

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Кондрахової Дар'ї Миколаївни
«Взаємний зв'язок властивостей і структури плівкових чутливих елементів
сенсорів магнітного поля»,
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Актуальність обраної теми.

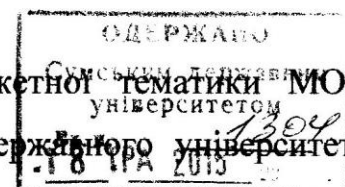
З розвитком новітніх технологій така галузь науки як спінтроніка набуває все більшого значення. Сучасний розвиток сенсорного приладобудування потребує створення плівкових датчиків зі стабільними та наперед заданими характеристиками.

При виготовленні основних функціональних елементів спінтроніки найбільш перспективними є багатошарові плівкові системи із спін-залежним розсіюванням електронів (Cu/Co, Fe/Cr, Fe/Cu, Co/Cr та ін.). Вони широко застосовуються для виготовлення первинних перетворювачів сенсорів із різноманітними характеристиками за рахунок можливості утворення різних комбінацій плівкових систем.

Для покращення характеристик датчиків із тонкоплівковими чутливими елементами актуальним залишається вивчення питання про взаємозв'язок між фізичними процесами та оптичними, магнітними і магніторезистивними властивостями тонких плівок. При цьому особливу увагу необхідно приділяти вивченню впливу зміни структурно-фазового стану під дією різноманітних чинників на магніторезистивні, магнітні та магнітооптичні властивості багатошарових плівкових систем із спін-залежним розсіюванням електронів.

Із вищезазначеного випливає доцільність вивчення взаємозв'язку кристалічної структури і магніторезистивних, магнітних та магнітооптичних властивостей багатошарових плівкових систем на основі Co і Cu або Cr та Fe і Cu або Cr як первинних перетворювачів магнітного поля. Важливим завданням також є розробка схематичної конструкції чутливого елемента датчика магнітного поля на основі плівкових систем.

Робота виконана у відповідності до держбюджетної тематики МОН України на кафедрі прикладної фізики Сумського державного університету



(2009 – 2014 рр.) та у відповідності до планів науково-технічного співробітництва між Сумським державним університетом та Інститутом фізики Університету ім. Й. Гутенберга (м. Майнц, Німеччина) (2012 р.), у яких дисертант брав участь як виконавець наукових досліджень та під час підготовки звітів.

Загальна характеристика дисертації.

У дисертаційній роботі Кондрахової Д.М. вирішена проблема впливу термообробки та концентрації магнітної компоненти на структурно-фазовий стан та магнітні, магнітооптичні і магніторезистивні властивості матеріалів первинних перетворювачів у вигляді багат шарових плівкових структур із різним типом розчинності компонент.

Перший розділ «Фізичні і технологічні основи плівкової сенсорики (літературний огляд)» присвячено аналізу фізичних процесів у первинних перетворювачах на основі плівкових систем із різним типом розчинності компонент. Особливу увагу приділено особливостям магніторезистивних та магнітооптичних властивостей плівкових систем на основі магнітних (Co або Fe) і немагнітних (Cu або Cr) компонент та наночастинок феромагнітного матеріалу, розміщених у немагнітній матриці, що визначають області їх застосування як функціональних елементів при створенні чутливих елементів датчиків магнітного поля, жорстких дисків із надвисокою щільністю запису інформації, магнітних нанопристроїв та ін. Наведений матеріал свідчить про те, що дисертант добре ознайомлений із сучасною науковою літературою, вміє використовувати системний підхід до вивчення вказаних проблем.

У другому розділі «Методика і техніка експерименту» проаналізовано експериментальні методи отримання багат шарових плівкових систем, дослідження їх кристалічної структури, фазового складу, магніторезистивних, магнітних та магнітооптичних властивостей. З метою вивчення структури, магніторезистивних і магнітооптичних властивостей плівок застосовувались сучасні методи досліджень – електроннографія, просвічуюча електронна мікроскопія високої роздільної здатності, метод енергодисперсійної

рентгенівської спектроскопії, метод вимірювання спектрів характеристичних втрат енергії легких елементів, установка для дослідження магнітооптичного ефекту Керра та автоматизований комплекс для дослідження магніторезистивних властивостей. Крім цього у роботі застосовувався SQUID-магнітометр та вібраційний магнітометр, що дозволило дослідити магнітні властивості (намагніченість насичення, залишкову намагніченість, коефіцієнт прямокутності) наночастинок Co та плівкових систем із спін-залежним розсіюванням електронів.

