

ВІДГУК

офіційного опонента професора
кафедри фізики Харківського національного університету будівництва
та архітектури, доктора фізико-математичних наук, професора
Дехтярука Леоніда Васильовича
на дисертацію Салтикова Дмитра Ігоровича
«Особливості електротранспорту в плівкових нанорозмірних системах
на основі феромагнітних сплавів»,
яка подана на захист до разової спеціалізованої вченої Ради
ДФ 55.051.003 у Сумському державному університеті, що подана на
здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10
«Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та
наноматеріали»

Актуальність теми дослідження. Підвищена цікавість до вивчення фізичних властивостей багатошарових плівкових систем з спін-залежним розсіюванням електронів існує вже не одне десятиліття. У першу чергу це пов'язано з широким прикладним використанням ефекту гігантського магнітоопору (ГМО) в сучасній електроніці, вимірювальній та обчислювальній техніці. Зазначені структури можна поділити на дві групи: надгратки типу Fe/Cr, Co/Cu та спін-вентильні структури. У роботі наведені результати комплексних та систематичних досліджень тришарових плівок (сандвічів) спін-вентильного типу. У таких системах реалізація ефекту ГМО відбувається при зміні напрямку намагніченості у накривному магнітному шарі при внесенні провідника у зовнішнє магнітне поле. Варто зазначити, що у досліджених структурах незалежне перемагнічування магнітних шарів реалізується завдяки різній коерцитивності, а не внаслідок наявності додаткового антиферомагнітного закріплюючого шару. Саме тому сандвічі на основі сплаву Fe_xCo_{1-x} та Cu є цікавими об'єктами для дослідження у

зв'язку з перспективою їх прикладного використання внаслідок покращення характеристик (підвищення значень величини ефекту ГМО, зниження поля насичення тощо). Також варто зазначити, що існує ряд робіт, у яких наведені результати магніторезистивних досліджень надгратки $\text{Co}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}/\text{Cu}$, однак на сьогодні практично відсутні роботи, де були наведені результати досліджень тришарових структур на основі феромагнітного сплаву $\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x}$ в широкому інтервалі концентрацій компонент і товщин шарів. Це зумовлює актуальність тематики дисертаційної роботи та її мету, яка полягала у встановленні загальних закономірностей в електрофізичних та магніторезистивних властивостях плівкових систем на основі стопу $\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x}$ та Cu в умовах розмірних і концентраційних ефектів.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету та має зв'язок із науковими темами. Основні результати дисертантом були одержані в процесі виконання держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства науки і освіти України: №0115U000689 «Вплив процесів гранулізації і спін-залежного розсіювання електронів на фізичні властивості плівкових твердих розчинів» (2015-2017 рр.); №0118U003580 «Фазовий склад, електрофізичні та магніторезистивні властивості багатокомпонентних (високоентропійних) плівкових сплавів» (2018-2020 рр.), на яких він працював як виконавець.

Найвагоміші наукові результати, що містяться в дисертації, та нові факти одержані в дисертації. Дисертаційна робота Салтикова Д. І. має достатній ступінь опрацьованості своїх структурних елементів, повноти та конкретності і містить новизну. Розв'язання задач, поставлених у цій роботі, уможливило одержання наступних нових і цікавих (на мій погляд) результатів.

1. Уперше встановлено, що після поетапного термомагнітного відпалювання за температур 400, 550 та 700 К для всіх систем спостерігається перехід від ізотропного до анізотропного магнітоопору. Показано, що значення граничної температури відпалювання, після якої

відбувається зазначений перехід, залежить від товщини прошарку міді та концентрації компонент у феромагнітних шарах. Після безпосереднього відпалювання за температури 700 К плівкових систем із товщинами шарів ($d_F = 20 - 30$ нм, $d_N = 5 - 10$ нм) ізотропність польових залежностей зберігається незалежно від концентрації компонент.

2. Показано, що для систем зі спін-залежним розсіюванням електронів амплітуда ефекту ГМО збільшується в 1,2 – 1,5 рази при зниженні температури від кімнатної до 120 К (до 6% для системи $Fe_{0,1}Co_{0,9}/Cu/Fe_{0,1}Co_{0,9}$).

3. Встановлено, що залежність величини ізотропного магнітоопору від товщини немагнітного прошарку для тришарових плівок має монотонний характер. У досліджуваних сандвічах інтервал оптимальних товщин немагнітного прошарку становить 5 – 7 нм.

