

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
ГОРЄЛОГО Віталія Олександровича
«Магнеторезистивні властивості гранульованих оксидних систем зі спін-залежним тунелюванням електронів»

яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізики твердого тіла.

1. Актуальність обраної теми.

Методи порошкової металургії широко застосовуються в сучасній промисловості, але порошкові матеріали не дуже часто досліджуються в експерименті з точки зору їх електронних транспортних властивостей. Проведене дослідження, композитів нанорозмірних частинок спін-поляризованого феромагнетику – діоксиду хрому, є також інтересним з той точки зору що автор вивчає не просто транспортні властивості пресованого феромагнітного порошку, а порошку половинного металу, кожна гранула якого покрита тонким шаром діелектрика. Стрибкова провідність в такому середовищі здійснюється тільки електронами, що знаходяться в стані "спін вгору" в той час як електрони в станах "спін вниз" виявляються локалізованими. Провідність обумовлена кооперативним ефектом гіантського тунельного магнітоопору і сильно залежить від величини магнітного поля, яке прикладається до зразка. Залежність магнеторезистивного ефекту в такому середовищі від товщини та матеріалу діелектрика не вивчалася раніше, і становить інтерес для можливого застосування таких матеріалів в пристроях спін-залежної електроніки і новітніх системах зберігання інформації.

Актуальність роботи підтверджує і те що її результати отримані при виконанні держбюджетних НДР «Низькотемпературні транспортні властивості низьковимірних та сильно анізотропних провідних систем» (1.4.10.5.10) 2017 – 2021 pp. і «Електронний транспорт у нових провідних та надпровідних системах» (1.4.10.5.9) 2012 – 2016 pp. що здійснювались у відділі транспортних властивостей провідних і надпровідних систем ФТІНТ імені Б.І. Вєркіна НАН України.

Таким чином тема дослідження яка обрана Віталієм Олександровичем Горєлим є, безумовно, актуальною, а результати дисертаційної роботи мають як

наукове значення, так і, можуть мати практичне застосування в пристроях спінtronіки і магнітного запису інформації, що проектиуються.

2. Значущість для науки і практики отриманих автором результатів.

Проведені дослідження спін-поляризованих феромагнетиків (половинних металів) демонструють ряд цікавих фізичних ефектів, пов'язаних з особливостями гістерезису магнітоопору і проявом ефектів тунельної провідності на які накладаються явища перколоції. Вивчення таких "перколоційно-тунельних" ефектів з одного боку становить інтерес власне для фізики твердого тіла, оскільки ці ефекти в провідності гранульованих середовищ вимагають пояснення, а з іншого можуть найти застосування в галузі спінtronіки.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, сформульованих в дисертації.

Викладені в дисертаційній роботі результати є обґрунтованими. Вони засновані як на опублікованих в провідних наукових журналах і докладених на профільних конференціях власних дослідженнях автора, присвячених проведеним ним вимірюванням анізотропії порошкових матеріалів, так і на роботах попередніх дослідників, яким вони не суперечать, а доповнюють. У той же час проведені дослідження відрізняються новизною, оскільки зразки, вивчені в ході даної роботи, на відміну від попередніх досліджень являють собою композитні матеріали, що складаються з наночастинок CrO₂ округлої або голчастої форми, укладених в діелектричні оболонки змінної товщини і хімічного складу.

4. Структура дисертації.

Дисертація починається Вступом, в якому автор обґруntовує актуальність теми запланованого дослідження, об'єктом якого є процеси електронного транспорту в кооперативних системах нанорозмірних магнітних тунельних контактів. Ці процеси планується вивчати шляхом аналізу проведених за участю автора вимірювань температурних залежностей опору і анізотропного магнітоопору із залученням додаткових досліджень магнітних властивостей, рентгенівської та месбауерівської спектроскопії, електронної мікроскопії високої роздільної здатності і т.д.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячений огляду відомих літературних даних з фізичних властивостей діоксиду хрому, докладного опису

результатів опублікованих досліджень інших авторів, виконаних на монокристалах, тонких епітаксійних плівках і на пресованих порошкових зразках CrO_2 . В огляді основний наголос робиться на експериментальні роботи і лише дуже стисло викладаються відомі теоретичні моделі провідності тунельного контакту між двома феромагнетиками.

В другому розділі наведений стислий опис технології синтезу і результати попереднього тестування зразків і докладний опис методики електронних транспортних досліджень і використаного експериментального обладнання для вивчення анізотропії тунельного опору і магнітоопору досліджуваних композитів.