Третій розділ «Процеси фазоутворення в чутливих елементах у вигляді спін-вентильних систем» присвячено узагальненню експериментальних результатів дослідження впливу концентрації магнітної компоненти та термообробки на структурно-фазовий стан багат шарових плівкових систем із різним типом розчинності компонент як складових чутливих елементів сенсорів магнітного поля.

У *четвертому розділі* «Магніторезистивні властивості плівкових систем на основі Co і Cu або Cr та Fe і Cu або Cr» представлені експериментальні результати стосовно впливу температури термообробки, концентрації магнітної компоненти та геометрії вимірювання на величину магнітоопору, коерцитивної сили та чутливості опору плівкової системи до магнітного поля.

Отримані результати дозволили автору роботи зробити висновок про можливість застосування плівкових матеріалів як чутливих елементів датчиків магнітного поля із стабільними характеристиками в певному інтервалі температур.

У *п'ятому розділі* «Магнітні та магнітооптичні властивості двокомпонентних плівкових систем на основі феромагнітних металів» наведені узагальнюючі результати досліджень впливу температури відпалювання, структурно-фазового стану, товщини шарів та орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі на магнітні і магнітооптичні властивості багат шарових плівкових систем як складових чутливих елементів первинних перетворювачів. Автором було проведено аналіз одержаних результатів для всіх чотирьох типів плівкових систем типу Co/Me/Co або Fe/Me/Fe, де Me = Cr, Cu, за результатами

якого визначено можливі області їх практичного застосування та запропоновано схематичну конструкцію тонкоплівкового чутливого елемента датчика .

Аналізуючи роботу в цілому можна вказати найбільш вагомими науковими результатами фундаментального і прикладного характеру, які визначають наукову новизну роботи. До найбільш важливих з них можна віднести наступні:

1. При дослідженні магніторезистивних властивостей у плівкових системах на основі Fe і Cr встановлено, що при великих концентраціях атомів магнітної компоненти спостерігається анізотропний МО при поздовжній геометрії вимірювання з середнім значенням величини МО 0,3-0,4% та зростання величини S_v до 2,88 % / Тл за умови термовідпалювання до 500 К.

2. Для плівкової системи на основі Fe і Cu у свіжесконденсованому стані характерна анізотропія магнітоопору майже у всьому діапазоні загальної концентрації магнітної компоненти при поздовжній геометрії вимірювання та невеликі значення величини МО (0,12 %) та S_v (1,2 %/ Тл), термообробка не призводить до суттєвих змін магніторезистивних властивостей в системі.

3. Установлено присутність в оболонці наночастинок Co двох оксидних фаз CoO і Co₃O₄ та вплив обмінної взаємодії на форму та положення петлі гістерезису унаслідок дослідження структурно-фазового стану та магнітних характеристик.

4. Установлено, що в плівкових системах на основі Co і Cu спостерігається ізотропний МО, як у свіжесконденсованому стані так і після термовідпалювання, з середніми значеннями величини МО (0,3 %) та S_v (1,28 %/ Тл) при трьох геометріях вимірювання, а для плівкової системи на основі Co і Cr характерна температурно-стійка анізотропія МО при поздовжній геометрії вимірювання, найбільше значення величини МО становить 0,22 % при перпендикулярній геометрії, та значно зменшується після високотемпературного відпалювання, на відміну від величини B_c , яка зростає від 23 мТл (300 К) до 200 мТл (1000 К), відповідно.

5. Запропонована методика виготовлення чутливого елемента АМР датчика на основі двох типів плівкових систем, а саме: у вигляді багатошарової плівкової системи, в якій, в залежності від концентрації магнітної компоненти

та умов подальшої термообробки, можливе утворення т.р. або збереження індивідуальності шарів.

Достовірність результатів, отриманих в даній дисертаційній роботі, обумовлена наступним:

1. У дисертаційній роботі наведені експериментальні результати, в своїй більшості оригінальні, які одержані в процесі систематичних комплексних досліджень. При цьому застосовувався широкий спектр високоточних методів, а саме електронна мікроскопія, метод енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії, метод вимірювання спектрів характеристичних втрат енергії легких елементів, методи магнітометрії та магнітооптичного ефекту Керра.

