

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертацію Бездідька Олександра Валерійовича

«Фізичні процеси в функціональних елементах гнучкої електроніки на основі металевих наноструктурованих матеріалів»,

яка подана на захист до разової спеціалізованої вченої Ради ДФ 55.051.26 Сумського державного університету, що утворена МОН України від 10.11.2021 р. № 1214 для розгляду та проведення захисту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Актуальність теми дослідження.

Робота Бездідька О.В. спрямована на розв'язання важливого науково-практичного завдання, пов'язаного з комплексним дослідженням структури та електрофізичних, магнітооптичних та магніторезистивних властивостей нанорозмірних плівкових шаруватих несиметричних структур на основі феромагнітних металів Fe, Ni, Co і сплавів FeNi і (Co-Cr) та немагнітних металів Cu, Cr і Pt. Її актуальність пов'язана із тією обставиною, що на сучасному етапі становлення мікроприладобудування, у тому числі й гнучкої електроніки, дуже важливими питаннями є формування чутливих функціональних плівкових елементів, а також дослідження фізичних процесів і властивостей шаруватих систем. З такої точки зору магніто - неоднорідні плівкові матеріали, в яких має місце спін - залежне розсіювання електронів і реалізується ефект гігантського магнітоопору, мають великий інтерес як із фундаментального, так і прикладного аспекту. Оскільки на магніторезистивні властивості плівок можуть впливати різні фактори (температура підкладки або термообробки; можливість стабілізації твердих розчинів чи реалізація хімічних або фазових переходів; спінова асиметрія в суміжних шарах тощо), то в дисертації Бездідька О. В. були проведені дослідження стосовно впливу вказаних факторів на кристалічну структуру та магнітні, магніторезистивні та магніто-оптичні властивості багат шарових плівкових систем на основі Fe, Co, Cr, Pt, Cu та наночастинок NiFe_2O_4 . Із використанням сучасних методів

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
(Штамп №1)
Вх. № 2277
"06" червня 2021 р.

дослідження вказаних властивостей були отримані експериментальні результати та сформульовані висновки стосовно фазового складу багат шарових плівкових систем, його трансформації при термообробці; стосовно нетипового характеру польових залежностей магнітоопору, обумовленого різною величиною коефіцієнтів спінової асиметрії; умови досягнення максимального значення гігантського магнітоопору та реалізації анізотропного магнітоопору. Цей сучасний підхід є продиктованим як природним ходом розвитку прикладної фізики, так і потребами інженерної практики.

З такої точки зору мета роботи аргументована і отримані результати можна розглядати як вирішення актуальної задачі фізики магнітних і магніторезистивних властивостей багат шарових плівкових систем.

Актуальність теми роботи підтверджується також ще й тим, що вона пов'язана з виконанням наукових досліджень на кафедрі електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету в рамках бюджетних тематик: «Термостабільні металеві спін-клапани для реалізації спінових клапанів в компонентах гнучкої сенсорної електроніки» (2017 – 2020 рр.) №0117U00392 та «Взаємозв'язок між магніторезистивними і магнітними властивостями та електронною структурою багатокomпонентних плівкових сплавів» (2020 – 2022 рр.) № 0120U102005 та виконанням робіт згідно Грантом Польської академії наук для участі у роботі LIX Школи з фізики (м. Закопане, 2019 р.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Оскільки дисертаційна робота Бездідька О.В. має експериментальний характер, то достовірність отриманих результатів гарантується використанням сучасних та апробованих методів структурно-фазового аналізу плівкових матеріалів, високоточного вимірювання магніторезистивних властивостей, пов'язаних із СЗРЕ. На користь висновку про коректність результатів свідчить

також їх узгодженість із подібними вимірюваннями інших авторів.

Робота, яка виконана здобувачем, є закінченою, цілісною, фундаментальною працею, що являє добротний всеохоплюючий огляд літератури, що поєднаний з оригінальними експериментальними знахідками та коректною математичною обробкою отриманих даних. Згідно з викладеним вище обґрунтованість наукових положень, висновки результатів дослідження і рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, не підлягають сумніву, а наукові положення і висновки дисертації є обґрунтованими.

