

ВІДГУК

додаткового офіційного опонента на дисертаційну роботу

Воробйова Сергія Ігоровича

«Вплив процесів фазоутворення на магнітні і магніторезистивні властивості приладових структур на основі Fe (Co) та Gd»,

поданої на здобуття наукового ступеня

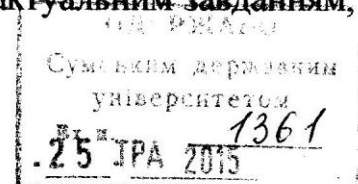
кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.01– фізика приладів, елементів і систем

Актуальність обраної теми.

Застосування наноматеріалів у вигляді мультишарів та багатошарових плівкових функціональних структур супроводжується рядом невирішених проблем, які пов'язані з відсутністю однозначної інформації щодо особливостей дифузійних процесів, фазоутворення та структурних перетворень в умовах дії різних фізичних полів, що призводять до зміни властивостей всієї наносистеми в цілому. Багатошарові плівкові структури з використанням поєднання феромагнітних і рідкісноземельних металів, зокрема Fe або Co з Gd, здобувають популярність при виготовленні нових функціональних елементів спінтроніки та наносенсорної техніки. Унікальність таких поєднань викликана особливостями взаємодії магнітних моментів їх атомів, а саме непрямым обміном, наприклад, між трьохвалентним іоном Fe, у якого 3d-оболонка заповнена наполовину і який має сферично симетричний розподіл заряду, та між рідкісноземельним атомом Gd з незаповненою 5f-оболонкою, що має сильні спин-орбітальну взаємодію та несиметричний розподіл заряду. Обмінна енергія поєднання цих атомів має виражений анізотропний характер. При певних умовах структура Fe-Gd проявляє властивості антиферомагнетика, коли обмінна взаємодія домінує над збудженнями, а параметр взаємодії менше нуля, і саме ця властивість забезпечує можливість реалізації спин-залежного розсіювання електронів у даних системах.

У зв'язку з цим встановлення взаємозв'язку між структурно-фазовим станом, магнітними і магніторезистивними властивостями плівкових систем на основі рідкісноземельних і феромагнітних металів є актуальним завданням, що і визначає мету дисертаційної роботи Воробйова С.І.



Робота виконана у відповідності до держбюджетної тематики МОН України на кафедрі прикладної фізики Сумського державного університету (20010 – 2014 рр.) та у відповідності до державної програми МОН України «Навчання студентів і аспірантів та стажування наукових і науково-педагогічних працівників у провідних вищих навчальних закладах та наукових установах за кордоном» згідно з договором між Сумським державним університетом і Університетом Лотарингії (м. Нансі, Франція) у рамках індивідуального плану у 2011 – 2012 і 2013 роках.

Загальна характеристика дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел.

У *вступі* обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета й основні задачі досліджень.

Перший розділ «Фізичні процеси у функціональних елементах на основі плівкових систем із рідкоземельних та феромагнітних металів (літературний огляд)» присвячений аналізу літературних даних з дослідження структурно-фазового стану, магнітних та магніторезистивних властивостей у плівкових системах, зокрема на основі Fe і Co та Gd. На основі цього визначено основні напрямки досліджень.

У *другому розділі* «Методика і техніка експерименту» розглянуті методи отримання тришарових плівок і мультишарів на основі Fe (Co) та Gd, контролю товщини, вивчення процесів фазоутворення, кристалічної структури та дослідження їх магнітних і магніторезистивних властивостей: пошарова конденсація у вакуумі методами електронно-променевого і магнетронного осадження; метод кварцового резонатора для вимірювання товщини; просвічуюча електронна мікроскопія і електронографія; рентгенівська дифракція та рефлектометрія; атомно- і магнітосилова мікроскопія; методи резистометрії під час відпалювання зразків у вакуумі та вимірювання магніторезистивних властивостей при паралельній, перпендикулярній і поперечній геометріях, вібраційна і надпровідна квантова (SQUID) магнітометрія.

Третій розділ «Процеси фазоутворення в одношарових плівках та системах на основі Fe (Co) та Gd» присвячено вивченню впливу на структурно-фазовий стан товщини плівкових зразків та умов термообробки. Згідно даних, які отримані методом атомно-силової мікроскопії і рентгенівської дифракції було зроблено припущення про наявність дифузійних зон на межі поділу феромагнітний/рідкісноземельний метал.

У четвертому розділі «Магнітні властивості приладових структур на основі Fe (Co) та Gd» представлені результати експериментальних досліджень магнітних властивостей приладових структур на основі плівкових нанорозмірних систем із перехідних феромагнітних (Fe, Co) і рідкісноземельного (Gd) металів та з'ясуванню впливу на них процесів фазоутворення й орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі.

Отримані автором роботи дані про термічну стабільність магнітних характеристик дозволили зробити висновок про можливість використання таких плівкових систем у якості чутливих елементів сенсорів для створення сучасної приладової бази магнітоелектроніки.

