

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Степанова Віктора Борисовича на тему «*Транспортні властивості і термоЕРС міді і мідно-оксидних ВТНП, роль дефектів*» на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

1. Дисертація В.Б. Степанова «*Транспортні властивості і термоЕРС міді і мідно-оксидних ВТНП, роль дефектів*» на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є цілісною та завершеною науковою працею, яка виконана на високому науковому рівні.

Дисертацію виконано у відділі мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України.

Тему дисертаційної роботи В. Б. Степанова затверджено на засіданні Вченої ради ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України (протокол №9 від 13 грудня 2017 року).

Науковим керівником В. Б. Степанова призначено провідного наукового співробітника відділу мікроконтактної спектроскопії ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України, д.ф.-м.н., с.н.с. А. Л. Соловійова (наказ директора ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України № 90-ОД від 15 вересня 2017 року).

Дослідження, що склали дисертаційну роботу, проводились в рамках тематичного плану інституту відповідно до відомчих тем: «Електронний транспорт в нових провідних і надпровідних системах» (номер державної реєстрації 0112U002637, термін виконання 2012-2016 рр.) і «Функціональні властивості новітніх надпровідникових сполук і металовмісних спін- та зарядово-впорядкованих структур» (номер державної реєстрації 0117U002294, термін виконання 2017-2021рр.).

2. Актуальність теми дослідження.

У сучасній фізиці твердого тіла однією з актуальних проблем є побудова теорії високотемпературних надпровідників (ВТНП), що необхідно для з'ясування шляхів і можливостей створення нових надпровідників з ще більш високими, бажано кімнатними, температурами T_c переходу в надпровідний (НП) стан. Вирішення цього завдання ускладнюється відсутністю чіткого розуміння фізики внутрішніх взаємодій в таких багатокомпонентних сполуках, якими є ВТНП, зокрема механізму НП спарювання, що дозволяє мати високу критичну температуру надпровідного переходу $T_c > 100$ К. Вважається, що відповідь на питання про НП спарювання в ВТНП може бути отримана шляхом вивчення такого цікавого явища, як псевдощілина (ПЩ), яка відкривається в купратних ВТНП, типу $YBa_2Cu_3O_{7-8}$ при температурі $T^* \gg T_c$. Однак фізика утворення ПЩ та її роль у формуванні спарених електронів (флуктуаційних куперовських пар) (ФКП) вище T_c , все ще нез'ясована, незважаючи на величезну кількість теоретичних і експериментальних робіт, присвячених даній проблемі.

Фізичні властивості металів і сплавів визначаються їх електронним енергетичним спектром, а також наявністю дефектів кристалічної структури, їх типом і щільністю. Тому для отримання матеріалів із заданими властивостями потрібні як теоретичне обґрунтування, так і розробка експериментальних методів дослідження, здатних виявити вплив дефектів на властивості металів і виявити зміни електронного енергетичного спектра в результаті такого впливу. Дуже чутливим, і в той же час маловивченим, є метод дослідження за допомогою вимірювання термоелектрорушійної сили (термоЕРС), яка як раз і залежить як від температури, так і від топології поверхні Фермі металу і характеру розсіювання електронів на домішках і дефектах ґратки.

На відміну від електропровідності термоЕРС реагує на викривлення ґратки не тільки величиною, а й знаком ефекту і несе при цьому інформацію не тільки про розсіюючу здатність дефекту, але і про характер розсіювання, а також про зміни електронного енергетичного спектра поблизу поверхні Фермі. Однак до теперішнього часу взаємозв'язок термоЕРС з дефектами, як в класичних металах, так і в багатокомпонентних з'єднаннях і особливо в ВТНП, до кінця нез'ясований. Більш того, нам не відомі роботи, в яких би вивчалось питання про те, як змінюється характер поведінки термоЕРС в купратах в залежності від зміни поведінки ПЩ при зменшенні щільності носіїв заряду і T_c . З метою вивчення цього питання були досліджені температурні залежності опору і термоЕРС в чистій міді і міді з дефектами (Розділ 3), а також надлишкової і флуктуаційної провідності, псевдощільності і термоЕРС в багатокомпонентному купратному ВТНП $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Розділ 4). Для вивчення взаємозв'язку між впливом дефектів на поведінку флуктуаційних куперовських пар вище T_c і властивостями ВТНП нижче T_c також були досліджені флуктуаційна провідність і густина критичних струмів в тонких плівках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різною кількістю дефектів (Розділ 5). Таким чином, з огляду на все вище сказане, тема дисертаційної роботи є актуальною.

