

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Шабельник Юрій Михайлович



УДК 537.621.3; 537.9

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВКОВИХ ГРАНУЛЬОВАНИХ СПЛАВІВ
НА ОСНОВІ МАГНІТНИХ І БЛАГОРОДНИХ МЕТАЛІВ**

01.04.07 – фізика твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Суми - 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Сумському державному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – заслужений діяч науки і техніки України,
доктор фізико-математичних наук, професор
Проценко Іван Юхимович,
завідувач кафедри прикладної фізики
Сумського державного університету.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор
Татаренко Валентин Андрійович,
Інститут металофізики
ім. Г. В. Курдюмова НАН України,
заступник директора з наукової роботи;

доктор фізико-математичних наук, професор
Дехтярук Леонід Васильович,
Харківський національний університет
будівництва та архітектури,
професор кафедри фізики.

Захист відбудеться « 3 » квітня 2015 р. о 13-й годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.02 Сумського державного університету за
адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корпус ЕТ, ауд. 236.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного
університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розіслано « 27 » лютого 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І. В. Чешко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останніми роками набув розвитку новий напрямок електроніки – спінтроніка. Плівкові системи, що використовуються у приладах мікроелектроніки і спінтроніки, повинні задовольняти ряд вимог та критеріїв, таких як термічна стійкість структурно-фазового складу і стабільність характеристик у робочому діапазоні температур, деформацій, магнітних полів тощо. Ці характеристики можна реалізувати, використовуючи плівкові системи типу феромагнетик / благородний метал на основі Co або Fe та Cu, Pt, Pd, Ag або Au. Плівки перелічених металів у різних комбінаціях використовуються як чутливі елементи тонкопліткових датчиків тиску, переміщення, температури, магнітного поля та ін. Різними науковими групами постійно ведеться пошук нових плівкових матеріалів із покращеними властивостями. Такими матеріалами можуть бути тверді розчини (т. р.) та гранульовані сплави. Аналізуючи літературні дані, можна говорити про накопичений теоретичний та експериментальний матеріал із досліджень магніторезистивних властивостей цих структур. Однак маловивченими залишаються питання впливу концентрації атомів магнітної компоненти на особливості структурно-фазового стану та електрофізичні властивості, впливу термовідпалювання на утворення т. р., зокрема, з елементами гранульованого стану. Тому актуальним питанням фізики твердого тіла на цей час залишається пошук оптимальних параметрів (температура, концентрація, товщина), що впливають на утворення термічно стабільних плівкових структур на основі магнітних і благородних металів.

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

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі прикладної фізики Сумського державного університету. Основні результати були отримані у ході виконання держбюджетної НДР «Електрофізичні і магніторезистивні властивості нанорозмірних плівкових матеріалів із спін-залежним розсіюванням електронів», № 0112U001381 (2012–2014 рр.), НДР «Фазовий склад, електро- і магніторезистивні властивості плівкових матеріалів із спін-залежним розсіюванням електронів», № 0109U001387 (2009–2011 рр.) та НДР «Фазові перетворення, дифузійні процеси і магніторезистивні властивості мультишарів на основі Fe і Pd, Pt або Ag» у рамках науково-технічного співробітництва між

Сумським державним університетом та Університетом Барода (м. Вадодара, Індія) у 2012–2014 рр. та міжнародного науково-технічного співробітництва Сумського державного університету та Інституту фізики при Університеті ім. Й. Гутенберга (м. Майнц, Німеччина) (2011–2012 рр.).

Дисертант брав участь у виконанні зазначених НДР як виконавець наукових досліджень та під час підготовки проміжних і заключних звітів.

Мета і задачі досліджень. Мета дисертаційної роботи полягала у комплексному дослідженні фізичних властивостей плівкових зразків на основі Со або Fe і Ag або Au у вигляді т. р. чи гранульованого сплаву, отриманого методом пошарової або одночасної конденсації із подальшим термовідпалюванням; особливостей структурно-фазового стану, електрофізичних (терморезистивних і тензорезистивних) та магніторезистивних властивостей, ролі СЗРЕ у плівкових твердих розчинах, зокрема гранульованих.

Відповідно до поставленої мети потрібно було вирішити такі наукові задачі:

- вивчити умови стабілізації т. р. на основі Со або Fe і Ag або Au із елементами гранульованого стану і можливим СЗРЕ;
- установити взаємозв'язок між електрофізичними властивостями (термічний коефіцієнт опору (ТКО)) та концентрацією феромагнітних компонент під час утворення т. р. з елементами гранульованого стану;
- установити взаємозв'язок між загальною концентрацією феромагнітних компонент у багатшарових плівкових системах та їх магнітоопором (МО) і магнітооптичним ефектом Керра (МОКЕ);
- вивчити тензорезистивні властивості (коефіцієнт тензочутливості (КТ)) плівкових т. р. з елементами гранульованого стану;
- розробити та апробувати феноменологічну модель для КТ гранульованого т. р.

Об'єкт дослідження – процеси грануляризації т. р. та їх вплив на фізичні властивості плівкових матеріалів.

Предмет дослідження – термо- і тензорезистивні та магніторезистивні і магнітооптичні властивості плівкових т. р. на основі Со або Fe і Ag або Au з елементами гранульованого стану.

Методи дослідження – вакуумна пошарова конденсація металів, просвітлювальна електронна мікроскопія (ПЕМ) та електронографія, енергодисперсійний рентгенівський мікроаналіз (ЕДА), тензометрія, чотириточковий метод вимірювання магнітоопору, вимірювання подовжнього МОКЕ.

Наукова новизна отриманих результатів. Проведені в роботі комплексні експериментальні й теоретичні дослідження фізичних властивостей у плівкових т. р., зокрема гранульованих, дозволили отримати такі нові наукові результати:

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 багат шарових 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.

4. 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 отриманих результатів. Результати, отримані у ході проведених досліджень, дали змогу встановити вплив процесу термообробки на утворення т. р., зокрема з елементами гранульованого стану в плівкових зразках на основі Co і Fe та Ag або Au. Удосконалена методика формування т. р. шляхом пошарового осадження з подальшим термовідпаленням дає змогу отримувати стабільні т. р. з елементами гранульованого стану у матеріалах із можливим СЗРЕ на основі феромагнітних і благородних металів. Крім того, результати вивчення впливу концентрації на структурно-фазові особливості, електрофізичні, магніторезистивні та оптичні властивості мають важливе практичне значення для створення стабільних структур, що використовуються як чутливі елементи різноманітних тонкоплівкових сенсорів. Запропонована в роботі теоретична феноменологічна модель для КТ дає можливість прогнозувати тензорезистивні властивості плівкових матеріалів.

