

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**ГОРЕЛОГО Віталія Олександровича**

**«Магнеторезистивні властивості гранульованих оксидних систем зі спін-залежним тунелюванням електронів»**

на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

### **1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок із науковими програмами**

Сучасні дослідження в області нанотехнологій розширюють сферу застосування відомих матеріалів у формі нанопорошків у таких галузях промисловості, як електроніка, енергетика, металургія, обробна промисловість, оптика, медицина тощо. Промислове застосування вимагає постійного вдосконалення технології отримання наноматеріалів із заданими властивостями. Відомо, що порошки  $\text{CrO}_2$  вже понад 50 років використовуються для магнітного запису інформації. Однак у даній дисертаційній роботі автором уперше показано, що ефективну величину коерцитивної сили  $i_c$ , відповідно, щільність запису інформації на магнітних носіях можна збільшити як за рахунок зменшення розміру використовуваних наночастинок, так і впорядкування частинок, що мають анізотропію форми.

Узагальнюючи вищезазначене, можна стверджувати, що тема дисертаційної роботи Горелого В.О. є актуальною і своєчасною, оскільки присвячена експериментальному виявленню кореляції між анізотропією магніторезистивних властивостей і магнітною анізотропією пресованих порошків діоксиду хрому; виявленню впливу форми наночастинок на величину анізотропії ТМО в пресованих порошках  $\text{CrO}_2$  та впливу швидкості релаксації магнітної підсистеми на величину ТМО і вид гистерезиса ТМО.

Результати, які увійшли до дисертаційної роботи, отримані 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 відомчих тем: «Низькотемпературні транспортні властивості низьковимірних та сильно анізотропних провідних систем» (1.4.10.5.10) 2017 – 2021 рр.; «Електронний транспорт у нових провідних та надпровідних системах» (1.4.10.5.9) 2012 – 2016 рр.

Виконання цієї роботи підтримувалося стипендією Президента України, наданої аспіранту В.О. Горелому в 2015 році.

## **2. Загальна характеристика і структура роботи**

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна задача у проблемі фізики твердого тіла, пов'язана із вивченням магніторезистивних явищ у пресованих нанопорошках, складених із наночастинок половинного металу діоксиду хрому і вкритих діелектричними оболонками різної товщини та складу.

Перший розділ дисертаційної роботи містить аналіз літературних даних щодо структури та основних фізичних властивостей  $\text{CrO}_2$  температурних і магнітопольових залежностей опору і магнітоопору оксиду  $\text{Cr(IV)}$  і порошкових композитів як кооперативних систем магнітних тунельних контактів.

Другий розділ дисертації присвячений опису використаного автором експериментального устаткування, методик вимірювання опору і магнітоопору.

У третьому розділі наведені експериментальні результати щодо прояву механізмів стрибкової провідності зі змінною довжиною стрибка і температурних залежностей питомого опору в досліджуваних композитах.

У четвертому розділі подані результати дослідження магніторезистивних та магнітних властивостей зразків.

У п'ятому розділі проаналізовані результати експериментів, проведених із застосуванням магніту Капиці. Виявлені анізотропні властивості тунельного

магнітоопору порошкових зразків, що були пов'язані з анізотропією форми та магнітних властивостей наночастинок, із яких ці порошки склалися.

Шостий розділ містить результати дослідження твердих розчинів  $\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ . Проведені експериментальні вимірювання показали, що додавання домішки заліза з утворенням твердого розчину збільшує коерцитивну силу пресованого нанопорошку  $\text{CrO}_2$ , але зменшує величину його опору та тунельного магнітоопору.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше виявлений та пояснений зв'язок анізотропії величини тунельного магнітоопору наночастинок із напрямком осі пресування зразків.

2. Вперше виявлені два нових типи гістерезису ТМО, що пов'язані з перколяційним характером тунельної провідності гранульованої системи при низьких температурах та особливостями перемагнічування багатодомених наночастинок порошку.

3. Вперше досліджені резистивні та магніторезистивні властивості твердого розчину заміщення  $\text{CrO}_2\text{-Fe}$  та було показано, що додавання Fe приводить до збільшення коерцитивної сили композитів, але зменшує величину їх ТМО.