2. Комплексним підходом до результатів досліджень особливостей магнітних, магнітооптичних та магніторезистивних властивостей плівкових систем із урахування інформації про їх структурно-фазовий стан, які мають добру відповідність з аналогічними результатами інших авторів.

Наукові положення і висновки детально **обґрунтовані**, оскільки базуються на великому об'ємі експериментальних результатів та розрахункових даних.

Практичне значення роботи.

Практична цінність дисертації Кондрахової Д.М. не викликає сумнівів, оскільки застосовані у ній методики можуть бути використані у лабораторіях плівкового матеріалознавства ВУЗів МОН України і дослідницьких установ НАН України, таких як НТУ КПІ, ННЦ ХФТІ, ХНУ імені В.Н. Каразіна, Інститут металофізики НАН України, Інститут прикладної фізики НАН України та ін. Крім цього, проведені комплексні дослідження властивостей плівкових систем із різним типом розчинності компонент можуть бути використані при формуванні плівкових матеріалів у вигляді чутливих елементів датчиків магнітного поля різного призначення з покращеними характеристиками. Запропоновані у роботі схематична конструкція та методика виготовлення первинного перетворювача на основі плівкових систем типу Co/Me/Co або Fe/Me/Fe, де Me = Cr, Cu дає можливість визначити можливі області їх

практичного застосування та спрогнозувати магніторезистивні та магнітні властивості майбутніх чутливих елементів в певному інтервалі температур.

Зауваження до роботи.

По тексті роботи можна висловити такі побажання та зауваження:

1. У розділах 4 і 5 представлена велика кількість концентраційних залежностей магнітоопору, кута Керра, коерцитивності, залишкової намагніченості, які мають якісне, а не аналітичне пояснення, тобто отримані результати не були порівняні із розрахунковими на основі відомих або запропонованих теоретичних моделей.

2. На рис. 4.1 – 4.8 та ін. використовується позначення МО, а вже у тексті чи в таблицях пояснюється його природа – анізотропний магнітоопір чи гігантський магнітоопір. На наш погляд це затрудняє сприймання тексту.

3. Точно так затрудняє сприйняття результатів роботи на перший погляд логічна структура дисертації: у розділі 3 представлені результати досліджень структурно-фазового стану плівкових систем, а в наступних розділах 4 і 5 результати дослідження магніторезистивних, магнітооптичних і магнітних властивостей чутливих елементів. Така рознесеність результатів по розділам затрудняє сприймання кореляції між структурно-фазовим складом та властивостями плівкових систем.

4. Детальне дослідження фазового складу наночастинок Co з оксидною оболонкою не знайшло свого подальшого розвитку, оскільки відсутня інформація про їх застосування при створенні чутливих елементів.

Однак вказані недоліки не стосуються результатів наукових досліджень та не впливають на загальне позитивне враження про роботу.

Висновок щодо відповідності роботи встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Кондрахової Д.М. присвячена вирішенню важливої наукової задачі, пов'язаної із впливом термообробки, концентрації магнітної компоненти та структурно-фазового стану на магнітні, магніторезистивні магнітооптичні властивості багатопарових плівкових систем і мультишарів.

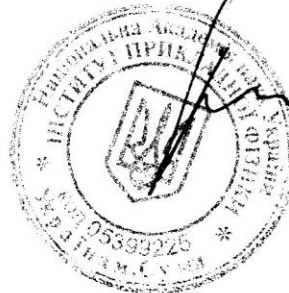
Матеріали представлені у публікаціях автора (6 статей у фахових наукових виданнях) дозволяють повністю оцінити основні результати дисертаційної роботи, а їх апробація представлена на 15 міжнародних конференціях. Зміст автореферату повністю відображує суть дисертаційної роботи та її спеціальність. Дисертація задовольняє встановленим вимогам щодо дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме п.п. 9, 11, 12 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор заслуговує присвоєння наукового ступеня за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.


Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
відділу моделювання радіаційних ефектів та
мікроструктурних перетворень
у конструкційних матеріалах
Інституту прикладної фізики НАН України,
д. ф.-м. н., професор

 Г.К. Чепурних

Підпис Чепурних Г.К. засвідчую:

Вчений секретар ІПФ НАНУ
к. ф.-м. н.



 О.І. Ворошило