Фундаментальне значення отриманих результатів полягає у подальшому розвитку уявлень про фазоутворення, магніторезистивні та електрофізичні властивості плівкових зразків у вигляді т. р. з елементами гранульованого стану.

Особистий внесок здобувача полягає у самостійному пошуку й аналізі літературних джерел, проведенні експериментальних досліджень. Автор особисто отримував зразки, проводив дослідження структурно-фазових, електрофізичних, магніторезистивних та оптичних властивостей, обробку й аналіз отриманих результатів. Постановку задач досліджень і узагальнення результатів зроблено разом із науковим керівником д-м. фіз.-мат. наук, проф. Проценком І. Ю. В обговоренні результатів досліджень брали участь доц. Синашенко О. В., доц. Чешко І. В. та канд. фіз.-мат. наук Пазуха І. М. За консультацій д-ра фіз.-мат. наук, проф. Непійка С. О. (Інститут фізики Університету ім. Й. Гутенберга, м. Майнц, Німеччина) проведені

дослідження ефекту Керра. Особисто автором підготовлено тексти статей [5] і [18] і тез доповідей [13, 16], окремі розділи статей [4, 8, 14]. Основні наукові результати доповідались особисто автором на наукових семінарах і конференціях. Усі наукові положення й висновки, винесені на захист, належать авторові дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені та обговорені на таких конференціях: науково-технічних конференціях «Фізика, електроніка, електротехніка» (м. Суми, 2010–2014 рр.); міжнародних конференціях студентів і молодих науковців із теоретичної та експериментальної фізики «ЕВРИКА» (м. Львів, 2011–2014 рр.); міжнародних конференціях «Nanomaterials: Applications and Properties» (м. Алушта, 2012–2014 рр.); міжнародних наукових конференціях «Фізико-хімічні основи формування і модифікації мікро- та наноструктур» (м. Харків, 2011, 2012 рр.); Міжнародній конференції «HighMatTech» (м. Київ, 2011 р.); Міжнародній конференції «Clusters and Nanostructured Materials» (м. Ужгород, 2012 р.); Міжнародній конференції молодих вчених «Low Temperature Physics» (м. Харків, 2012 р.); Міжнародній конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (м. Харків, 2011 р.); Міжнародній практичній конференції «Nanotechnology and Nanomaterials» (Буковель, 2013 р.); Міжнародній конференції «Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems» (м. Івано-Франківськ, 2013 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковані у 19 працях, серед яких 6 статей у фахових наукових журналах, у т. ч. 1 у Scopus, 4 статті у матеріалах конференцій і 9 тез доповідей.

Структура і зміст роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 169 найменувань на 18 сторінках. Дисертацію викладено на 147 сторінках, із них 86 сторінок основного тексту; робота містить 58 рисунків і 19 таблиць, зокрема 41 рисунок і 17 таблиць на 36 окремих сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета й основні задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, відмічений зв'язок роботи із науковою темою та міжнародним проектом науково-технічного співробітництва. Наведена інформація про апробацію отриманих результатів, особистий внесок здобувача і структуру дисертаційної роботи.

У **першому розділі** «Фізичні властивості гранульованих плівкових сплавів (літературний огляд)» поданий огляд літературних даних щодо фазового складу та фізичних властивостей гранульованих плівкових сплавів на основі благородних і магнітних матеріалів. Зокрема, у *першому підрозділі*

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.

У *другому підрозділі* вивчені електрофізичні та магніторезистивні властивості гранульованих сплавів. Спочатку були розглянуті теоретичні моделі розмірних ефектів в електрорезистивних властивостях багат шарових плівок. Розглянута феноменологічна теоретична модель КТ для одношарових і багат шарових плівкових систем, у якій враховано, що від деформації залежить не лише СДВП, а й коефіцієнти дзеркальності, проходження межі зерен та межі поділу шарів. Наведені експериментальні дані щодо ТКО та КТ одно- і багат шарових плівок.

У *третьому підрозділі* наведені результати щодо залежності магніторезистивних властивостей від концентрації магнітної компоненти й температури термообробки. Подані також результати дослідження ГМО різними авторами. У цьому підрозділі також описані приклади можливого застосування тонкоплівкових зразків як чутливих елементів у сенсориці.

У *другому розділі* «Методика і техніка експерименту» описані методи отримання плівкових гранульованих сплавів і вивчення їх структурно-фазового стану, електрофізичних (термо- та тензорезистивних) та магніторезистивних властивостей.

Плівкові зразки були отримані методом термічного випаровування із використанням вакуумного обладнання. Для контролю товщини плівок у процесі конденсації використовувався кварцовий резонатор. Загальна товщина плівкових систем контролювалася за допомогою інтерферометра.

В цьому розділі наведена схема утворення плівкового гранульованого сплаву (рис. 1). Коефіцієнт дифузії по межах зерен набагато більший за коефіцієнт дифузії в об'ємі ($D_{мз} \geq D_{об}$). Це означає, що утворення т.р. і гранул починається на межах зерен, а вже потім в об'ємі плівкового зразка. На початковій стадії фазоутворення відбувається утворення т.р. Потім відбувається утворення гранул за рахунок надлишкової концентрації магнітної компоненти.

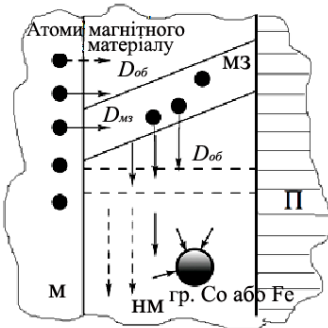


Рис. 1. Типова схема утворення т.р. і гранульованого сплаву

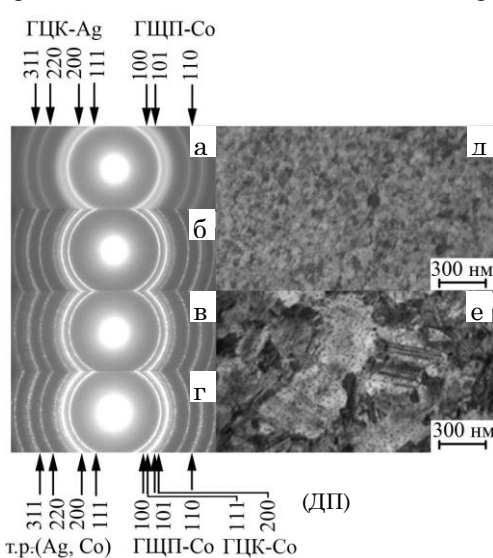
Для дослідження структурно-фазового стану плівок та фазоутворення використовувалися метод електронної мікроскопії (ПЕМ-125К) і метод енергодисперсійного аналізу (РЕММА-102 та JEOL 6610V).