У п'ятому розділі «Магніторезистивні властивості функціональних матеріалів на основі Fe (Co) та Gd» наведені результати досліджень впливу структурно-фазового стану і геометрії вимірювання на величину магнітоопору та коерцитивної сили одно- та багатошарових плівок на основі Fe (Co) та Gd. Зокрема, показано, що при зміні товщини прошарку з Ca-Gd залежності магнітоопору і коерцитивної сили мають осцилюючий характер, який зникає при переході прошарку Gd у кристалічний стан.

В останньому підрозділі автором проведено узагальнення результатів експериментальних досліджень та запропоновано можливі області використання плівкових систем на основі Fe (Co) та Gd як функціональної бази сучасної мікроелектроніки.

Аналізуючи роботу в цілому можна вказати найбільш вагомі наукові результати фундаментального і прикладного характеру, які визначають наукову новизну дисертації та її наукову цінність. До найбільш важливих, з нашої точки зору, можна віднести наступні, які мають практичний результат: – тришарові плівки на основі Co і Gd є перспективними матеріалами з точки

зору виготовлення чутливих елементів датчиків положення і переміщення, оскільки вони мають стабільні магнітні характеристики при зміні товщини окремих шарів і термообробки;

– мультишари на основі Co та Gd можуть бути використані як матеріал для виготовлення носіїв запису і зберігання інформації, оскільки вони мають велику швидкість перемагнічування і високу термічну стабільність у широкому діапазоні температур;

– тришарові плівки і мультишари на основі Co і Gd можна розглядати як перспективний матеріал під час виготовлення функціональних елементів АМР-датчиків, оскільки вони характеризуються високими показниками коефіцієнтів прямокутності петлі гістерезису і чутливості до магнітного поля, на які фактично не впливає термообробка до $T_e = 700$ K;

– тришарові плівки Fe/Gd/Fe можуть бути використані як функціональні елементи спін-вентильних структур, оскільки вони мають відносно високі значення коерцитивної сили.

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

1. У дисертаційній роботі Воробйова С.І. наведені експериментальні результати, у своїй більшості оригінальні, які одержані в процесі систематичних комплексних досліджень. При цьому застосовувався широкий спектр високоточних методів, а саме електронна мікроскопія, рентгенівська дифракція та рефлектометрія, вібраційна і надпровідна квантова (SQUID) магнітометрія.

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

3. Використанням автоматизованих комплексів та комп'ютерних програм при вимірюванні і обробці результатів досліджень.

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

Практичне значення роботи.

Практична цінність дисертації Воробйова С.І. не викликає сумнівів, оскільки у роботі обґрунтовано і показано можливість створення на основі тришарових плівок і мультишарів на основі Fe (Co) і Gd функціональних елементів мікроелектроніки і сенсорики. Отримані у роботі результати 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 магнетизму НАН і МОН України, Інститут прикладної фізики НАН України та ін.

Зауваження до роботи.

По тексту роботи можна висловити такі побажання та зауваження:

1. Дані про залежності магнітоопору та коерцитивної сили для тришарових плівок з прошарком з Ca-Gd від кута (див., розділ 5) представляються не системними, оскільки автор приводить лише такі залежності для плівок у свіжосконденсованому стані та не розглядає їх після відпалювання.

2. Автором незалежними методами було показано можливість утворення у дифузійній зоні феромагнітних металів і Gd аморфного твердого розчину з ферімагнітним упорядкуванням. На наш погляд цікавим, як з фундаментальної, так і практичної точки зору представляється доцільним дослідження магнітних і магніторезистивних властивостей таких твердих розчинів, що на жаль не було зроблено у роботі.

3. Робота виглядала більш переконливо, якщо б дисертант при обговоренні експериментальних результатів досліджень магнітних властивостей використав існуючі теоретичні моделі та провів порівняння експериментальних даних з розрахунковими.

4. Не зважаючи на те, що отримані у роботі результати мають практичні значення, автором роботи не було проведено дослідження вольт-амперних, частотних та ін. характеристик чутливих елементів датчиків на основі розглянутих у дисертації плівок.

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

Висновок щодо відповідності роботи встановленим вимогам.

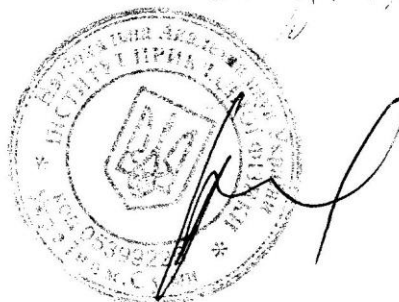
Дисертаційна робота Воробйова С.І. присвячена вирішенню важливої наукової задачі, пов'язаної із встановленням впливу термообробки, товщини прошарку з Gd і шарів феромагнітних металів, кута орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі та структурно-фазового стану на магнітні та магніторезистивні властивості багат шарових плівкових систем і мультишарів. Матеріали представлені у публікаціях автора (6 статей у наукових виданнях) дозволяють повністю оцінити основні результати дисертаційної роботи, а їх апробація представлена на 9 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 ІІФ НАНУ
к. ф.-м. н.



О.І. Ворошило