

В І Д Г У К  
офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Шабельника Юрія Михайловича  
«Фізичні властивості плівкових гранульованих сплавів на основі магнітних і  
благородних металів»  
на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

**Актуальність теми дисертації**

Останніми роками одержав розвиток новий напрямок електроніки – спінтроніка. Плівкові системи, які використовуються у приладах мікроелектроніки і спінтроніки, повинні задовольняти ряду вимог та критеріїв, таких як термічна стійкість структурно-фазового складу та стабільність характеристик у робочому діапазоні температур, деформацій, магнітних полів тощо. Дані характеристики можна реалізувати використовуючи плівкові системи типу феромагнетик / благородний метал на основі Co або Fe та Cu, Pt, Pd, Ag або Au. Плівки перерахованих металів у різних комбінаціях використовуються як чутливі елементи тонкоплівкових датчиків тиску, переміщення, температури, магнітного поля і т.п. Різними науковими групами постійно ведеться пошук нових плівкових матеріалів з покращеними властивостями. Такими матеріалами можуть бути тверді розчини (т.р.) та гранульовані сплави. Аналізуючи літературні дані, можна говорити про накопичення значного теоретичного та експериментального матеріалу з досліджень магніторезистивних властивостей даних структур. Однак маловивченими залишаються питання впливу концентрації атомів магнітної компоненти на особливості структурно-фазового стану та електрофізичні властивості, впливу термовідпалювання на утворення т.р., у тому числі з елементами гранульованого стану. Тому актуальним питанням фізики твердого тіла на даний час залишається пошук оптимальних параметрів (температура, концентрація, товщина), які впливають на утворення термічно стабільних плівкових структур на основі магнітних та благородних металів.

Із вищенаведеного випливає доцільність комплексного вивчення фізичних властивостей тонкоплівкових структур на основі Co і Fe та Ag або Au, впливу спін-залежного розсіювання електронів (СЗРЕ) на фізичні властивості гранульованих сплавів. Важливим завданням також є розробка теоретичних моделей, які дали б змогу спрогнозувати тензорезистивні або терморезистивні властивості даних структур.

Дисертаційна робота Шабельника Ю.М. виконувалася за держбюджетною тематикою Міністерства освіти і науки України (2009-2014 рр.) і у відповідності

ОДЕРЖАНО  
Сумським державним  
університетом

17. СЕР 2015 20

до планів міжнародних проектів науково-технічного співробітництва між Сумським державним університетом та Університетом Барода (м. Вадодара, Індія) та Інститутом фізики при Університеті ім. Й. Гутенберга (м. Майнц, Німеччина).

### Загальна характеристика дисертації

У дисертаційній роботі вирішена проблема впливу концентрації магнітних компонент на фазоутворення, електрофізичні, магніторезистивні та магнітооптичні властивості плівкових сплавів з елементами гранульованого стану.

Відповідно до поставленої мети автором були вирішені наступні задачі:

- вивчені умови стабілізації т. р. на основі Co або Fe і Ag або Au із елементами гранульованого стану і СЗРЕ;
- установлений взаємозв'язок між електрофізичними властивостями (термічний коефіцієнт опору (ТКО)) та концентрацією феромагнітних компонент під час утворення т. р. з елементами гранульованого стану;
- установлений взаємозв'язок між загальною концентрацією феромагнітних компонент у багатошарових плівкових системах та їх магнітоопором (МО) і магнітооптичним ефектом Керра (МОКЕ);
- вивчені тензорезистивні властивості (коефіцієнт тензочутливості (КТ)) плівкових т. р. з елементами гранульованого стану;
- розроблена та апробована феноменологічна модель для КТ гранульованого твердого розчину.

У *першому розділі* поданий огляд літературних даних щодо фазового складу та фізичних властивостей гранульованих плівкових сплавів на основі благородних і магнітних матеріалів. Зокрема, проведений аналіз даних щодо фазоутворення у гранульованих плівкових сплавах на основі Co або Fe та Ag або Au. Установлено, що у плівкових зразках після термовідпалювання до 700 К утворюється стабільний твердий розчин у немагнітній матриці Ag або Au. Також вивчені електрофізичні та магніторезистивні властивості гранульованих сплавів. Спочатку були розглянуті теоретичні моделі розмірних ефектів в електрорезистивних властивостях багатошарових плівок. Розглянута феноменологічна теоретична модель КТ для одношарових і багатошарових плівкових систем, у якій враховано, що від деформації залежить не лише середня довжина вільного пробігу, а й коефіцієнти, які характеризують взаємодію носіїв заряду з межами поділу шарів та міжкристалітними границями. Наведені експериментальні дані щодо ТКО та КТ одно- і багатошарових плівок, результати стосовно залежності магніторезистивних властивостей від концентрації магнітної компоненти й температури