Вивчення терморезистивних властивостей гранульованих плівкових

сплавів проводили в робочому об'ємі установки ВУП-5М під час термовідпалення зразків до 900 К. Експериментальні зразки конденсували на ситалові підкладки із наперед нанесеними на них контактними майданчиками. Для вивчення тензорезистивних властивостей використовували підкладки (П) двох типів – металеву із непровідним підшаром та полістиролову. Під час проведення досліджень електро- та магніторезистивних властивостей плівкових зразків застосовували автоматизовані комплекси. Вимірювання величини МО проводили у трьох геометріях (поздовжній, поперечній та перпендикулярній) за чотириточковою схемою. Магнітооптичні властивості плівкових систем вивчалися методом МОКЕ у двох геометріях вимірювання (поздовжній та перпендикулярній).

Третій розділ «Формування плівкових твердих розчинів на основі магнітних і благородних металів» складається із чотирьох підрозділів.

У *першому підрозділі* наведені результати досліджень фазового складу свіжосконденсованих і термовідпалених до $T_g = 700\text{--}900$ К одношарових плівок Co, Fe, Ag та Au. 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. Розшифрування електронogram показало, що у плівках Co у свіжосконденсованому стані стабілізується низькотемпературна гексагональна щільнопакована (ГЦП) фаза з параметрами кристалічної ґратки $a = 0,248$ і $c = 0,252$ нм та дефекти пакування, які є областями



високотемпературної ГЦК-фази. Плівки Fe у всьому діапазоні товщин мають ОЦК-фазу із середнім параметром ґратки $a = 0,287\text{--}0,288$ нм. У плівках Fe, що пройшли термообробку, електронграфічно фіксуються поряд із лініями ОЦК-Fe лінії домішкової фази Fe_3O_4 .

Рис. 2. Електронogramи (а-г) та мікроструктура (д, е) від плівки $\text{Co}(10)/\text{Ag}(20)\text{Co}(10)/\text{П}$ (у дужках зазначена товщина у нм) після конденсації (а, д) та після відпалювання до $T_g = 700$ (б), 800 (в) та 900 К (г, е)

У *другому підрозділі* наведені результати досліджень структурно-фазового стану плівкових гранульованих сплавів (рис. 2). У свіжосконденсованих зразках зберігається індивідуальність окремих шарів. Утворення т. р.-(Ag, Co) і т. р.-(Au, Co) із виділенням гранул ГЦП-Co спостерігається при термовідпаленні плівок до $T_e = 700$ К. Поряд із фазовим вивчається і елементний склад плівок. На рис. 3 зображений приклад спектра від зразка Au(20)/Co(29)/П, що був термовідпалений до $T_e = 800$ К.

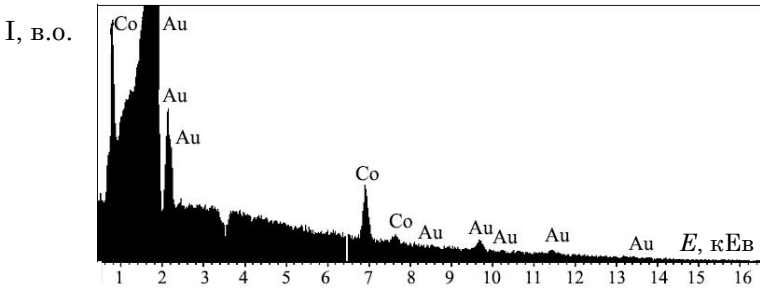


Рис. 3. Енергодисперсійний спектр від зразка Au(20)/Co(29)/П, термовідпаленого до 800 К

У *третьому підрозділі* розглядаються процеси фазоутворення та особливості кристалічної структури плівкових систем на основі Fe і Ag або Au (табл. 1). Термовідпалення до температури 700 К приводить до утворення у цій системі ГЦК т. р.-(Ag, Fe) та т. р.-(Au, Fe). Якщо в системі є надлишок атомів Fe, то частина з них іде на утворення т. р. на основі матриці Ag(Au), а частина наявна у плівковій системі у вигляді залишкового шару Fe. Параметр кристалічної ґратки т. р. становить $a_{mp} = 0,407$ нм.

Таблиця 1

Фазовий склад плівкової системи Fe(5)/Au(25)/Fe(5)/П для різних температур відпалювання

300 К	800 К	900 К
ГЦК-Au + ОЦК-Fe	т. р.-(Au, Fe) + ОЦК-Fe + + сліди Fe ₃ O ₄	т. р.-(Au, Fe) + ОЦК-Fe + + сліди Fe ₃ O ₄

Подальша термообробка до температур 800 та 900 К приводить до утворення незначної кількості оксиду заліза Fe₃O₄ (на електронограмах фіксуються лише два кільця – (200) і (311)).

У *четвертому підрозділі* наведені 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 встановлено, що концентрація на рівні 40–60 ат. % є оптимальною для

утворення стабільного гранульованого сплаву.

Четвертий розділ «Електрофізичні і магніторезистивні властивості гранульованих плівкових сплавів» складається із трьох підрозділів, присвячених результатам досліджень електрофізичних і магніторезистивних властивостей гранульованих сплавів та апробації відомої напівфеноменологічної моделі для ТКО [1*] і запропонованої у роботі моделі КТ для гранульованих сплавів.

У першому підрозділі розглянуті термо- і тензорезистивні властивості й наведені концентраційні залежності для ТКО гранульованих сплавів (рис. 4).

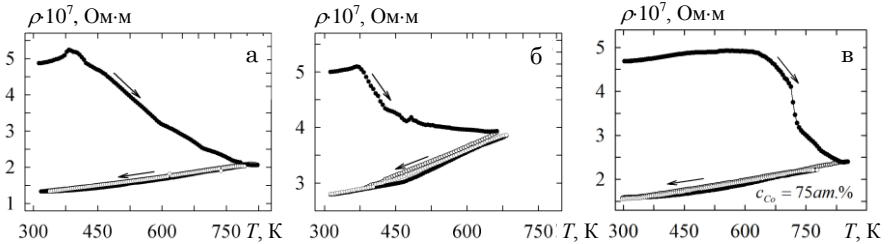


Рис. 4. Типові температурні залежності питомого опору для плівок Ag(40)/П (а), Co(40)/П (б) і плівкового сплаву на основі двошарової плівки Ag(7)/Co(15)/П (в)

У випадку концентраційних залежностей спостерігається зростання ТКО (рис. 5), що можна пояснити розмиттям інтерфейсу й утворенням т. р. з елементами гранульованого стану.

