо і оптимально допованих монокристалах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. **У четвертому розділі** представлені результати дослідження впливу домішок іонів празеодиму (Pr) в широкому інтервалі концентрацій ($0.0 \leq x \leq 0.5$) на температурні залежності провідності і параметрів псевдощільнини в монокристалах $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. **У п'ятому розділі** аналізується одне з важливих питань фізики високотемпературних надпровідників про взаємозв'язок надпровідності і магнетизму.

Найбільш важливими **новими результатами** дисертації є наступні:

1. Вперше досліджені залежності надлишкової провідності $\sigma'(T)$ і параметрів псевдощільни $\Delta^*(T)$ від температури в слабо допованих ($T_c(P=0)=49.2$ К) та оптимально допованих киснем ($T_c(P=0)=91.07$ К) монокристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в умовах дії гідростатичного тиску до 1 ГПа. Виявлено, що в умовах дії тиску в слабо допованих монокристалах опір ρ зменшується, а критична температура T_c зростає. В той же час в оптимально допованих зразках вплив тиску на T_c незначний. Цей результат є дуже важливим, бо він свідчить про те, що механізми впливу тиску на електричний опір і на температуру переходу T_c різні.
2. Вперше позазано, що параметр псевдощільни $\Delta^*(T)$ і відношення $D^*=2\Delta^*(T_c^{mf})/k_B T_c$ теорії Бардіна – Купера – Шріффера зростають під впливом гідростатичного тиску. Цей результат пояснюється появою малих частот фононного спектру надпровідника в умовах дії тиску.
3. Вперше на основі аналізу одержаних результатів зроблено висновок про те, що у всіх досліджених монокристалах незалежно від ступеню доповання киснем поблизу температури переходу T_c надлишкова провідність $\sigma'(T)$ описується в рамках флуктуаційних теорій Асламазова – Ларкіна для 3D систем і Макі – Томпсона 2D систем.
4. Вперше вивчено вплив «магнітної» домішки різної концентрації у вигляді іонів Pr на надлишкову провідність і параметри псевдощільни в монокристалах $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, а також в надгратках і гетероструктурах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ - $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ при збільшенні числа шарів $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Показано, що збільшення концентрації «магнітної» домішки супроводжується зростанням електричного опору ρ та температури відкриття псевдощільни T^* , а також призводить до зменшення температури T_c .

Отримані результати дозволили зробити важливий висновок про тісний взаємозв'язок між надпровідними флуктуаціями і магнітними властивостями іонів металів, які формують склад надпровідника.

Всі положення та результати, які сформульовані автором в пункті «наукова новизна», є обґрунтованими, вперше отриманими, та описаними автором.

Результати досліджень, що викладені в дисертаційній роботі, є достовірними, оскільки вони базуються на досконалих експериментах і добре узгоджуються з літературними даними.

Матеріали дисертації Омельченко Л.В. повністю висвітлено в 7 наукових статтях у провідних фахових виданнях, вони доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях та семінарах, опубліковані в збірниках праць міжнародних наукових конференцій.

Дисертація кваліфіковано написана і добре оформлена. Текст автореферату повністю та вірно викладає зміст дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи отримані вперше і можуть бути використані для з'ясування механізмів надпровідного спарювання електронів в мідно оксидних високотемпературних надпровідниках. Це важливо для пошуку нових надпровідників з ще більш високими T_c . Основне застосування високотемпературні надпровідники знаходять в створенні струмопідводів надпровідних магнітів, розмикачів - запобіжників в потужнострумівих лініях зв'язку, принципово нового обладнання залізничного транспорту, в магнітометричних приладах і високочастотних пристроях: резонаторах, прийомних котушках для медичних томографів, СКВІДах, надшвидкісних лініях зв'язку. Таким чином, результати роботи мають також велику практичну значимість.

Дисертаційна робота Омельченко Л.В. містить деякі недоліки:

1. В рамках використовуємої автором дисертаційної роботи моделі флуктуаційного виникнення локальних пар при формуванні носіїв електричного заряду, температура надпровідного переходу T_c і температура відкриття псевдощільності T^* тісно взаємопов'язані. Але, як свідчать експериментальні результати, гідростатичний тиск впливає лише на T_c . Пояснення цього ефекту в роботі відсутнє, що суттєво знижує вагомість висновку про можливість зміни фононного спектру в досліджуваних надпровідниках в умовах тиску (Розділ 3.1.1).
2. В Розділі 1.3.2 при обговоренні ролі надпровідних флуктуацій поблизу температури переходу T_c використовується термін «куперівські» пари, що на мій погляд не є коректним, тому що механізм формування парних носіїв електричного заряду в високотемпературних надпровідниках до теперішнього часу точно не визначений. Термін же «куперівські» пари однозначно пов'язаний з механізмом взаємодії електронів шляхом фононного зв'язку.
3. В тексті дисертаційної роботи є деякі технічні описки, а також дублювання позначень. Наприклад: δ – параметр ступеню допування киснем надпровідника, а також параметр розпарювання в рівнянні Макі – Томпсона для провідності (стор. 35, Розділ 1.3.2).

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, а скоріше мають характер побажання для подальшої плідної роботи у вибраному напрямку.

Таким чином, дисертація Омельченко Л.В. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові результати та зроблений вагомий внесок в розумінні механізму надпровідності, а також такого важливого питання, як взаємозв'язку надпровідності і магнетизму.

На основі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота Омельченко Л.В. «Надлишкова провідність в купратних високотемпературних надпровідниках $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($RE=Y, Pr$)» відповідає всім вимогам МОН

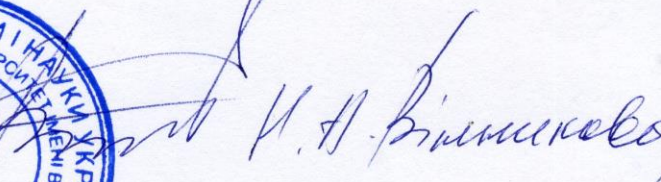
України до кандидатських дисертацій, зокрема пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступеней», а її автор, Омельченко Л.В., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико - математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук, професор
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна МОН України,
професор кафедри фізики кристалів


Ю.І. Бойко

Підпис Ю.І. Бойко затверджую
Учений секретар
ХНУ ім. В.Н. Каразіна




У.А. Білімськова