ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Степанова Віктора Борисовича

«ТРАНСПОРТНІ ВЛАСТИВОСТІ І ТЕРМОЕРС МІДІ І МІДНО-ОКСИДНИХ ВТНП, РОЛЬ ДЕФЕКТІВ»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»
(галузь знань 10 «Природничі науки»)

Актуальність теми дисертації. Технологічний розвиток суспільства пов'язаний з пошуком та створенням нових функціональних матеріалів з унікальними фізичними властивостями, перспективних для практичного застосування. Це потребує розуміння фундаментальних процесів, що зумовлюють природу цих властивостей, а також ініціює пошук нових фізичних явищ. Клас матеріалів, які володіють високотемпературною надпровідністю (ВТНП), має великий потенціал щодо виявлення в них нових фізичних явищ, властивостей і пов'язаних з цим перспектив застосування. Тому, дослідження природи ВТНП є одним з актуальних напрямків сучасної фізики твердого тіла. Поглиблення уявлень про природу купратних ВТНП можна досягти при отриманні нової інформації при здійсненні експериментальних досліджень впливу структурного стану на транспортні властивостей матеріалу, а також проведенні аналізу експериментальних даних в рамках сучасних фізичних моделей.

Саме тому дослідження температурних залежностей опору, надлишкової і флуктуаційної провідності, псевдощілини і термоЕРС у ВТНП $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ і опору і термоЕРС модельного матеріалу - міді з різним змістом дефектів, а також вивчення взаємозв'язку між впливом дефектів на поведінку флуктуаційних куперівських пар вище T_c і властивостями ВТНП нижче T_c поряд з дослідженням флуктуаційної провідності і густини критичних струмів в тонких плівках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ безсумнівно, є **актуальними** та визначають **тему** дисертаційної роботи В. Б. Степанова.

Підкреслимо, що результати, які склали дисертаційну роботу, отримані в у відділі мікроконтактної спектроскопії ФТІНТ ім. Б.І. Вєркіна НАН України в рамках держбюджетних НДР «Електронний транспорт в нових провідних і надпровідних системах» (№0112U002637) і «Функціональні властивості новітніх надпровідникових сполук і металовмісних спін- та зарядово-впорядкованих структур» (№0117Ш02294).

Враховуючи вище сказане, вважаю, що тема дисертаційної роботи, як її сформульовано у назві, є безумовно актуальною.

Структура дисертації забезпечує послідовний виклад проблематики досліджень, етапів реалізації мети та завдань роботи. Дисертація включає анотацію державною та англійською мовами, що відповідає основному тексту, вступ, п'ять розділів, висновки, перелік використаних джерел та додатки зі списком публікацій здобувача за темою дисертації і відомостями про апробацію результатів дисертації.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної дисертаційної теми, сформульовані її мета, наукова новизна і практична цінність, наведені дані про публікації та апробацію результатів дисертаційної роботи і ін.

Перший розділ **«Поведінка коефіцієнту Зеєбека в міді та мідно - оксидних високотемпературних надпровідниках (ВТНП), основні властивості ВТНП $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Огляд літератури)»** включає огляд літератури за обраною тематикою. Розглянуто теоретичне підґрунтя виникнення термоЕРС в металах та відомості про температурну залежність коефіцієнта Зеєбека в простих металах (міді) і сполуках, поведінку термоЕРС в надпровідниках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ у рамках існуючих моделей електронного транспорту. Також наведено дані про структуру і фазову діаграму $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, псевдощілину (ПЩ), механізми надпровідного спарювання і локальні пари та критичні струми й флуктуаційну провідність в плівках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. На основі аналізу літературних даних було формульовано основні завдання дисертаційної роботи.

У *другому* розділі **«Об'єкти досліджень і експериментальні вимірювальні методики»** представлено методики одержання деформованих зразків міді, полікристалів і тонких плівок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, розглянуто використані в роботі методи вимірювання питомого опру і термоЕРС та ін. Описано конструкцію кріогенного устаткування, термометрію та процедуру підготовки зразків до низькотемпературних досліджень.

Третій розділ **«Вплив пластичної деформації на температурні залежності питомого опору і термоЕРС в міді»** містить вперше отримані дані щодо впливу пластичної деформації на температурну поведінку нормованого питомого опору ρ/ρ_d (ρ_d – характеристика деформованого стану) і термоЕРС $S_{AB}(T)$ зразків міді з різним вмістом домішок. Виявлені аномалії $\rho/\rho_d\ (T)$, які співпадають з $S_{AB}(T)$ в районі ~ 8-12 К та ~ 20 К, що пов'язується з можливістю резонансного розсіювання електронів провідності і теплових фононів на локалізованих поблизу дислокацій електронах.