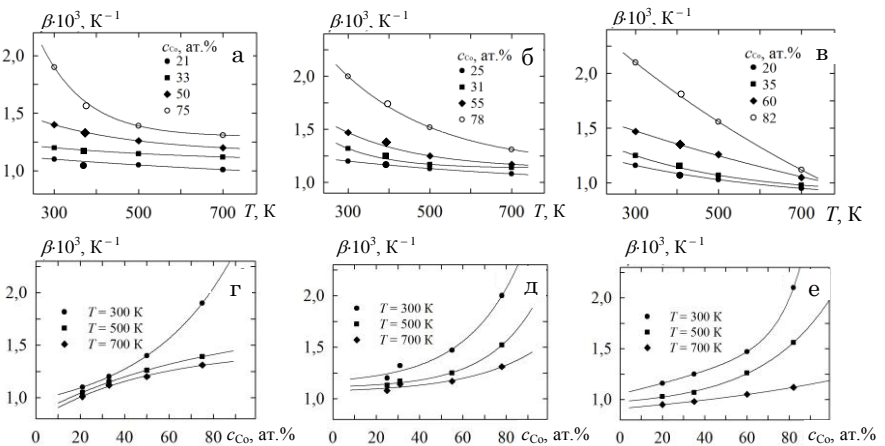


Рис. 5. Температурні (а-в) та концентраційні (г-е) залежності ТКО для двокомпонентних плівкових систем Ag/Co/П із $d_{\text{зад}} = 20$ (а, г), 40 (б, д) та 60 нм (в, е) при різних температурах відпалювання

У цьому самому підрозділі 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 $\Delta\varepsilon_2 = (0-2) \%$. На залежностях миттєвого КТ γ_{lm} від ε_l для двошарових плівок спостерігається ефект аномального збільшення КТ від деформації, що раніше спостерігалось і знайшло пояснення в роботі [2*]. Значення КТ для плівкових систем із різною загальною концентрацією Co наведені в табл. 2. Як впливає із даних цієї таблиці, експериментальні значення γ_l для двошарових плівок Ag/Co більші, ніж γ_l для одношарових плівок Ag та Co у випадку однакової загальної товщини одно- і двошарових плівкових зразків. Цей результат можна пояснити процесом розсіювання електронів провідності на межі поділу шарів, що спричиняє збільшення величини КТ.

Таблиця 2

Тензочутливість плівок на основі Ag і Co

Зразок	Загальна товщина, нм	Середнє значення γ_l для різних деформаційних циклів							$\frac{\gamma_l(\text{Co})}{\gamma_l(\text{Ag} / \text{Co})}$	$\frac{\gamma_l(\text{Ag})}{\gamma_l(\text{Ag} / \text{Co})}$
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
Ag(22)/Co(22)/П	44	4,0	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	0,50	0,47
Ag(40)/Co(20)/П	60	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	0,61	0,66
Ag(15)/Co(45)/П	60	4,8	4,5	4,2	4,1	4,0	3,9	3,8	0,38	0,41
Ag(35)/Co(40)/П	75	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	0,45	0,43
Ag(45)/Co(36)/П	81	4,4	3,3	3,0	2,9	2,8	2,7	2,7	0,42	0,40

У роботі також були досліджені тензорезистивні властивості відпалених до 800 К плівкових зразків із концентрацією атомів магнітної компоненти від 48 до 60 ат. % (відповідно товщина від 10 до 30 нм). Максимальне значення γ_l для V-го деформаційного циклу при деформації до 0,8 % становить 3,5 од. (система Au(25)/Co(15)/П), що дещо менше за відповідне значення для невідпалених зразків – 3,9 од.

У другому підрозділі наведені результати досліджень магніто-резистивних і магнітооптичних властивостей. На рис. 6 наведені приклади польових залежностей ГМО для плівкових систем на основі Co і Ag при двох геометріях вимірювання.

Рис. 7 ілюструє ефекти ГМО та АМО у плівкових системах типу Fe/Au/Fe/П. Перехід ефекту ГМО в АМО можна пояснити тим, що в більш тонкій плівці Au(15) формується менш досконала система гранул із атомів Fe, частина яких іде на формування залишкових шарів Fe.

Приклади дослідження магнітооптичних властивостей (ефект МОКЕ) і залежності магнітного моменту від зовнішнього поля для тришарових плівок Co/Au/Co і Co/Ag/Co наведені на рис. 8 і 9 відповідно. Ці рисунки ілюструють

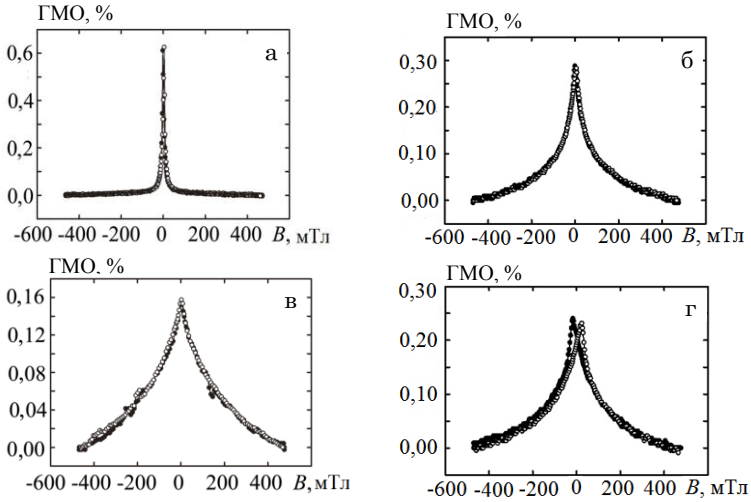


Рис. 6. Залежність МО від індукції магнітного поля для плівкових систем $\text{Co}(8)/\text{Ag}(4)/\text{Co}(10)/\Pi$ (а, в) та $\text{Co}(5)/\text{Ag}(2)/\text{Co}(5)/\Pi$ (б, г) при двох геометріях вимірювання: поздовжній (а, б) та перпендикулярній (в, г)

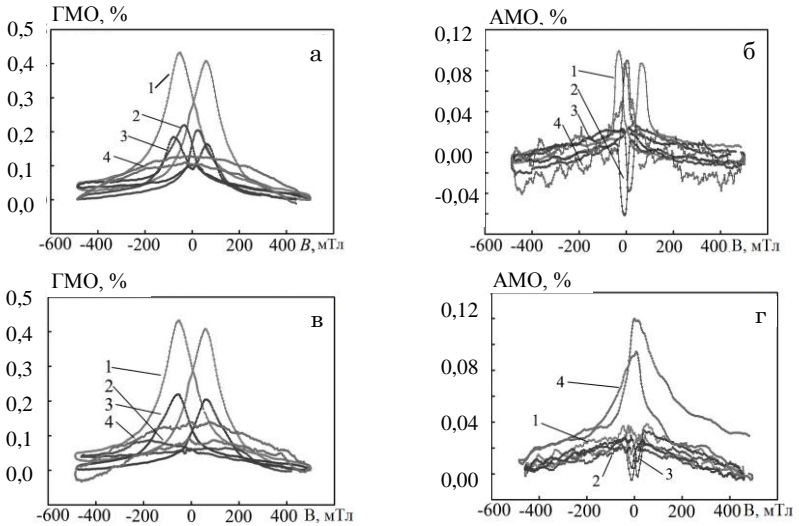


Рис.7. Залежність магнітоопору від індукції магнітного поля для плівкових систем $\text{Fe}(5)/\text{Au}(25)/\text{Fe}(5)/\Pi$ (а, в) та $\text{Fe}(10)/\text{Au}(15)/\text{Fe}(10)/\Pi$ (б, г) при температурах 300 (крива 1), 700 (2), 800 (3) і 900 К (4) у двох геометріях вимірювання: поздовжній (а,в) та перпендикулярній (б, г)