3. Мета дисертаційної роботи.

Метою дисертаційної роботи є отримання нової інформації про основні електронні процеси і взаємодії, в чистій і технічній полікристалічній міді, під впливом пластичної деформації, про електронні процеси і взаємодії які формують нормальну і надпровідну фазу в високотемпературних надпровідниках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з різною дефектною структурою, отриманою під впливом відпалу, а також про поведінку критичних струмів і флуктуаційної провідності в плівках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ у разі зміни кількості дефектів. В результаті виконання роботи поставлену мету було досягнуто.

4. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.

У дисертаційній роботі вперше отримано наступні результати:

– Вперше в полікристалічній електротехнічній міді проведено порівняльний аналіз температурних залежностей електроопору та термоЕРС і виявлені аномалії опору в районі $T \sim (8-12) K$ і $T \sim 20 K$, що корелюють з особливостями термоЕРС,

найбільш ймовірно пов'язаних з можливістю резонансного розсіювання вільних електронів і теплових фононів на локалізованих поблизу дислокацій електронах.

– Вперше в полікристалах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з різною щільністю носіїв заряду n_f , яка залежить від зміни рівня допування киснем під впливом відпалу, проведено порівняльний аналіз температурних залежностей надлишкової провідності $\sigma'(T)$, псевдощільнини $\Delta^*(T)$ і термоЕРС $S(T)$, яку вдалося описати в двухзонній моделі з додатковим лінійним по температурі вкладом з урахуванням температурної поправки.

– Вперше показано, що нахил $S(T)$ всіх зразків змінюється при $T=T^*$, підтверджуючи можливість перебудови поверхні Фермі (ПФ) при температурі відкриття ПЩ. Відповідно, залежність $S(T)/T$ від $\log T$ змінюється від лінійної до нелінійної при зменшенні щільності носіїв заряду n_f нижче критичного допування p^* , що вказує на передбачувану зміну ПФ при переході n_f через квантову критичну точку.

– 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 МГРБ, розвинена для критичних струмів в добре структурованих ВТНП, з ростом числа дефектів не працює, а нахили залежностей $\log j_c$ від $\log(1-T/T_c)$ помітно змінюються при температурі 3D-2D кроссоверу, що підтверджує зміну електронної розмірності ВТНП нижче T_c .

5. Достовірність результатів та обґрунтованість положень і висновків дисертаційної роботи забезпечується високим рівнем проведених експериментів та підтверджується узгодженням частини отриманих експериментальних результатів з відомими результатами інших авторів та існуючими загальними теоретичними уявленнями.

Наукові положення, що виносяться на захист, логічно впливають із матеріалів, викладених в дисертації та опублікованих у наукових фахових журналах, які включено до міжнародних наукометричних баз.

Всі основні результати дисертації та їх інтерпретація неодноразово обговорювалися на вітчизняних та міжнародних конференціях і наукових семінарах.

6. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувача в публікації.

Основні результати дисертації опубліковано у 13 наукових працях:

- 6 статей, у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії «А». Всі журнали проіндексовані у базах даних Scopus та Web of Science Core Collection.
- 7 тез доповідей у збірниках праць міжнародних і вітчизняних конференцій, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи були отримані особисто дисертантом або за його безпосередньої участі. Наукові статті [1-6], в яких представлені основні результати дисертаційної роботи, були виконані здобувачем у співавторстві. В роботах [1-6] автор брав активну участь у підготовці зразків до вимірювань, плануванні, проведенні експериментів, опрацюванні експериментальних даних. Автор особисто проводив експерименти стосовно відпрацювання методу відпалу для зниження щільності носіїв заряду в полікристалах $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ запропонованого в роботі [6]. Аналіз та обговорення отриманих результатів, формулювання основних наукових висновків, написання статей здійснювалося разом з іншими співавторами та науковим керівником. Основні результати роботи були особисто представлені дисертантом у вигляді доповідей на наукових конференціях, наукових радах та семінарах. Таким чином, особистий внесок дисертанта є визначальним.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Температурная корреляция особенностей импеданса $YBa_2Cu_3O_x$ плёнки и $SrTiO_3$ подложки / В. М. Дмитриев, Е. Л. Кравченко, М. Н. Офицеров, Н. Н. Пренцлау, В. Н. Светлов, **В. Б. Степанов** // Low Temperature Physics/Фізика низьких температур. – 1993. – Т. 19, № 4 – С. 453–455.
2. Флуктуационная проводимость и критические токи в пленках $Y-Ba-Cu-O$ / А.Л. Соловьёв, В.М. Дмитриев, В.Н. Светлов, **В. Б. Степанов** // Low Temperature Physics/Фізика низьких температур. – 2003. – Т. 29, № 12 – С. 1281–1292.
3. Температурные аномалии электрического сопротивления и термоэлектродвижущей силы поликристаллической меди, подвергнутой пластической деформации / В.М. Дмитриев, Н.Н. Пренцлау, В.Н. Светлов, **В. Б. Степанов** // Low Temperature Physics/Фізика низьких температур. – 2005. – Т. 31, № 1 – С. 94–98.
4. Влияние пластической деформации на температурную зависимость термоэдс в меди / В.Н. Светлов, **В. Б. Степанов** // Low Temperature Physics/Фізика низьких температур. – 2006. – Т. 32, № 7 – С. 919–922.
5. Влияние больших пластических деформаций на низкотемпературный пик термоэдс и электросопротивление поликристаллической меди / В.Н. Светлов, А.Л. Соловьёв, **В. Б. Степанов** // Low Temperature Physics/Фізика низьких температур. – 2012. – Т. 38, № 1 – С. 83–86.
6. Comparative analysis of the temperature dependence of the resistivity, pseudogap and thermoelectric power in polycrystals $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ with a decrease in the density of charge carriers / А. L. Solovjov, **V. B. Stepanov**, Yu. A. Kolesnichenko // Low Temperature Physics/Фізика низьких температур. – 2021. – Т. 47, № 10 – С. 883–894.

Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів:

7. Correlation between impedance anomalies of SrTiO₃ substrate and YBa₂Cu₃O_x film / V.M. Dmitriev, E.L. Kravchenko, M.N. Ofitserov, N.N. Prentslau V.N.Svetlov, **V. B. Stepanov** // Proceedings of International Conference «PHYSICS IN UKRAINE, Low Temperature Physics – 1993», – Ukraine, Kiev, 1993. – P. 90.
8. The effect of anomalies of impedance of a SrTiO₃ substrates on that of an YBa₂Cu₃O_x films / V.M. Dmitriev, E.L. Kravchenko, M.N. Ofitserov, N.N. Prentslau, V.N.Svetlov, **V.B. Stepanov** // Proceedings of Int. Conf. M²S-HTSC IV. – Grenoble, France. 1994. – Physica C 235-240, P. 615-616.
9. Specific temperature dependence of pseudogap in YBa₂Cu₃O_{7-δ} nanolayers / T.Y. Novikov, L.V. Omelchenko, V.N. Svetlov, **V.B. Stepanov**, A.L. Solovjov // V International Conference for Young Scientists «Low Temperature Physics», June 2–6 2014: book of abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2014. – P. 26.
10. Excess conductivity and pseudogap in superlattices and double layer YBa₂Cu₃O_{7-δ} – PrBa₂Cu₃O_{7-δ} films / L.V. Omelchenko, **V. B. Stepanov**, A.L. Solovjov // VIII International Conference for Professionals and Young Scientists «Low Temperature Physics», May 29 – June 2, 2017 : book of abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2017. – P. 52.
11. Порівняльний аналіз температурної залежності питомого опору, псевдощільності і термоерс в полікристалічних надпровідниках YBa₂Cu₃O_{7-δ} зі зниженою щільністю носіїв заряду / **В. Б. Степанов**, Е. В. Петренко, А. Л. Соловйов // "XIV Міжнародна конференція «Фізичні явища в твердих тілах» December 3–5 2019 : book of abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2019. – P. 25.
12. Temperature dependence of resistivity, pseudogap and thermoelectric power in polycrystalline superconductors YBa₂Cu₃O_{7-δ} with reduced charge carrier density / E.V. Petrenko, **V. B. Stepanov**, A. L. Solovjov // Condensed Matter & Low Temperature Physics 2020 "CM & LTP 2020" June 8–14, 2020 : book of abstracts. – Ukraine, Kharkiv, 2020. – P. 42.
13. Comparative analysis of the temperature dependence of resistivity, excess conductivity, pseudogap and thermoelectric power in YBa₂Cu₃O_{7-δ} polycrystals. / A. L. Solovjov, **V. B. Stepanov**, Yu. A. Kolesnichenko // III Міжнародна конференція "ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ФМІЕ-2021" May 25–27, 2021 : book of abstracts. – Ukraine, Kyiv, 2021. – P. 28.

