

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 теми дисертації.

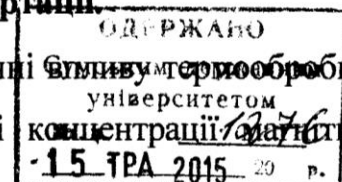
У дисертації Кондрахової Д.М. проведені комплексні експериментальні дослідження особливостей структурно-фазового стану, магніторезистивних (магнітоопір, коерцитивна сила, чутливість опору до магнітного поля), магнітних (залишкова намагніченість і намагніченість насичення, коефіцієнт прямокутності) та магнітооптичних властивостей багатошарових плівкових систем на основі Co і Cu, Co і Cr, Fe і Cu та Fe і Cr.

Багатошарові плівкові системи із спин-залежним розсіюванням електронів набули широкого застосування при створенні елементної бази сучасної електроніки як можливих матеріалів чутливих елементів сенсорів різного призначення та пристроїв пам'яті з великою щільністю запису інформації.

Оскільки на властивості та параметри таких систем суттєво впливають умови осадження, термообробка зразків, структура і фазовий стан плівок, товщина шарів та геометрії вимірювання, то у зв'язку із цим виникає необхідність поглибленого вивчення в цих системах магнітних, магніторезистивних та магнітооптичних властивостей, а також впливу на них структурно-фазового стану та термообробки. Саме такі задачі вирішувались у дисертаційній роботі Д.М. Кондрахової, що і обумовило актуальність теми її дисертації. Робота виконувалась за держбюджетною тематикою Міністерства освіти і науки України (2009 – 2014 рр.) і у відповідності до планів науково-технічного співробітництва між Сумським державним університетом та Інститутом фізики Університету ім. Й. Гутенберга (м. Майнц, Німеччина) (2012 р.), що також свідчить про актуальність тематики дисертації.

Загальна характеристика дисертації.

Мета дисертаційної роботи полягала у встановленні впливу термообробки, орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі і концентрації магнітної



компоненти на стабільність магнітних, магнітооптичних та магніторезистивних властивостей плівкових систем на основі магнітних (Co або Fe) та немагнітних або антиферромагнітних (Cu або Cr) шарів. Робота включає в себе вступ, п'ять розділів, висновки та список використаних джерел.

У *першому розділі* наведений огляд літературних даних щодо процесів фазоутворення та взаємної дифузії атомів у багатошарових плівкових системах, та узагальнені фізичні основи формування чутливих елементів сенсорів на прикладі спін-клапанних структур. Також розглянуто можливість застосування плівкових систем із спін-залежним розсіюванням електронів як чутливих елементів анізотропних магніторезистивних (AMR) датчиків.

Одержання плівкових зразків та методи їх дослідження розглянуті у *другому розділі*. Для вивчення структури і фазового складу плівкових зразків використовувалися методи електронної мікроскопії і електронографії, а у випадку малих частинок Co додатково використовувалися методи енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії та вимірювання спектрів характеристичних втрат енергії легких елементів.

Для вивчення магнітних властивостей використовувався вібраційний магнітометр VSM та SQUID-магнітометр (для наночастинок Co). Магнітооптичні властивості вивчалися за допомогою установки для дослідження магнітооптичного ефекту Керра.

Результати вивчення фазового складу та кристалічної структури плівкових систем наведені у *третьому розділі*. Зокрема наведена велика кількість інформації стосовно залежності параметрів ґраток як одношарових, так і багатошарових плівкових систем від впливу температури. На основі вивчення впливу термообробки на структурно-фазовий стан плівкових зразків встановлено утворення інтерметалідної фази CoCr у системі Co/Cr/Co та утворення матеріалу, близького за своєю структурою до псевдосплаву в системі на основі Fe і Cu.

У *четвертому розділі* наведені результати досліджень магніторезистивних властивостей в плівкових системах на основі Co і Cu або Cr та Fe і Cu або Cr та залежності величини магнітоопору і коерцитивної сили від

концентрації магнітної компоненти, геометрії вимірювання та температури відпалювання, а також розраховані значення чутливості опору цих плівок до магнітного поля.

П'ятий розділ присвячено дослідженню впливу феромагнітної компоненти, термообробки та орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі на магнітооптичні та магнітні властивості плівкових систем Fe/Cu/Fe, Fe/Cr/Fe, Co/Cu/Co та Co/Cr/Co, що можуть бути використані як чутливі елементи датчиків магнітного поля. На основі вивчення впливу цих факторів на структурно-фазовий стан, магнітні, магнітооптичні та магніторезистивні властивості досліджуваних систем автором було визначено можливі області їх практичного застосування як чутливих елементів датчиків магнітного поля.

Знайомство з оригінальними результатами дисертаційної роботи дозволяє сформулювати положення, які визначають її **наукову новизну**:

1. Встановлена кореляція між структурно-фазовим станом та величиною магнітоопору і магнітооптичним ефектом Керра багат шарових плівкових систем (на основі Co і Cu або Cr та Fe і Cu або Cr) як основи для формування первинних плівкових перетворювачів сенсорів магнітного поля.

2. Вивчені і проаналізовані можливі області застосування плівкових систем Co/Cr/Co, Co/Cu/Co, Fe/Cu/Fe та Fe/Cr/Fe як чутливих елементів датчиків магнітного поля на основі аналізу результатів досліджень їх фізичних властивостей та магнітних характеристик.