загальну тенденцію, що полягає у збільшенні коерцитивної сили та намагніченості насичення при кутах повороту зразка $60^\circ\text{--}75^\circ$ від 10 до 18 мТл (у випадку B_c) та від 8 до 22 мТл (B_S). Отримані дані корелюють із даними магніторезистивних вимірювань.

У плівкових зразках на основі Fe та Au при термовідпаленні до $T_a = 700\text{--}900$ К утворюється т. р.-(Au, Fe). 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 $T_a = 800$ К знову зростає. Такі зміни можна пояснити змінами фазового стану експериментальних зразків. Формування т. р.-(Au, Fe) приводить до збільшення МО.

У *третьому підрозділі* здійснені апробація феноменологічної моделі для ТКО гранульованих плівкових сплавів [1*] та розроблення аналогічної моделі для КТ. В основу цих феноменологічних моделей покладені такі положення: плівковий зразок моделюється у вигляді шаруватої структури, окремий шар якої є паралельним з'єднанням трубок струму; розрахунок опору гранули сферичної форми проводиться шляхом інтегрування елемента опору за об'ємом гранули.

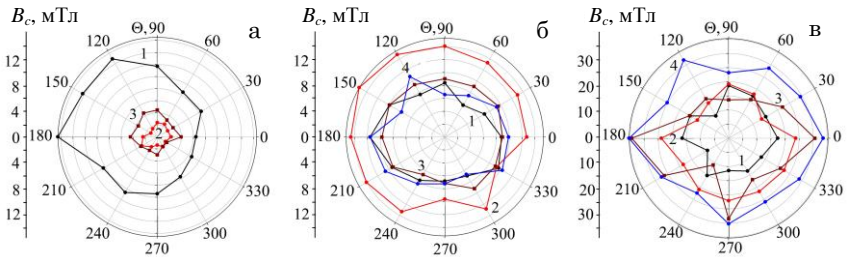


Рис. 8. Залежності коерцитивної сили B_c плівки Co/Au/Co/П від кута повороту зразка Θ у зразках із різною концентрацією Co, ат. %: 80 (а); 88 (б) та 90 (в) Температура відпалювання T_a , К: 300 (крива 1), 700 (2), 800 (3) та 900 (4)

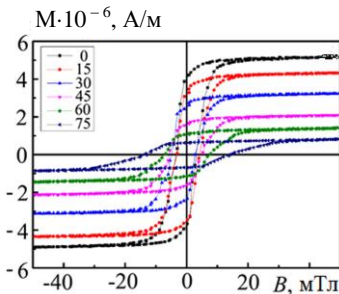


Рис. 9. Залежність магнітного моменту магнітних доменів від індукції зовнішнього магнітного поля для зразка Co(5)/Ag(2)/Co(5)/П

Співвідношення для β , отримане авторами [1*] шляхом диференціювання співвідношення для питомого опору зазначеної шаруватої структури за температурою, можна подати у такому зручному для подальшого аналізу вигляді:

$$\beta_{розр} = \beta_{мп} - \frac{4\beta_z \rho_z}{4\rho_z + \alpha\rho_{мп}} - \frac{\alpha\beta_{мп}\rho_{мп}}{4\rho_z + \alpha\rho_{мп}} + \frac{\beta_z \rho_z + \alpha\beta_{мп}\rho_{мп}}{\rho_z + \alpha\rho_{мп}}, \quad (1)$$

де $\alpha = \Delta l_{мп} / r_z$ – так званий коефіцієнт грануляризації ($\Delta l_{мп}$ – середня довжина фрагмента т. р. у трубці струму; r_z – середній радіус гранули); індекси mp і z належать відповідно до твердого розчину та матеріалу гранули.

Співвідношення (1) можна спростити у двох граничних випадках:

$$\beta_{розр} = \beta_{мп} - \frac{4\beta_z \rho_z}{\alpha\rho_{мп}} \quad \text{при } \alpha \gg 1; \quad \beta_{розр} = \beta_{мп} - \frac{\alpha\beta_{мп}\rho_{мп}}{4\rho_z}, \quad \alpha \ll 1 \quad (2)$$

та при умові, що $\alpha \cong 1$:

$$\beta_{розр} = \beta_{мп} - \frac{4\beta_z \rho_z + \beta_{мп}\rho_{мп}}{4\rho_z + \rho_{мп}} + \frac{\beta_z \rho_z + \beta_{мп}\rho_{мп}}{\rho_z + \rho_{мп}}. \quad (3)$$

Апробація цієї феноменологічної моделі була проведена на прикладі плівкових систем на основі Co та Ag, в яких після термовідпалення до 700 К і вище стабілізується т. р. з елементами гранульованого стану (табл. 3). Невідповідність експериментальних і теоретичних даних для феноменологічної моделі ТКО становить 3–12 % незалежно від методики отримання зразків.

Базове співвідношення феноменологічної моделі для КТ було отримане шляхом диференціювання співвідношення для питомого опору [1*] за деформацією:

Таблиця 3

Порівняння розрахункових величин β на основі співвідношень (2) – (3) із експериментальними даними

Плівкова система	c_{Co} , ат. %	$\rho_{Co} \cdot 10^7$, Ом·м	$\rho_{мп} \cdot 10^7$, Ом·м	$\beta_{Co} \cdot 10^3$, К ⁻¹	$\beta_{мп} \cdot 10^3$, К ⁻¹	$\beta_{розр} \cdot 10^3$, К ⁻¹	$\beta_{екс} \cdot 10^3$, К ⁻¹	$\frac{ \beta_{екс} - \beta_{розр} }{\beta_{екс}}$, %
Ag(x)/Co(y)/П								
Ag(15)/Co(7)/П	41	7,0	6,41	0,90	1,13	1,20	1,15	4,31
Ag(32) + Co(8)/П	28	6,9	5,89	0,90	1,23	1,32	1,50	11,80
Ag(12) + Co(29)/П	78	5,2	5,53	1,28	1,29	1,29	1,21	6,65
Ag(26) + Co(30)/П	60	5,4	3,48	1,28	1,29	1,29	1,25	3,02

$$\gamma_l^{\rho} = \gamma_l^{\rho_{mp}} - \frac{\rho_{mp} \gamma_l^{\rho_{mp}} \left[\rho_z + \alpha \rho_{mp} (1 - \gamma_l^{\rho_{mp}}) \right]}{(\rho_z + \alpha \rho_{mp})^2 \left(4 + \frac{4,65\pi \cdot \rho_{mp}}{\rho_z + \alpha \rho_{mp}} \right)}, \quad (4)$$

де індекс ρ – позначає величину КТ, виражену через питомий опір.