термообробки. Також наведені результати дослідження гігантського магнітоопору (ГМО) інших авторів та описані приклади можливого застосування тонкоплівкових зразків як чутливих елементів у сенсориці.

Враховуючи новизну і складність поставлених задач, дисертантом приділена особлива увага до проведення досліджень при використанні сучасного наукоємного обладнання, експериментальних методик і методів, які описані у *другому розділі* дисертаційної роботи.

*Третій розділ* дисертації присвячений узагальненню результатів структурно-фазового стану плівкових сплавів з елементами гранульованого стану. Наведені результати досліджень фазового складу свіжосконденсованих і термовідпалених одношарових плівок магнітних і немагнітних металів. Установлено, що термообробка плівок благородних металів приводить лише до інтенсивних рекристалізаційних процесів, унаслідок чого розміри кристалітів збільшуються приблизно у 5 разів, у той час як у плівках Co і Fe відбувається незначне збільшення розміру кристалітів. У роботі наведені результати досліджень структурно-фазового стану плівкових гранульованих сплавів. Розглядаються процеси фазоутворення та особливості кристалічної структури плівкових систем на основі Fe і Ag або Au. Наведені узагальнені результати дослідження умов утворення т. р. з елементами гранульованого стану. Були досліджені системи із середньою атомною концентрацією  $c_{Co} = 15-90$  ат. % і  $c_{Fe} = 20-80$  ат. % та установлено, що концентрація на рівні 40–60 ат. % є оптимальною для утворення стабільного гранульованого сплаву.

Дисертантом у *четвертому розділі* представлені результати дослідження термо- і тензорезистивних властивостей і наведені концентраційні залежності для ТКО гранульованих сплавів. У цьому самому розділі наведені результати досліджень тензорезистивних властивостей одношарових плівок Co і Ag різної товщини та двокомпонентних на їх основі в діапазоні деформації  $\Delta\varepsilon_1 = (0-1)$  % та  $\Delta\varepsilon_2 = (0-2)$  %. У роботі також були досліджені тензорезистивні властивості відпалених до 800 К плівкових зразків із концентрацією атомів магнітної компоненти від 48 до 60 ат. % та наведені результати досліджень магніторезистивних і магнітооптичних властивостей. У двох геометріях вимірювання (поздовжній та поперечній) спостерігається гістерезисна поведінка магнітоопору. Величина МО у відпалених до 700 К плівкових структурах, відносно свіжосконденсованих, дещо зменшується, а після термовідпалення до  $T_c = 800$  К знову зростає. Здійснена апробація феноменологічної моделі для ТКО гранульованих плівкових сплавів та розроблена аналогічна модель для КТ.

Аналізуючи роботу в цілому, можна вказати найбільш вагомий фундаментального і прикладного характеру наукові результати, які визначають **наукову новизну** роботи.

1. Установлені умови формування гранульованих метастабільних ГЦК т. р. на

основі Co або Fe і Ag або Au при пошаровій чи одночасній конденсації і термообробці відповідних дво- чи багатошарових плівкових систем, у яких реалізується СЗРЕ.

2. Установлений вплив структурно-фазового стану на електрофізичні та магніторезистивні властивості т. р. з елементами гранульованого стану.

3. Уперше запропонована та апробована теоретична модель для КТ т. р. з елементами гранульованого стану, з якої випливає, що величина КТ здебільшого визначається тензочутливістю фрагментів т. р., оскільки в гранулах реалізується балістичне перенесення носіїв струму.

Установлена кореляція між електрофізичними або магніторезистивними властивостями та концентрацією компонент ( $c$ ) у плівкових системах, з якої випливає, що максимальні значення ГМО (0,3– 0,6 %) спостерігаються в системах із  $c = 40\text{--}60$  ат. %. У сплавах на основі Fe та Au спостерігається анізотропний магнітоопір із величиною 0,3–0,4 %.