Найважливіші наукові результати, що містяться в дисертації, та нові факти отримані дисертантом.

Вирішення задач дисертації дозволило отримати ряд нових принципових результатів.

1. У багат шарових системах $[\text{Fe}(3)/\text{Pt}(3)]_n/\text{П}$ з кількістю повторюваних елементів від 2 до 8 спостерігається збільшення основних магнітних параметрів порівняно з двошаровими плівками однакової ефективної товщини. Форма і характер петлі гістерезису, а також низька коерцитивність показують можливість використання таких матеріалів у пристроях (наприклад, магнітні реле), де на відміну від датчиків різке реагування важливіше, ніж точність вимірювання.

2. Свіжосконденсовані плівкові системи $(\text{Co-Cr})/\text{Cu}/\text{Co}$ складаються із ГЦП-Co, ГЦП- т.р. $\text{Co}(\text{Cr})$ та ГЦК-Cu. Після відпалювання при температурі 700 К у плівках наявні фази α -Co, β -Co, ГЦК-Cu та α - твердий розчин $\text{Co}(\text{Cr})$. Результати дослідження дифузійних процесів показали, що у системах $(\text{Co-Cr})/\text{Cu}/\text{Co}$ в значній мірі зберігається індивідуальність шарів як в вихідному стані, так і після відпалювання при $T_{\text{відп}} = 700$ К. У відпалених плівках відбувається проникнення атомів Cr через прошарок Cu та подальша взаємодифузія атомів Co та Cr в базовому шарі.

3. У областях малих ($d_{m2} \ll d_{m1}$) та великих ($d_{m2} \gg d_{m1}$) значень товщини d_{m2} накривного магнітного шару у порівнянні з товщиною d_{m1} базового

магнітного шару сандвіча, амплітуда залежності магнітоопору має низькі значення в силу наявності ефекту шунтування. У разі виконання рівності $d_{m1} \cong d_{m2}$ ефект шунтування відсутній, і МРВ δ_{\max} набуває максимального значення.

4. Для плівкових сплавів FeNi(Cu) товщиною $d = 20 - 80$ нм і $c_{\text{FeNi}} = 50 - 90$ ат% у температурному інтервалі 120 - 400 К фіксується анізотропний характер магнітоопору з амплітудою поздовжнього та поперечного ефекту 0,02-0,5% залежно від товщини та концентрації компонент. Зниження температури вимірювання від кімнатної до 120 К призводить до збільшення величини магнітоопору в 1,2 - 2,2 рази залежно від концентрації компонент. Фазовий склад свіжосконденсованих і термостабілізованих при температурі 700 К плівкових сплавів на основі FeNi та Cu відповідає ГЦК - фазі твердого розчину FeNi(Cu) з параметром решітки $a = 0,360-0,361$ нм.

Поряд із цим можна відмітити, що проведений теоретичний аналіз та апробація отриманих співвідношень мають також нетривіальний характер і великий ступінь наукової новизни.

Апробація дисертації та публікації.

Основні положення роботи викладено та обговорено на наукових конференціях різного рівня: Міжнародна науково-технічна конференція студентів та молодих вчених «Фізика, електроніка, електротехніка» (м. Суми, 2020); Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons, June 18-21, 2018, Kazimierz Dolny, Poland; International Symposium LIV Zakopane School of Physics (Zakopane, Poland, 2019); XVII International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (Ivano-Frankivs'k, 2019); 8,9,10-th International Conference on Nanomaterials, Applications and Properties; Electronics and Informational Technologies, August 30 – September 2, 2018, Ukraine; Condensed Matter & Low temperature Physics 2020, June 8 – 14, 2020, Kharkiv, Ukraine; Magneto-optical properties of bilayer film systems based on Fe and Pt, 8-th International Conference on Nanotechnologies and Nanomaterials, August 26 – 29, 2020, Lviv, Ukraine.

Результати дисертації опубліковані у 16 працях, серед яких 9 статей, у т.ч. 4 статті, що обліковуються наукометричною базою Scopus, та відносяться до фахових видань України, 1 стаття у зарубіжному виданні, 3 статті у збірнику тез конференцій, що обліковуються наукометричною базою Scopus і 7 тез доповідей та 1 стаття, яка додатково відображає результати дисертаційної роботи.