4. Показано, що тришарові структури $Fe_xCo_{1-x}/Cu/Fe_xCo_{1-x}/\Pi$ ($d_F = 20 - 40$ нм, $d_N = 5 - 10$ нм) можуть бути використані у прикладних розробках при створенні функціональних елементів датчиків магнітного поля.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих в дисертації. Вірогідність одержаних наукових даних забезпечується: застосуванням сучасних методик формування й обробки плівкових матеріалів, задіяним комплексом експериментальних методів для дослідження процесів у плівкових матеріалах, що базується на сучасних приладах.

Крім цього, на користь коректності ряду результатів свідчать їхня узгодженість із відомими з літератури експериментальними даними, одержаними іншими дослідниками інакшими методами.

Апробація дисертації та публікації. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на таких наукових конференціях і семінарах: Міжнародній конференції студентів і молодих учених з теоретичної та експериментальної фізики “ЕВРИКА” (Львів, 2017, 2018 рр.); Науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка»

(Суми, 2017, 2018, 2019 рр.); XVII Міжнародна Фреїківська конференція з фізики і технології тонких плівок та наносистем (Івано-Франківськ, 2017, 2019 р.); 10-а Міжнародна конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур» (Харків, 2019 р.).

Результати дисертаційної роботи відображені у 12 публікаціях: у 4 статтях у фахових виданнях України та в 1 статті у матеріалах конференції, які індексуються БД Scopus, та 7 наукових працях у матеріалах Міжнародних і Всеукраїнських конференцій.

Оформлення дисертації відповідає вимогам, що висуваються до такого виду робіт і наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Значення для науки і практики отриманих результатів. Отримані у роботі результати можуть бути використані у лабораторіях плівкового матеріалознавства дослідницьких установ НАН України та вищих навчальних закладів МОН України. Зокрема, співвідношення для розрахунку величини гігантського магнітоопору може бути застосоване при прогнозуванні його величини для сандвічів зі спін-залежним розсіюванням електронів. Створене при виконанні цієї дисертації експериментальне обладнання і розроблені методики вже використовуються в науково-дослідній роботі аспірантів і студентів та у лабораторних практикумах у Сумському державному університеті. Результати дисертаційної роботи можуть бути використані для розробки плівкових сенсорів магнітного поля.

Оцінка змісту дисертації та її завершеність. Дисертація Салтикова Д. І. є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані експериментальні результати, що дозволяють вирішити питання, пов'язані з процесами формування магнітно неоднорідних функціональних матеріалів та їх магніторезистивними і електричними властивостями.

Результати наукових досліджень автора повністю висвітлені у наукових роботах та відображені у змісті дисертаційної роботи.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

Дисертаційна робота, на мою думку, має деякі недоліки.

1. Автор мав би більш докладно обґрунтувати, чому варто було вивчати тришарові плівки з відносно товстими магнітними та немагнітними шарами, коли відомо, що ГМО зменшується при суттєвому збільшенні товщини шарів.
2. Дискусійними є результати щодо визначення впливу шорсткостей інтерфейсів на величину амплітуди ефекту ГМО, тому автор повинен більш детально проаналізувати це питання. Аналогічне зауваження стосується і питання впливу взаємної дифузії на амплітуду ефекту гігантського магнітоопору та аналіз залежності рівня ефекту від типу домішок, оскільки, як випливає з експериментальних досліджень, наявність в об'ємі металевих шарів домішок приводить або до збільшення амплітуди ефекту, або до її зменшення.
3. Як зауваження, слід відзначити невеликий температурний інтервал (120-700 К), у якому проводилися дослідження електропровідності і магніторезистивних властивостей та відсутність дослідження перпендикулярного магнітоопору.
4. У дисертації потрібно було провести вимірювання та аналіз залежностей намагніченості від температури та поля.
5. У роботі можна було провести розрахунок параметрів спін-залежного розсіювання для даних тришарових структур.
6. У тексті дисертації зустрічаються незначні граматичні та стилістичні помилки, зокрема, в деяких місцях відсутні або зайві розділові знаки тощо.

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

Висновок. Вважаю, що дисертація на тему «Особливості електротранспорту в плівкових нанорозмірних системах на основі феромагнітних сплавів», яка підготовлена за спеціальністю 105 «Прикладна

фізика та наноматеріали» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Постанови Кабінету Міністрів України № 167 від 06.03.2019 р. «Про затвердження Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», а її автор – Салтиков Дмитро Ігорович, заслуговує на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Професор кафедри фізики
Харківського національного університету
будівництва та архітектури (ХНУБА),
доктор фізико-математичних наук, професор

Л. В. ДЕХТЯРУК

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

Учений секретар ХНУБА

І. БАБІВСЬКА