3. Установлено вплив термообробки та орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі на магнітні та магніторезистивні властивості багат шарових плівкових систем із різним типом розчинності компонент; запропоновано методику виготовлення чутливого елемента сенсора магнітного поля на основі плівкових систем із наперед заданими стабільними робочими характеристиками.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність результатів, отриманих у даній дисертаційній роботі та ступінь обґрунтованості наукових досліджень і висновків обумовлено наступним:

1. Комплексом сучасних експериментальних методів досліджень (електронна мікроскопія, електронографія, метод енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії, метод вимірювання спектрів характеристичних втрат енергії легких елементів, метод магнітооптичного ефекту Керра і магнітометрії та автоматизовані комплекси).

2. Коректність результатів підтверджується їх комплексністю і повторюваністю та узгодженістю їх із роботами інших авторів.

Наукові положення і висновки роботи є достатньо **обґрунтованими**.

Практичне значення роботи. Отримані у роботі результати можуть бути використані у групах і лабораторіях плівкового матеріалознавства ряду вищих навчальних закладів МОН України та дослідницьких установ НАН України (КНУ імені Тараса Шевченка, НТУ КПІ, ХНУ імені В.Н. Каразіна, НТУ ХПІ, Інститут металофізики НАН України, ННЦ ХФТІ). Проведені комплексні експериментальні дослідження відкривають можливість подальшого розвитку уявлень про розмірні ефекти в магнітних та магніторезистивних властивостях багат шарових плівкових структур із різним типом розчинності компонент. Запропонована у роботі методика виготовлення чутливого елемента сенсора магнітного поля на основі тришарових плівкових систем може бути використано при розробці ефективних чутливих елементів датчиків магнітного поля із наперед заданими стабільними робочими характеристиками.

Зауваження до роботи.

1. Результати досліджень наночастинок кобальту в цілому є оригінальними, але в загальному, слід відмітити, що такі та подібні дослідження проводилися раніше і іншими дослідниками. Зокрема, досить добре відомий факт пасивації наночастинок Со оксидною плівкою, трансформація структури при кімнатній температурі з низькотемпературної ГЦУ в ГЦК фазу за рахунок нанорозмірності, значна увага приділялася дослідженню магнітних властивостей цих частинок як в ізолюваному стані, так і у складі композитів тощо. Проте в роботі досить мало аргументовано, в чому полягає «першість» одержаних результатів. Крім цього, дослідження Со

наночастинок навіть у вигляді плівкових систем, як на мою думку, досить слабо пов'язані з основною метою роботи, яка досягнута при дослідженні сукупності плівкових систем, що розглядаються в роботі.

2. Як недолік роботи необхідно вказати на відсутність досліджень процесів старіння в чутливих елементах, їх ресурсу роботи і повторюваності фізичних параметрів при формуванні елементів у різних технологічних циклах.

3. Згідно висновку 2 у плівковій системі на основі Co і Cr стабілізується інтерметалід CoCr, який не фіксується іншими авторами через дуже вузьку область стехіометрії. На жаль, цей цікавий експеримент і результат не достатньо описаний в роботі, як і не вивчені електрофізичні та магніторезистивні властивості цієї фази.

4. На наш погляд, не достатньо обґрунтованим є твердження (висновок 4) про стабілізацію псевдосплаву в плівкових системах на основі Fe і Cu; такий висновок необхідно підтверджувати відповідними дифракційними і мікроскопічними дослідженнями. Крім того, виникає питання чи дійсно структура у вигляді псевдосплаву може бути застосована при створенні стабільних датчиків слабких магнітних полів (висновок 5). У чому полягає перевага цієї структури перед іншими плівковими системами?

5. У роботі зустрічаються стилістичні та граматичні неточності та помилки. Наприклад, Cr є типовим антиферомагнетиком, а не є парамагнетиком, або немагнітним матеріалом, подібно до міді, у підрозділі 3.2 стверджується "...наведені результати дослідження частинок Co", а не їх властивостей або явищ у них; на стор. 6 замість "даної роботи" необхідно писати "цієї роботи"; дисертантом одночасно використовуються терміни "термообробка" (стор. 24, 42, 53, 66, 118, 148), "термовідпалювання" (стор. 6, 21, 51, 67, 72, 94), "відпалювання" (стор. 17, 75, 96, 149), що може сприйматися як різні процеси. Також у тексті дисертації зустрічаються граматичні та стилістичні помилки, такі як відсутність або зайві розділові знаки.

Усі вказані зауваження не мають суттєвого значення і не можуть вплинути на загальну позитивну оцінку дисертації Д.М. Кондрахової.

Висновок щодо відповідності роботи встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Д.М. Кондрахової є завершеною науковою працею, що побудована на ретельній і значній за обсягом роботі автора. У цій роботі отримані нові, науково обґрунтовані результати, які розширюють та поглиблюють розуміння фізичних процесів у плівкових матеріалах в умовах дії температурних і магнітних полів.

Основні результати дисертації достатньо повно викладені у 19 публікаціях, у т.ч. 6 статтях у фахових наукових виданнях (із них 2 огляди і 2 статті в журналах, що індексуються науково-метричною базою даних Scopus) 1 стаття у матеріалах конференції та 15 тез доповідей на Всеукраїнських та Міжнародних наукових конференціях. Серед публікацій відсутні матеріали, що дублюються. Текст автореферату повністю відповідає змісту дисертації. За актуальністю теми, обґрунтованістю і достовірністю висновків і положень, новизною одержаних результатів та за їх науковим і практичним значенням 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 Кондрахова Д.М., без сумніву, заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Офіційний опонент,
професор кафедри фізики металів
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
д. ф.-м. н., професор

М.П. Семенко

Підпис Семенька М.П. засвідчую:

Декан фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



проф. М.В.Макарець