### **Практичне значення результатів і рекомендації щодо їх використання**

Одержані в роботі результати стосовно тензоефекту, терморезистивних, магніторезистивних і магнітооптичних властивостей плівкових сплавів з елементами гранульованого стану можуть бути використані у групах і лабораторіях плівкового матеріалознавства ряду вищих навчальних закладів та дослідницьких установ. Зокрема, проведені комплексні дослідження властивостей гранульованих сплавів дозволяють розробити фізико-технологічні основи формування плівкових матеріалів у вигляді чутливих елементів сенсорів деформації, магнітного поля з покращеними характеристиками. Запропоновані у роботі теоретична модель для КТ гранульованих сплавів дає можливість спрогнозувати електрофізичні властивості майбутніх плівкових чутливих елементів.

### **Достовірність результатів та ступінь обґрунтування наукових положень**

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків забезпечується, в першу чергу, широким спектром сучасних методів досліджень, зокрема використанням автоматизованих комплексів, методів електронної мікроскопії, рентгенографії, методу магнітооптичного ефекту Керра (для дослідження магнітооптичних властивостей).

Окрім зазначеного, достовірність і обґрунтованість наукових результатів та висновків дисертаційної роботи забезпечується систематичністю і

повторюваністю отриманих результатів, задовільною відповідністю розрахункових, в рамках запропонованих моделей, і експериментальних даних та узгодження їх з результатами інших авторів.

### **Зауваження до роботи**

1. На наш погляд автор не достатньо переконливо ілюструє гранулярну структуру плівок, оскільки розрізнявальна здатність електронного мікроскопа у режимі зображення або електроннографії не дозволяє чітко зафіксувати гранули або екстрарефлекси від них на електроннограмах. Можливо у цьому випадку був сенс використати інші непрямі методи досліджень?

2. Автор у таблицях розшифрування електроннограм (№ табл.: 2.1, 3.1) вказує, в основному, точність  $\pm 0,001$  нм, хоча якість електроннограм і ширина ліній на них дуже відрізняються, що може зумовити різну точність розрахунків міжплощинних відстаней і параметрів ґратки.

3. В дисертаційній роботі не дуже чітко викладена методика апробація запропонованих феноменологічних моделей для температурного коефіцієнта опору та коефіцієнта тензочутливості. Зазначені моделі містять відносно велику кількість параметрів, які достатньо важко визначити навіть виходячи з експериментальних даних.

4. При апробації запропонованої автором феноменологічної моделі для тензочутливості гранульованих сплавів був зроблений цікавий висновок про балістичний механізм електроперенесення в гранулах (стор. 124), хоча він недостатньо підтверджений експериментально.

5. У роботі не знайшло пояснення ізоτροпність коерцитивності у тришарових плівках Co/Cu/Co, хоча відомо, що плівки Co проявляють як раз анізотропність коерцитивності.

6. У роботі присутні граматичні та стилістичні помилки. Ось деякі з них. Замість «коерцетивна сила» потрібно писати «коерцитивна сила», замість «даної роботи» потрібно писати «цієї роботи» і т.д.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Шабельника Ю.М. є завершеним науковим дослідженням, в якому вирішена проблема сучасного плівкового матеріалознавства, пов'язана із дослідженням концентраційних ефектів у електрофізичних і магніторезистивних властивостях плівкових матеріалів в умовах грануляризації.

Результати дисертації відображені у 19 публікаціях, у т.ч. 6 статтях у

фахових виданнях (із них 2 огляди і 1 стаття у журналі, що індексується наукометричною базою «Scopus»), 4 статтях в матеріалах конференцій та 13 тезах доповідей на вітчизняних та міжнародних конференціях. Текст автореферату повністю відповідає змісту дисертації.

За актуальністю теми, змістом і об'ємом, науковим рівнем, новизною та практичною цінністю дисертаційна робота Шабельника Юрія Михайловича «Фізичні властивості плівкових гранульованих сплавів на основі магнітних і благородних металів» задовольняє встановленим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,  
професор кафедри фізики Харківського  
національного університету будівництва та  
архітектури, д.ф.-м.н., професор

Л.В. Дехтярук

Підпис Дехтярука Л.В. засвідчую:

Вчений секретар  
Харківського національного  
університету будівництва та  
архітектури, к.т.н., доцент



О.П. Крот