

ВИСНОВОК

наукового керівника щодо виконання індивідуального плану наукової роботи, індивідуального навчального плану та роботи над дисертацією Ду Дзюньї «Модифікація опроміненням та високим тиском магніторезистивних характеристик монокристалів $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ з заданою топологією дефектної структури», яка подається на здобуття ступеня доктора філософії із галузі знань 10 — Природничі науки за спеціальністю 104 - «Фізика та астрономія»

Ду Дзюньї у 2021 році вступив до аспірантури кафедри фізики низьких температур фізичного факультету. Освітня складова індивідуального плану Ду Дзюньї виконана вчасно та у повному обсязі.

Ду Дзюньї була поставлена наукова задача встановлення фізичних закономірностей еволюції магніторезистивних характеристик у шаруватих ВТНП – сполуках сімейства $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в умовах дії екстремальних зовнішніх чинників (низької температури, високого тиску і електронного опромінення). Досліджувана сполука є надпровідником 2 роду, її електрична провідність та анізотропія провідності в температурному інтервалі від області температур надпровідного стану до кімнатних температур є чутливою до структурних змін кристалічної ґратки. Ступінь допудвання киснем і празеодимом впливає на кристалічну структуру сполуки й кардинальним чином змінює механізми електричної провідності монокристалів $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. З іншого боку, створення радіаційних дефектів різної концентрації та морфології в широкому інтервалі доз опромінення також впливає на вказані властивості досліджуваної речовини. У дисертаційній роботі досліджені закономірності та механізми впливу опромінення і високого тиску на структуру і на процеси електропереносу у сполуках системи 1 – 2 – 3 на основі сучасних уявлень про природу провідності в шаруватих кристалічних сполуках ВТНП.

Незважаючи на досить велику кількість наукових праць, присвячених вивченню впливу різного роду чинників на електротransпорт в системі $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, у науковій літературі майже відсутні праці, в яких описані результати досліджень щодо вивчення впливу опромінення на анізотропію процесів розсіювання носіїв заряду як у нормальному стані, так і поблизу надпровідного переходу, псевдощільнну і флуктуаційну аномалії, а також некогерентний електротransпорт. Відповідно до сучасних уявлень, саме ці незвичайні фізичні явища, що спостерігаються у ВТНП – сполуках у нормальному (не надпровідному) стані, є важливими для розуміння фізичної суті мікроскопічної природи ВТНП, яка ще залишається нез'ясованою, незважаючи на майже 40 – річну історію інтенсивних теоретичних і експериментальних досліджень, проведених в цій галузі фізики твердого тіла.

Опромінювання електронами ВТНП сполук дає можливість, без зміни складу зразків, створювати в них дефекти різної концентрації та морфології. Створення ансамблю дефектів заданої концентрації та природи відкриває можливості керування, зокрема, електротransпортними властивостями зразка як у нормальному, так і в надпровідному станах. Враховуючи перспективу використання високотемпературних надпровідників в

якості надчутливих датчиків та ліній передачі електричного струму з малими втратами енергії, що працюють в інтервалі температур кипіння рідкого азоту, створення так званої «керованої» дефектної структури у надпровіднику має значне фундаментальне та практичне значення. Внаслідок складності будови досліджуваної сполуки, визначення розподілу дефектів по об'єму зразка, стабільності дефектного складу та залежності транспортних параметрів від виду дефектів кристалічної структури у широкому інтервалі температур потребує значних експериментальних зусиль.

У ході виконання дисертаційної роботи було досліджено і встановлено механізми впливу опромінення високоенергетичними електронами і високого тиску на процеси переносу заряду та розсіювання його носіїв у ВТНП – сполуках сімейства $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ у широкому інтервалі температур та магнітних полів. Вивчено розподіл радіаційних дефектів, які утворюються під дією опромінення високоенергетичними електронами, та встановлено фізичні особливості релаксації цих дефектів. У підсумку було отримано такі наукові результати:

1. У результаті виконання роботи було вперше встановлено, що межі «пружних» двійників є ефективними центрами пінінга ліній магнітного потоку в монокристалах досліджуваної сполуки. Основними центрами закріплення вихорів є дислокаційні скупчення, які утворюються в вершинах «пружних» двійників. Лінії дислокацій розташовуються в площині двійників і, при збігові орієнтації магнітних вихорів та дислокаційних ліній, зменшується енергія вихорів, з'являється сила пінінга, що закріплює їх місце розташування, а, в підсумку, і приводить до збільшення критичної густини транспортного електричного струму.
2. Вперше встановлено, що, на відміну від чистих зразків $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ з оптимальним вмістом кисню, прикладання високого тиску приводить до фазового розшарування в базисній площині монокристалів $\text{Y}_{0.77}\text{Pr}_{0.23}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Встановлено, що у нормальному стані провідність є металевою та обмежується розсіюванням на фононах (режим Блоха-Грюнейзена) та дефектах. Встановлено, що гідростатичний тиск приводить до зменшення залишкового та фононного опорів. Температура Дебая та довжина когерентності не залежать від тиску.
3. Показано, що надлишкова провідність $\Delta\sigma(T)$ підкоряється експоненціальній температурній залежності в широкому діапазоні температур $T_1 < T < T^*$. Залежність $\Delta\sigma(T) \sim (1 - T/T^*) \exp(\Delta^*_{ab}/T)$ інтерпретується в термінах теорії середнього поля, де T^* - середньопольова температура переходу в псевдоцілінний стан, і температурна залежність псевдоціліни задовільно описується в межах теорії переходу БКШ-БЕК.
4. Вперше досліджено вплив середніх доз (від 10^{19} до 10^{20} cm^{-2}) опромінення швидкими електронами та зміни концентрації празеодиму в інтервалі $0.0 \leq z \leq 0.5$ на надлишкову провідність оптимально допованих киснем монокристалів $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Встановлено, що при дозах $0 \leq D \leq 6.5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ значення величини поперечної довжини когерентності $\xi_c(0)$ збільшується зі зростанням D приблизно в 3 рази та більш ніж у чотири рази у міру підвищення вмісту празеодиму у зразку до $z \approx 0.42$. При цьому в обох випадках зміщується за температурою точка 2D-3D кросовера.

5. Показано, що на відміну від випадку опромінення малими дозами ($D \leq 10^{19} \text{ cm}^{-2}$) та допущення празеодимом до концентрацій $z \leq 0.39$, опромінення середніми дозами та допущення празеодимом при більш високих концентраціях приводить до немонотонної залежності поперечної довжини когерентності $\xi_c(0)$ з характерними максимумами при $D \sim 7-8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ та $z \approx 0.42$, що може бути пов'язане із загальним пригніченням надпровідних характеристик.

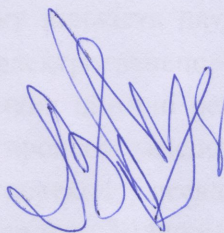
Окремо зазначу, що дослідження аспіранта Ду Дзюньї виконувались в межах підтримки програми Європейської Спільноти Horizon 2020 у рамках гранту № 644348. Робота також підтримана проектами МОН України № ДР 0116U000827 і № ДР 0111U010546.

Під час навчання в аспірантурі Ду Дзюньї набув низку фахових та допоміжних компетентностей, необхідних для науково-дослідної діяльності. Серед них знання щодо особливостей електротранспорту в новітніх надпровідних матеріалах поліфункціонального призначення; організації проведення наукових досліджень у цій галузі.

Результати підготовленої Ду Дзюньї дисертаційної роботи є оригінальними дослідженнями, що опубліковані у провідних міжнародних виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus і фахових вітчизняних виданнях.

В межах дисертаційної роботи, поставлена задача встановлення механізмів впливу процесів структурної релаксації, що виникає в умовах прикладання екстремальних зовнішніх чинників (радіаційного опромінення, гідростатичного тиску, магнітного поля) на електро- та масопереніс у монокристалічних сполуках $Y_{1-z}Pr_zBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, а також фазового розшарування та здійснення динамічних фазових переходів внаслідок легування празеодимом, розв'язна. Висновки дисертаційної роботи є статистично достовірними та науково обґрунтованими. Отримані результати добре узгоджуються з даними інших дослідників. Вважаю, що наукова складова індивідуального плану роботи аспіранта Ду Дзюньї виконана в повному обсязі та на високому рівні.

Науковий керівник, доктор
фізико-математичних наук,
професор



Руслан БОВК

Підпис Руслана Вовка засвідчує
Начальник відділу кадрів
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна.



Олена ГРОМИКО