У *четвертому* розділі **«Порівняльний аналіз температурних залежностей питомого опору, псевдощілини та термоЕРС у полікристалах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ при зниженні щільності носіїв заряду»** представлено результати досліджень поведінки температурних залежностей питомого опору, псевдощілини (ПЩ) та термоЕРС у полікристалах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різною щільністю носіїв заряду одержаних при безкислородному відпалу. Зокрема показано, що нахил залежностей $S(T)$ всіх зразків змінюється при $T=T^*$ (T^* – температура відкриття ПЩ), що підтверджує можливість перебудови поверхні Фермі (ПФ) при $T=T^*$. Крім того, вперше спостерігалося три різних типи залежностей S/T від $\log T$ для різної наведеної щільності носіїв заряду p: для $p \geq p^*$, $p < p^*$ і $p << p^*$, де p^* відповідає квантовій критичній точці (ККТ), нижче за яку, виникає зарядове впорядкування, що викликає перебудову ПФ, флуктуації якої відповідають за логарифмічний характер $S(T)$, виявленій при $p \leq p^*$. Запропоновано феноменологічну інтерпретацію ефектів, що віддзеркалюються на температурній залежності термоЕРС полікристалів YBCO при переході щільності носіїв заряду через ККТ.

У п'ятому розділу **«Критичні струми і флуктуаційна провідність в плівках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$»** наведено результати досліджень температурної залежності густини критичних струмів плівок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, що містять різну кількість дефектів, у порівнянні з даними отриманими при вимірюванні флукутаційної провідності вище T_c цих же зразках. Здобувач вперше з'ясував, що для плівок з дефектами модель малокутових границь розділу кристалічних блоків (МГРБ), яка не враховує вплив дефектів, не відповідає експерименту. Виявлена зміна нахилу залежностей $j_c(T)$, що відбувається поблизу T_c при температурі, при якій довжина когерентності зрівнюється з розміром елементарної комірки YBCO уздовж осі *c,* віднесена до 3D-2D кросоверу – переходу надпровідної структури ВТНП у 2D режим з розташуванням куперівських пар і в площинах CuO_2.

Три останніх розділи дисертації є оригінальними і містять висновки, що базуються на отриманих результатах.)

Основні результати, отримані в даній роботі, в стислій формі сформульовані у розділі «**Висновки».**

Текст дисертаційної роботи в цілому написано хорошою науковою мовою, зрозуміло та послідовно.

Наукова новизна результатів. Усі основні результаті дисертації отримані здобувачем вперше та в повній мірі відображені в опублікованих роботах. Серед найбільш значущих результатів, що складають її наукову новизну, слід зазначити наступні:

• Вперше проведено порівняльний аналіз виміряних температурних залежностей електроопору та термоЕРС деформованої полікристалічної міді з різним вмістом домішок і виявлені аномалії опору в районі T ~ (8-12) K і T ~ 20 K, що корелюють з особливостями термоЕРС, пов'язано з можливим резонансним розсіюванням електронів провідності і теплових фононів на локалізованих поблизу дислокацій електронах.

• Вперше на полікристалах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різною щільністю носіїв заряду показано що нахил температурних залежностей термоЕРС різко змінюється при T^*, що вказує на трансформацію поверхні Фермі при температурі відкриття псевдощілини.

• Вперше проведено порівняльний аналіз температурних залежностей критичного струму і флуктуаційної провідності в тонких плівках YBCO, який підтвердив, що зростання критичного струму дійсно відбувається в результаті виникнення дефектів.

• Показано, що модель малокутових границь розділу кристалічних блоків (МГРБ), розвинена для критичних струмів у гарно структурованих ВТНП, яка не враховує вплив дефектів, не відповідає експерименту, а нахили залежностей $\log j_c$ від $\log(1-T/T_c)$ помітно змінюються при температурі 3D-2D кросоверу, що свідчить про зміну електронної розмірності ВТНП нижче T_c.

Наукова та практична значимість отриманих результатів полягає в поглибленні наукового підґрунтя щодо розуміння природи надпровідного

спарювання в мідно-оксидних ВТНП, та прогнозуванні властивостей таких матеріалів. Отримані дані сприяють розширенню існуючих уявлень про природу процесів розсіювання носіїв заряду і флуктуаційного спарювання в системах з сильними електронними кореляціями. Отримані результати можуть бути корисними в розробці нових методів досліджень та визначенні перспектив використання нових матеріалів в сучасних технологіях.

Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації. Наукові положення та висновки, сформульовані у дисертації, мають високий рівень обґрунтованості і достовірності, що забезпечено використанням апробованих експериментальних методик, гарною відтворюваністю даних, коректною інтерпретацією одержаних експериментальних результатів, що узгоджуються з існуючими фундаментальними уявленнями.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертації опубліковані у 13 наукових працях, серед яких 6 статей у наукових фахових виданнях, які входять до науковометричних баз Scopus та Web of Science, а також 7 тез доповідей у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Обсяг друкованих праць та їх кількість відповідають встановленим вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія». В цих публікаціях результати, наведені у дисертації, викладено доволі повно, при цьому тотожних за змістом серед цих публікацій немає.

Зауваження до дисертації.

1. В дисертації проведено ретельне дослідження змін температурних залежностей транспортних характеристик в міді під впливом деформації прокаткою у широкому інтервалі ступенів обтиснення, але прив'язка до конкретних деформаційних змін в дефектній структурі відсутня, хоча в літературі існує така інформація, зокрема у роботі: *Гиндин И.А., Лазарева М.Б., Лебедев В.П., Стародубов Я.Д., Мацевитый В.И., Хоткевич В.И. О структуре и механических свойствах меди, прокатанной при 4,2-300 К. – ФММ, 1967, 24, с.347-353.*
2. Як об'єкти досліджень, в роботі використано полікристалічні зразки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, одержані твердофазним синтезом, і тонкі плівки, виготовлені за допомогою імпульсного лазерного напилювання. З табл.4.1 і табл.5.1 видно, що зразки S_3 (полікристал) і W156 (плівка) мають однакове значення температури надпровідного переходу (T_c=80 К), але істотну (у рази) різницю питомого електроопору ($\rho_{100\,K}$=3550 мкОм·см і 510 мкОм·см, відповідно), що потребує пояснення.
3. Не представлено методику вимірювань критичних струмів зразків, зокрема, швидкість заведення струму і вигляд вольт-амперних характеристик, що є важливим с точки зору можливого виникнення нестійкостей поблизу критичних значень струму при певних температурах і може призвести до похибок при визначенні $J_c(T)$.

4. В тексті зустрічаються окремі стилістичні і граматичні неточності:
- С.59: « пластично деформовані діелектричні ядра лінійних КД » - ядро дислокації не можна пластично деформувати!;
- С.71: «…дифірінциальний метод вимірювання » → « диференційний метод»;
- С 64: « з високоякісною кристалографічною структурою » → « з досконалою кристалографічною структурою»;;
- С.77: підпис до рис.3.5 - « при різних ступенях диформації: 10 (1); 15 (2); 20 (3) г/мм^2» - насправді, при різних рівнях навантаження;
- С.83: рис.3.6 - « Суцільні криві проведені на око» → Суцільні криві проведені «на око»;
- С.92: Таблиця 4.2 - «Результати експериментальної обробки даних в рамках моделі..» → «Результати обробки експериментальних даних в рамках ...»;
- С.106: «Це залежність практично паралельна осі Х в Фермі-рідинному стані …» ???;
- на деяких рисунках позначення розмірності на осях наведено на латиниці.

Зазначені зауваження не стосуються суті вирішеного завдання і не знижують цінності досягнутих результатів і наукового рівня дисертаційної роботи.

Загальний висновок. Дисертаційна робота В.Б.Степанова на тему «Транспортні властивості і термоЕРС міді і мідно-оксидних ВТНП, роль дефектів» є оригінальним, завершеним, самостійним науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати.

За змістом, актуальністю, науковою новизною та оформленням дисертація відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», та вимогам, передбаченим пунктом 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №167 від 6 березня 2019 року (із змінами, згідно з постановою КМУ №979 від 21 жовтня 2020 року), а її автор – Степанов Віктор Борисович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент:
доктор фізико-математичних наук, с.н.с.,
завідувач відділу фізики твердого тіла
та конденсованого стану речовини
Інституту фізики твердого тіла,
матеріалознавства та технологій
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»
НАН України Соколенко В. І.

ЗАСВІДЧУЮ
Учений секретар
ННЦ ХФТІ
17 « 01 2021

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"
№14312223