Під час аналізу (4) нами були розглянуті, як і для ТКО, три граничні випадки ($\alpha \gg 1$, $\alpha \cong 1$ і $\alpha \ll 1$). У першому випадку співвідношення (4) спрощується до вигляду:

$$\gamma_l^{\rho} = \gamma_l^{\rho_{mp}} - \left(1 - \frac{\alpha \cdot (1 - \gamma_l^{\rho_{mp}})}{4\alpha + 4,65\pi} \right), \quad (5)$$

із якого випливає, що $\gamma_l^{\rho} \cong \gamma_l^{\rho_{mp}}$ і $\gamma_l^{\rho} = 1,3 \gamma_l^{\rho_{mp}}$ при $\gamma_l^{\rho_z} \cong 1-2$ (типове значення для $\gamma_l^{\rho_z}$), тобто величина γ_l^{ρ} майже повністю визначається тензорезистивними властивостями т. р. У двох інших граничних випадках при $\alpha \cong 1$ та $\alpha \ll 1$ співвідношення (4) спрощується до вигляду, аналогічного формулі (5). Запропонована нами модель для КТ найкраще узгоджується у випадку плівкової системи на основі Ag і Co (розбіжність експериментальних і розрахункових результатів становить величину 12–18%). Крім того, ця модель якісно узгоджується із результатами роботи [2*]. Відмітимо, що отриманий нами результат можна пояснити омічним або балістичним механізмом перенесення заряду в т. р. і матеріалі гранули відповідно.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведені комплексні дослідження взаємозв'язку між структурно-фазовим станом, електрофізичними і магніторезистивними властивостями та концентрацією магнітних компонент у плівкових зразках у вигляді гранульованого сплаву, отриманого методом пошарової або одночасної конденсації із подальшою термообробкою.

У роботі отримані такі результати.

1. Дослідження структурно-фазового стану плівкових зразків на основі Co або Fe і Ag або Au, отриманих пошаровою конденсацією, показало, що у свіжосконденсованих плівкових структурах зберігається індивідуальність окремих шарів. Після відпалювання до 600–700 К у всіх зразках утворюються тверді розчини атомів Co або Fe у ґратці Ag або Au та виділяються гранули Co або Fe. Залежність параметра ґратки т. р. від загальної концентрації атомів Co або Fe не відповідає правилу Вегарда.

2. Вивчений вплив концентрації феромагнітної компоненти на структурно-фазовий стан і термо-, тензо- та магніторезистивні властивості плівкових зразків:

- удосконалена методика формування т. р. та гранульованого сплаву шляхом пошарової або одночасної конденсації компонент із подальшою термообробкою;
- встановлено, що утворення стабільного гранульованого т. р. відбувається при оптимальному значенні загальної концентрації Co або Fe $c = 40\text{--}60$ ат. %;
- аналіз температурної (інтервал 300–700 K) і концентраційної (інтервал 20–80 ат. % Co або Fe) залежностей термічного коефіцієнта опору свідчить про те, що його зменшення в першому випадку відповідає універсальній залежності ТКО від температури в металах, а його збільшення від концентрації магнітної компоненти пов'язане із поступовим розмиттям інтерфейсів і формуванням гранульованого стану;
- порівняння величини ТКО для плівкових зразків однієї й тієї самої товщини, отриманих при пошаровій чи одночасній конденсації, свідчить про те, що в них реалізується однакова гранульована структура незалежно від методики отримання зразків.

3. При дослідженні тензорезистивних властивостей плівкових систем на основі Ag і Co отримано, що перехід від пружної до пластичної деформації відбувається при $\varepsilon_l = 0,3\text{--}0,4$ % і величина КТ для двошарових систем приблизно вдвічі більша порівняно з відповідною величиною для одношарових плівок Co і Ag такої самої товщини, як і двошарової плівки. Величина КТ визначається омичним (у випадку т. р.) або балістичним (в об'ємі гранул) механізмом перенесення заряду.

4. На основі результатів досліджень магніторезистивних властивостей багатошарових плівок встановлено, що:

- у системах на основі Co і Ag або Au при загальній концентрації атомів Co від 40 до 60 ат. % при паралельній, перпендикулярній і поперечній геометрії вимірювання спостерігається ефект ГМО із максимальною амплітудою 0,3–0,6 % (системи на основі Co і Ag) та 0,1–0,2 % (системи на основі Co і Au); у плівках на основі Fe і Au проявляється анізотропний магнітоопір величиною 0,3–0,4 %, що свідчить про утворення недосконалої системи гранул у зразках такого типу;
- при загальній товщині плівкових сплавів від 15 до 70 нм і концентрації атомів магнітної компоненти (80–90 ат. %) величина коерцитивної сили змінюється від 8 до 14 мТл (системи на основі Co і Ag) та від 5 до 40 мТл (системи на основі Co і Au), причому максимальні значення коерцитивної сили спостерігаються у зразках, що були відпалені до температур 700–900 K.

5. Результати досліджень магнітооптичних властивостей методом МОКЕ свідчить про формування в термостабілізованих плівкових системах гранульованих твердих розчинів із можливим СЗРЕ та утворення стабільних доменів із результирующим вектором намагнічування, спрямованих перпендикулярно до поверхні плівки.

6. Здійснення апробації відомої феноменологічної моделі для ТКО і

запропонованої у роботі для КТ свідчить про задовільну відповідність розрахункових і експериментальних даних (розбіжність експериментальних і розрахункових даних від 10 до 15 % для ТКО і від 12 до 18 % для КТ).

СПИСОК ЦИТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1*. Феноменологічна модель електрофізичних властивостей плівкових гранульованих сплавів / [С. І. Проценко, І. В. Чешко, Л. В. Одноворець] // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка. – 2008. – № 1. – С. 22 – 27.

2*. Тищенко К. В. Особливості тензоефекту в плівках на основі ОЦК-Fe і a-Gd / К. В. Тищенко, Л. В. Одноворець, І. Ю. Проценко // Металлофиз. новейшие технол. – 2011. – Т. 33, № 8. – С. 1351–1359.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. Магніторезистивні та магнітооптичні властивості плівкових систем із можливим спін-залежним розсіюванням електронів (огляд) / І. Ю. Проценко, І. В. Чешко, Л. В. Одноворець, Д. М. Кондрахова, О. В. Пилипенко, **Ю. М. Шабельник**, О. В. Власенко // Успехи физ. метал. – 2013. – Т. 14. – С. 229–255.