7. Апробація матеріалів дисертації.

Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на міжнародних та вітчизняних конференціях:

1. International Conference «PHYSICS IN UKRAINE, Low Temperature Physics - 1993» (Ukraine, Kiev, 22-27 June, 1993)
2. IV International Conference (M²S-HTSC IV) (Grenoble, France, 5 - 9 June 1994);
3. V International Conference for Young Scientists «Low Temperature Physics - 2014» (ICYS-LTP 2014) (Kharkiv, Ukraine, June 2-6, 2014 року);

4. VIII International Conference for Professionals and Young Scientists «Low Temperature Physics - 2017» (ICYS-LTP-2017) (Kharkiv, Ukraine, May 29 - June 2 2017);
5. XIV Міжнародна конференція «Фізичні явища в твердих тілах» (Харків, Україна, 3 - 5 грудня, 2019);
6. International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020" (CM & LTP 2020) (Kharkiv, Ukraine, 8-14 June, 2020);
7. III Міжнародна конференція "ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ФМІЕ-2021" (Київ, Україна, 25 – 27 травня 2021).

8. Виконані в роботі дослідження відповідають напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія», за якою дисертація подається до захисту. Отримані результати мають важливе наукове значення тому, що містять відсутню на даний час інформацію про особливості поведінки термоЕРС в купратному ВТНП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. В сполучі $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ був винайдений сильний вплив дефектів і щільності носіїв заряду на температурну залежність термоЕРС і поверхню Фермі. Результати досліджень, які представлені в дисертаційній роботі, доповнюють і розширюють існуючі уявлення про природу електронних взаємодій в ВТНП і їх вплив на поверхню Фермі.

9. Практичне та теоретичне значення дисертації.

В ході виконання дисертаційної роботи були отримані результати, що носять фундаментальний характер і сприяють розширенню існуючих уявлень про природу впливу на питомий опір, термоЕРС, флуктуаційну провідність, псевдощільину і критичні струми. Отримані дані щодо зміни термоЕРС при переході щільності носіїв заряду через квантову критичну точку в ВТНП можуть бути використані як довідкові. Результати досліджень специфіки поведінки критичних струмів в YBCO , нижче температури надпровідного переходу можуть бути використані при постановці нових експериментів для вивчення динаміки квазічастинок у НП стані у ВТНП.

Результати дисертації можуть бути рекомендовані до використання науковим організаціям, де вивчають транспортні властивості провідних та надпровідних систем, зокрема в Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України (м. Київ), в Інституті магнетизму НАН України та МОН України (м. Київ), в ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України (м. Харків), в Національному технічному університеті «Харківський Політехнічний Інститут» МОН України (м. Харків), в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна МОН України (м. Харків), Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, в Донецькому фізико-технічному інституті імені О. О. Галкіна НАН України (м. Київ).

10. Рекомендація дисертації до захисту.

Дисертаційна робота Степанова Віктора Борисовича «Транспортні властивості і термоЕРС міді і мідно-оксидних ВТНП, роль дефектів», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, є завершеною науковою працею. За своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням, робота повністю відповідає вимогам пп. 9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 зі змінами від 21 жовтня 2020 р. № 979, та відповідає напряду наукового дослідження освітньо-наукової програми ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія».

Враховуючи високий рівень виконаних досліджень, а також наукову новизну результатів дисертації та їх наукове і практичне значення, ми **рекомендуємо** дисертаційну роботу Степанова Віктора Борисовича «Транспортні властивості і термоЕРС міді і мідно-оксидних ВТНП, роль дефектів» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» з галузі знань 10 «Природничі науки».

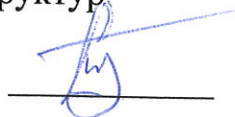
Рецензенти:

провідний науковий співробітник
відділу надпровідних і мезоскопічних структур
ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України,
д.т.н., проф.



С. І. Бондаренко

старший науковий співробітник
відділу надпровідних і мезоскопічних структур
ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України,
к.ф.-м.н., ст. досл.



О. Г. Турутанов