Оформлення дисертації відповідає вимогам до такого виду робіт і наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 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 закладів вищої освіти МОН України та у дослідницьких установах НАН України. Фундаментальне значення отриманих у роботі результатів полягає в подальшому розвитку уявлень про вплив структурно-фазового стану, фазового складу та температури обробки на магніторезистивні та магніто-оптичні властивості несиметричних плівкових систем. Запропоновані теоретичні моделі гігантсько магнітоопору дають можливість кращого розуміння особливостей електронного транспорту в полікристалічних багат шарових плівкових системах. Проведені дослідження дозволяють отримати додаткову інформацію про особливості спін-залежного розсіювання електронів провідності у тришарових плівках, а також доповнити розвинуті уявлення про природу гігантського магнітоопору.

Крім цього, результати, які отримані в роботі, можуть бути використані в навчальному процесі при підготовці магістрів та докторів філософії.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності.

Дисертація, яка рецензується, є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена комплексна задача встановлення кореляції між структурно-

фазовим складом і архітектурою багатошарових плівкових матеріалів та характером спін залежного розсіювання електронів, величиною амплітуди гігантського магнітоопору або анізотропного магнітоопору і магнітними властивостями.

Результати досліджень дисертанта повністю висвітлені у наукових журнальних публікаціях, матеріалах конференцій та відображені у змісті дисертації.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

Стосовно тексту дисертації можна зробити наступні зауваження.

1. Комплексні дослідження стосовно взаємного зв'язку структурних і магнітних характеристик необхідно було б доповнити дослідженнями елементного складу, особливо для дифузійних процесів, одним із методів мікроаналізу (ВІМС, ОЕС, ЕДС і т.п.), що дозволило б краще зрозуміти роль фазоутворення (формування т.р., інтерметалідних фаз, ступеню збереження індивідуальності окремих шарів, наявність домішкових атомів із залишкової атмосфери) при формуванні властивостей багатошарових плівкових систем.
2. Хоча при теоретичному аналізі ефекту ГМО (підрозділ 4.2) були запропоновані важливі співвідношення, але вони не дозволяли отримати точне значення величини ГМО, оскільки формули (4.7), (4.10) та (4.23) містять велику кількість параметрів, які трудно або взагалі не вимірюються і розраховуються лише наближено при ряді допущень. Це дещо занижує важливість теоретичних досліджень.
3. У роботі не знайшло місця пояснення причини дуже значної відміни величини магнітоопору впорядкованих масивів наночастинок у провідній матриці Ag: для наночастинок Fe_3O_4 – 6%; NiFe_2O_4 – 10%; CoFe_2O_4 – 12% та для багатошарової структури $\text{Au}(3)/\text{Co}(20)/\text{Cu}(20)/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ – 0,1 – 0,2%.
4. По роботі можна зробити ряд зауважень редакційного характеру:
 - На стор. 24, 25, 29, 31, 130, 132 та ін. допущені стилістичні та граматичні помилки;

– Стор. 47, 52, 56, 71 та 101 мають т.зв. «висячий» характер.

Проте, наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Бездідька О. В.

Якщо зробити висновок в цілому, то можна стверджувати, що дисертація Бездідька О. В. «Фізичні процеси в функціональних елементах гнучкої електроніки на основі металевих наноструктурованих матеріалів» за спеціальністю 105 – прикладна фізика та наноматеріали відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 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» із змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 979 від 21.10.2020 та № 608 від 09.06.2021 «Про затвердження Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Бездідько Олександр Валерійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 – прикладна фізика та наноматеріали.

Офіційний опонент

завідувач кафедри фізики металів та напівпровідників

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор фізико-математичних наук, професор

Малихін С.В.

Підпис зав. каф. ФМН, доктора фіз.-мат. наук, проф. Малихіна С.В.

ЗАСВІДЧУЮ

вчений секретар Національного технічного університету

"Харківський політехнічний інститут"

Заковоротний О.Ю.