2. Magneto-optical and magnetoresistive properties of solid-solution films / I. V. Cheshko, D. M. Kondrakhova, L. V. Odnodvoretz, O. V. Pylypenko, **Yu. M. Shabelnyk** // Universal J. Mater. Sci. – 2013. – V.1, № 2. – P. 25–30.

3. Структурно-фазовий стан, електрофізичні та магнеторезистивні властивості твердих розчинів у плівкових системах на основі Co і Cu або Ag та Fe і Cr або Cu (огляд) / Д. М. Кондрахова, **Ю. М. Шабельник**, О. В. Синашенко, І. Ю. Проценко // Успехи физ. метал. – 2012. – Т. 13. – С. 241–267.

4. Тензорезистивні властивості тонкоплівкових систем на основі Ag і Co / І. М. Пазуха, З. М. Макуха, **Ю. М. Шабельник**, І. Ю. Проценко // Ж. наноелектрон. фіз. – 2012. – Т. 4, № 3. – С. 03020-1 – 03020-4.

5. **Шабельник Ю. М.** Електрофізичні властивості гранульованих твердих розчинів у плівкових системах на основі Co і Ag / **Ю. М. Шабельник**, Л. В. Одноворець, І. Ю. Проценко // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2012. – Т. 10, № 3. – С. 495–502.

6. Пазуха І. М. Особливості магніторезистивних властивостей гранульованих плівкових сплавів на основі Ag та Co / І. М. Пазуха, **Ю. М. Шабельник**, І. Ю. Проценко // ФХТТ. – 2012. – Т. 13, № 4. – С. 907–915.

2. Наукові праці апробаційного характеру

7. Magnetoresistive and magneto-optical properties nanosize film systems based on Fe and Au / I. V. Cheshko, I. M. Pazukha, S. I. Protsenko, D. V. Shapko, **M. Yu. Shabelnyk** // Proc. Conf. [«Nanomaterials: Application and properties»], (Alushta, 16-23 September, 2013). – Sumy, 2013. – V. 2, № 1. – P. 01NTF40-1-01NTF40-4.

8. Phenomenological theory of strain effect in granular film alloys / L. V. Odnodvoretz, M. O. Shumakova, I. Yu. Protsenko, **Yu. M. Shabelnyk**, N. I. Shumakova // Proc. Conf. [«Nanomaterials: Application and properties»], (Lviv, 21-27 September, 2014). – Sumy, 2014. – V. 3, № 1. – P. 01NTF09-1-01NTF09-2.

9. Straine properties of granular film alloys / L. V. Odnodvoretz, M. O. Shumakova, **Yu. M. Shabelnyk**, I. Yu. Protsenko, N. I. Shumakova // Materials of XIV International conference [«Physics and technology of thin films and nanosystems»], (Ivano-Frankivsk, May, 20-25, 2013). – Ivano-Frankivsk, 2013. – P. 274.

10. Пазуха І. Магніторезистивні та магніто-оптичні властивості гранульованих плівкових сплавів на основі Au та Co / І. Пазуха, **Ю. Шабельник** // Тези доповідей Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики [«Єврика-2013»], (Львів, 15-17 травня 2013 р.). – Львів, 2013. – С. С40.

11. Фазовий склад, магніторезистивні та електрофізичні властивості плівкових систем на основі Co і Ag та Fe і Ge / О. В. Власенко, З. М. Макуха, **Ю. М. Шабельник** [та ін.] // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій»], (Запоріжжя, 19-21 вересня 2012 р.). – Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. – С. 323-324.

12. Strain properties of nanodimensional thin film systems based on Ag and Co / Z. M. Makukha, **Yu. M. Shabelnyk**, I. M. Pazukha, C. J. Panchal, I. Yu. Protsenko // Proc. Conf. [«Nanomaterials: Application and properties»], (Alushta, 17-22 September, 2012). – Sumy, 2012. – V. 1, № 2. – P. 02NFC12-1-02NFC12-3.

13. **Шабельник Ю. М.** Апробація феноменологічної моделі електрофізичних властивостей плівкових гранульованих сплавів / **Ю. М. Шабельник** // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів факультету ЕлІТ [«ФЕЕ-2011»], (Суми, 18-22 квітня, 2011 р.). – Суми, 2011. – С. 95.

14. Концентраційна і температурна залежність ТКО у двокомпонентних плівкових системах на основі Fe і Cr Co і Ag та Fe і Cu / **Ю. М. Шабельник**, О. В. Синашенко, Л. В. Однодворець, І. Ю. Проценко // Матеріали X Міжнародної конференції [«Фізичні явища в твердих тілах»], (Харків, 6-9 грудня 2011 р.). – Харків, 2011. – С. 87.

15. Электрофизические свойства пленочных гранулированных твердых растворов на основе Co и Ag или Au / С. И. Проценко, И. В. Чешко,

А. Н. Черноус, **Ю. М. Шабельник** // Тезиси докладов 3-й Международной конференции [«HighMatTech»], (Киев, 3–7 октября 2011 г.). – Киев, 2011. – С. 257.

3. Праці, які додатково відображають наукові результати

16. Запороженко А. В. Тензорезистивні властивості гранульованих плівкових сплавів / А. В. Запороженко, Ю. М. Шабельник, І. М. Пазуха // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів факультету ЕлІТ [«ФЕЕ-2013»], (Суми, 22–27 квітня, 2013 р.). – Суми, 2013. – С. 94.

17. Kondrakhova D. M. Magnetoresistive and magneto-optical properties of nanoscale thin film systems / D. M. Kondrakhova, I. Yu. Protsenko, L. V. Odnodvoret, **Yu. M. Shabelnyk**, O. V. Vlasenko // Book of abstracts of practice conference [«Nanotechnology and Nanomaterials»], (Bukovel, 25 August – 1 September, 2013). – Bukovel, Ukraine, 2013. – P. 124.

18. Шабельник Ю. М. Застосування пошарової конденсації при формуванні гранульованих плівкових структур на основі Ag та Co / Ю. М. Шабельник, І. М. Пазуха, І. Ю. Проценко // Матеріали 6-ї Міжнародної наукової конференції [«Фізико-хімічні основи формування і модифікації мікро- та наноструктур»], (Харків, 10–12 жовтня, 2012 р.). – Харків, 2012. – С. 277–280.

19. Проценко С. Утворення твердих розчинів в плівкових гранульованих сплавах на основі Co і Ag або Au / С. Проценко, І. Чешко, **Ю. Шабельник** // Тези доповідей Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики [«Єврика-2011»], (Львів, 18–20 травня 2011 р.). – Львів, 2011. – С. С36.