### **3. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 24 наукових працях: 7 статтях у провідних спеціалізованих наукових журналах, 1 інтернет-публікації на сайті Корнельського Університету (Condmat – США) та 16 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних наукових конференцій.

### **4. Практичне значення результатів і рекомендації щодо їх використання**

Проведене дослідження спін-поляризованих феромагнетиків (половинних металів) у формі порошкових нанокompозитів розкриває ряд цікавих фізичних

ефектів, пов'язаних з особливостями гістерезисів магнетоопору і проявом ефектів перколяції.

Одержані в роботі результати стосовно терморезистивних (температурні залежності питомого опору) і магніторезистивних (польові залежності МО) властивостей досліджених матеріалів можуть бути використані у групах і лабораторіях плівкового матеріалознавства ряду вищих навчальних закладів та дослідницьких установ.

## **5. Достовірність результатів та ступінь обґрунтування наукових положень**

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків забезпечується насамперед застосуванням сучасних методів дослідження. Були використані поширені у фізиці твердого тіла методи дослідження магніторезистивних властивостей та фізична трактовка результатів. Крім того, достовірність і обґрунтованість наукових результатів та висновків дисертаційної роботи забезпечується систематичністю і повторюваністю даних та узгодженням із результатами інших авторів, отриманих на прикладі матеріалів аналогічної архітектури і хімічного складу.

## **6. Зауваження щодо змісту і оформлення роботи**

1. У літературному огляді дисертаційної роботи наведений великий масив результатів щодо фізичних властивостей половинних металів, але якість деяких рисунків (наприклад, рис. 4, 6, 11, 21, 24) досить низька. Також ряд рисунків не мають посилань на відповідні літературні джерела.

2. Наведений у дисертації огляд літератури є поверхневим. Так, подані у підрозділі 1.7 та підрозділі 1.9 формули не мають посилань на відповідні літературні джерела. Також поверхово викладається теорія Слончевського.

3. У роботі мало уваги приділено структурно-фазовому стану досліджуваних зразків, що ускладнює інтерпретацію отриманих експериментальних результатів.

4. Середні розміри наночастинок порошоків діоксиду хрому та товщини діелектричних прошарків сесквіоксиду хрому та оксигідроксиду хрому уточнювалися за електронно-мікроскопічними зображеннями, що викликає сумніви щодо заявленої точності (таблиця 1, сторінка 56) експериментального вимірювання товщин.

5. У розділі 4 стверджується, що навіть при досить великих товщинах міжгранульних прошарків у зразку № 4 (3,6 нм) негативний МО цього зразка при низьких температурах досягає 18 %. Потрібно було б більш детально обговорити цей результат.

6. В дисертаційній роботі у розділах три та шість не зовсім достатня якість оформлення рисунків, що значно ускладнює сприйняття експериментальних результатів.

7. У тексті дисертації зустрічаються стилістичні помилки, зокрема, в деяких місцях відсутні або зайві розділові знаки, неправильне написання деяких слів.

Проте наведені зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

## **7. Загальний висновок**

Дисертаційна робота Горелого В.О. є завершеною кваліфікаційною працею, яка базується на значному обсязі експериментального матеріалу. У роботі одержані нові та науково обґрунтовані результати, що розширюють і поглиблюють розуміння фізичних процесів у системах зі спін-залежним тунелюванням електронів.

Враховуючи актуальність тематики, обґрунтованість і новизну результатів, достовірність висновків та практичну цінність, вважаю, що дисертаційна робота «Магнеторезистивні властивості гранульованих оксидних систем зі спін-залежним тунелюванням електронів» відповідає встановленим вимогам ДАК МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Горелий Віталій Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

### **ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:**

професор кафедри фізики Харківського національного університету будівництва та архітектури (ХНУБА), д-р фіз.-мат. наук, проф.



Л.В. ДЕХТЯРУК

Підпис доктора фіз.-мат. наук, професора кафедри фізики ХНУБА Леоніда Васильовича Дехтярука засвідчую:



Учений секретар ХНУБА



І. БАБІВСЬКА