Далі йдуть **4 оригінальні розділи дисертації**, що містять отримані автором експериментальні результати з:

- тунельної провідності досліджуваних зразків у відсутності магнітного поля (**розділ 3**);
- гістерезисної поведінки магнітоопору в залежності від температури, форми наночастинок, матеріалу і товщини діелектричних оболонок для 10 досліджених зразків (**розділ 4**);
- впливу магнітної текстури, яка формується в зразках з голчастими частинками в умовах одновісного стиску, на величину анізотропного тунельного магнітоопору пресованих порошків діоксиду хрому (**розділ 5**);
- впливу малих домішок заліза з утворенням твердого розчину $\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ на величину опору і магнітоопору досліджуваних композитів (**розділ 6**).

5. Зміст дисертації, її завершеність.

Дисертація являє собою цілісне, завершене наукове дослідження, присвячене процесам електронного транспорту в кооперативних системах магнітних тунельних контактів. Основні результати роботи В.О. Горєлого викладено в 7 статтях у фахових вітчизняних та зарубіжних наукових журналах з високим імпакт-фактором. Результати досліджень представлялися на провідних міжнародних наукових конференціях і опубліковані в 16 збірниках тез. Ряд нових результатів отриманих в дисертації отримав розумну інтерпретацію і узагальнення. Текст автoreферату повністю та вірно викладає зміст дисертації. Науковий рівень дисертації є високим, отримані результати не викликають сумнівів щодо їх достовірності, а висновки дисертації є обґрунтованими.

6. Переваги і недоліки у змісті та оформленні дисертації, враження про наукову роботу здобувача в цілому.

Серед позитивних сторін дисертації перш за все слід зазначити:

- Великий обсяг отриманих експериментальних результатів і обґрунтованість їх аналізу.
- Обґрунтованість основних висновків, що стосуються впливу ефектів перколяції та магнітної анізотропії частинок в порошкових композитах на форму і характерні поля петель гістерезису магнітоопору.
- Пріоритетність результатів дисертації, які перелічені в авторефераті як основні.

Дисертаційна робота В.О. Горєлого містить деякі недоліки, відносно яких можна зробити наступні зауваження:

- Приведений в дисертації огляд літератури в деяких містах є поверхневим. Так наведені у підрозділі 1.7 та підрозділі 1.9 формулі не мають посилань на відповідні літературні джерела. Також більш ніж поверхнево, викладається теорія Слончевського.
- Слід зазначити недостатню якість деяких рисунків, наведених в огляді літератури (Рис. 4, 6, 8, 16, 17, 21);
- По суті дисертаційної роботи, є претензії до підрозділу 3.2 озаглавленому «Перколяційні ефекти в провідності пресованих порошків CrO_2 », де на Рис. 38, фактично, наведені результати незворотної зміни структури деяких зразків, в результаті якої вони припиняли проводити електричний струм. У висновках до Розділу 3 прямо вказано, що ймовірною причиною є «часткове руйнування нестабільних діелектричних оболонок при підвищенні температури». Чи доцільно вважати це науковим результатом, який варто наводити серед інших в дисертації?

7. Висновок про відповідність дисертації критеріям, встановленим положенням про «Порядок присудження вчених ступенів».

Незважаючи на зазначені недоліки, які не мають принципового характеру, дисертація Горєлого Віталія Олександровича, що подається на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, є завершеною науково-

кваліфікаційною роботою, в якій на основі аналізу проведених експериментів з вимірювання анізотропії магнітоопору порошкових матеріалів виявлений її зв'язок з анізотропією форми і магнітних властивостей наночастинок з яких вони складаються. Проведене в роботі зіставлення температурних залежностей поля максимуму магнітоопору порошкових композиційних матеріалів і величин їх коерцитивної сили, отриманих на основі вимірювань намагнічуваності, дозволило автору обґрунтовано запропонувати модель, яка пояснює зменшення характерних полів переколяційного кластера зі зниженням температури. Отримані результати, безсумнівно, матимуть практичне значення при проектуванні спін-залежних пристроїв електроніки (спінtronіки) на основі механізмів провідності в кооперативних системах магнітних тунельних контактів.

На основі викладеного вище вважаю, що дисертація В.О. Горелого за своєю актуальністю, об'ємом проведених досліджень, ступенем новизни, науковим та практичним значенням одержаних результатів, відповідає всім вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету міністрів України №567 від 24 липня 2013 року), які ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор безумовно заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізики твердого тіла.

Офіційний опонент,

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики низьких температур
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

В.І. Білецький



Підпис засвідчує
Начальник служби управління освіти і науки
персоналом

Білецький

Очеретіч