АНОТАЦІЯ

Шабельник Ю. М. Фізичні властивості плівкових гранульованих сплавів на основі магнітних і благородних металів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла. – Сумський державний університет, Суми, 2015.

Дисертацію присвячено комплексному дослідженню структурно-фазового стану, електрофізичних та магніторезистивних властивостей плівкових гранульованих сплавів і твердих розчинів на основі Co або Fe та Ag або Au. У роботі визначені оптимальні умови формування плівкових сплавів і досліджені процеси фазоутворення в них під час відпалювання.

Удосконалена методика отримання плівкових зразків методом пошарової конденсації з подальшою термообробкою до температури відпалювання 700–900 К.

Досліджені тензорезистивні властивості т. р. з елементами гранульованого

стану плівок, осаджених на металеві підкладки.

Визначені оптимальні загальні концентрації магнітних компонент ($c = 40\text{--}60$ ат. %) у плівкових зразках, що забезпечують утворення термічно стабільних, із максимальною величиною магнітоопору т. р. з можливим утворенням гранульованого стану Co або Fe. Максимальні значення MO спостерігаються в термовідпалених до $T_g = 900$ К зразках при поперечній геометрії на основі Co та Ag (Co(5)/Ag(20)/Co(5)/П – MO = 1,5–1,8 %, $c_{Co} = 58$ ат. %), а при $c_{Co} = 70$ ат. % MO = 0,4–0,5 %. Цей факт можна пояснити додатковими процесами розсіювання електронів провідності на межах гранул. Установлена кореляція між структурно-фазовим станом та термо-, тензо- і магніторезистивними властивостями плівкових гранульованих сплавів.

Запропонована та апробована теоретична напівфеноменологічна модель КТ для плівкових гранульованих сплавів.

Ключові слова: твердий розчин, гранульований сплав, термічний коефіцієнт опору, коефіцієнт тензочутливості, магнітоопір, МОКЕ.

АННОТАЦИЯ

Шабельник Ю. М. Физические свойства пленочных гранулированных сплавов на основе магнитных и благородных металлов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика твердого тела. – Сумский государственный университет, Сумы, 2015.

Диссертация посвящена комплексному исследованию структурно-фазового состояния, электрофизических и магниторезистивных свойств пленочных гранулированных сплавов и твердых растворов на основе Co или Fe и Ag или Au. В работе определены оптимальные условия формирования пленочных сплавов. Кроме того, исследованы процессы фазообразования в образцах при термоотжиге.

Усовершенствованная методика получения пленочных образцов методом послынной конденсации с последующей термообработкой до температуры отжига 700–900 К дала возможность получать термичностабильные структуры. Так, образцы, полученные одновременной конденсацией, были температурно нестабильны, что проявлялось при отжиге увеличением кристаллитов т. р. и, соответственно, уменьшением величины магнитосопротивления.

Исследованы тензорезистивные свойства пленочных образцов, осажденных на металлические подложки, в которых при термоотжиге формируется т. р. с элементами гранулированного состояния. Для этого были использованы металлические подложки с нанесенным специальным шаром диэлектрика «полиимид». В таких образцах наблюдается рост коэффициента

тензочувствительности (КТ) примерно в 2 раза относительно однослойной пленки металла. Увеличение КТ можно объяснить образованием в структуре образца гранул Co или Fe. На зависимостях γ_m от ε_l для пленочной системы Ag(45)/Co(36)/П наблюдается эффект аномального увеличения коэффициента тензочувствительности от деформации. Максимум на зависимости мгновенного КТ соответствует границе перехода упругая / пластическая деформация.

Определены оптимальные общие концентрации магнитных компонент ($c = 40\text{--}60$ ат. %) в пленочных образцах, обеспечивающих образование термически стабильных, с максимальной величиной магнитосопротивления (МС) т. р. с возможным образованием гранулированного состояния Co или Fe. Так, максимальные значения МС наблюдаются в термоотожженных до $T_{om} = 900$ К образцах при поперечной геометрии на основе Co и Ag (Co(5)/Ag(20)/Co(5)/П – МС = 1,5–1,8 %, $c_{Co} = 58$ ат. %), а при $c_{Co} = 70$ ат. % МС = 0,4–0,5 %. Данный факт можно объяснить дополнительными процессами рассеяния электронов проводимости на границе гранул. Таким образом, интерфейсное рассеяние способствует увеличению величины МС. Максимальное значение S_B будет наблюдаться в пленочных образцах с максимальным значением МО и минимальным значением поля насыщения. Если говорить о температуре отжига, то при 700 и 900 К чувствительность имеет минимальное значение и существенно возрастает (в 2–3 раза) при $T_{om} = 800$ К. Установлена корреляция между структурно-фазовым состоянием, термо-, тензо- и магниторезистивными свойствами пленочных гранулированных сплавов. Определено, что для пленочных структур, в которых при термоотжиге образовался т. р. наблюдается рост ТКС, КТ и МС.

Предложена и апробирована теоретическая полуфеноменологическая модель КТ для пленочных гранулированных сплавов. Результаты, рассчитанные по теоретической модели для ТКС с точностью до 12 %, согласуются с экспериментальными.

Ключевые слова: твердый раствор, гранулированный сплав, термический коэффициент сопротивления, коэффициент тензочувствительности, магнитосопротивление, МОКЭ.

ABSTRACT

Shabelnyk Yu. M. Physical properties of thin granular alloys based on magnetic and noble metals. – Manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy degree (Ph. D.) in Physics and Mathematics on speciality 01.04.07 – Solid State Physics. – Sumy State University, Sumy, 2015.

The thesis is devoted to comprehensive investigation of phase structural state, electrophysical and magnetoresistive properties of granular alloys and solid solution based on Co or Fe and Ag or Au. This paper contains the study of optimal conditions

for formation of the granular alloys that provide the least imperfection of the samples. Phase formation processes in such systems during annealing were investigated.

Method for obtaining of the film samples by condensation with subsequent heat treatment to 700–900 K temperature annealing is improved. Tensorresistive properties of the s.s. with elements of the granular state deposited on metallic substrates are investigation.

Optimal general concentration of the magnetic components ($c = 40\text{--}60$ at. %) in thin samples that provide thermally stable and the greatest value of magnetoresistance of the s.s. with the possible formation of the granular state of Co or Fe are determined. The correlation between phase structural, thermo-, tenso- and magnetoresistance properties of granular alloys based on Co or Fe and Ag or Au was found.

Theoretical semiphenomenological model of strong coefficient of the granular alloys are proposed and tested.

Key words: solid solutions, granular alloy, termal coefficient of resistance, strong coefficient, magnetoresistance, МОКЕ.

Підписано до друку 16.02.2015.

Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № 168

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.