

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Чешко Ірина Володимирівна**

УДК 621. 793. 8

**ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТАХ НА  
ОСНОВІ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМ Co/Cu(Ag, Au) ІЗ  
СПІН-ЗАЛЕЖНИМ РОЗСПІВАННЯМ ЕЛЕКТРОНІВ**

**01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

**Суми - 2009**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі прикладної фізики Сумського державного університету 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, старший науковий співробітник **Татаренко Валентин Андрійович**, провідний науковий співробітник відділу теорії твердого тіла Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України;

доктор фізико-математичних наук, професор **Шматько Олександр Олександрович**, професор кафедри надвисоких частот Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна.

Захист відбудеться « 06 » березня 2009 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.55.051.02 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корпус ЕТ, ауд. 216.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету.

Автореферат розіслано « 5 » грудня 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А.С. Опанасюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Тонкоплівкові матеріали зі спін-залежним розсіюванням електронів набули найбільш широкого застосування у сучасній електроніці та сенсорному приладобудуванні після відкриття явища гігантського магнітоопору (ГМО). На базі таких приладових матеріалів створюються сучасні елементи електроніки, які до недавнього часу вважалися цікавими лабораторними виробами. На сьогоднішній день застосування матеріалів з ГМО успішно впроваджено у виробництві накопичувачів інформації великої ємності, вимірювачів малих та великих електричних струмів, магнітовимірювачів, діагностичних приладів. Особливо перспективне використання таких матеріалів при створенні накопичувачів великої ємності. Відносна простота виготовлення структур із спін-залежним розсіюванням електронів та широкий спектр можливостей їх застосування пояснює зацікавленість до експериментальних і теоретичних досліджень фізичних процесів у даних приладових плівкових структурах. Як показують численні експериментальні результати з дослідження ГМО, залишається актуальним вивчення структурного і фазового стану плівок із спін-залежним розсіюванням електронів, особливостей дифузії та стабільності інтерфейсу між шарами або окремими фазами в них. Особливо важливе вирішення питання стабільності корисних характеристик в часі чи під дією різних фізичних полів. Дослідження цих аспектів дозволяє вирішити багато проблем, таких, як: енергозбереження, збільшення щільності логічних елементів, створення принципово нових електронних компонентів та збільшення швидкості обробки інформації.

Наведені вище факти свідчать про актуальність теми даної роботи та доцільність вивчення фізичних процесів у модельних дво- та багатошарових плівкових системах зі спін-залежним розсіюванням електронів на основі Co і Cu, Ag та Au, які використовуються у функціональних елементах мікроприладів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у відповідності до держбюджетних тем №0103U000773 „Вплив статичної деформації і температури на електрофізичні властивості багатошарових плівкових систем” (2003–2005 рр.) та №0106U001942 „Формування кристалічної структури і електрофізичних властивостей плівкових матеріалів на основі багатошарових металевих наносистем” (2006-2008 рр.), спільних проєктів науково-технічного співробітництва №М/148-2006 „Дифузійні процеси і стабільність інтерфейсів у металевих багатошарових системах” (2006-

2007 рр.) та №М/38-2008 „Формування кристалічної структури і фізичних властивостей багат шарових плівкових систем із спин-залежним розсіюванням електронів” (2008-2009 рр.) між Сумським державним університетом та Інститутом фізики САН (м. Братислава, Словаччина).

Дисертант брала участь у проведенні зазначених НДР як виконавець наукових досліджень та у підготовці проміжних і заключних звітів.

**Мета і задачі досліджень.** Мета дисертаційної роботи полягала у проведенні комплексних експериментальних і теоретичних досліджень особливостей структурно-фазового стану, дифузійних процесів, електрофізичних, магнітотранспортних і магнітооптичних властивостей функціональних елементів мікроприладів у вигляді спин-клапанної структури на основі Au, Co, Cu і Cr або багат шарових плівкових систем із спин-залежним розсіюванням електронів на основі Co і Cu, Ag та Au.

Відповідно до мети роботи були вирішені такі задачі:

- вивчені фазові перетворення і умови стабілізації твердих розчинів (т.р.) (Cu, Co) та (Au, Co) з елементами гранульованого стану у спин-клапанній структурі та встановлена кореляція між її структурно-фазовим станом і оптичними характеристиками, що були отримані методом еліпсометрії;
- встановлено взаємозв'язок між особливостями структурно-фазового стану приладових структур у вигляді багат шарових плівкових систем із спин-залежним розсіюванням електронів та їх магнітопором (МО) і магнітооптичним ефектом Керра (МОКЕ);
- вивчені електрофізичні властивості (термічний коефіцієнт опору (ТКО) і коефіцієнт тензочутливості (КТ)) багат шарових плівкових систем як чутливих елементів термо- і тензодатчиків;
- здійснено апробацію запропонованих теоретичних моделей і прогнозування на їх основі величин ТКО і КТ.

*Об'єкт дослідження:* фізичні процеси у спин-клапанних структурах і багат шарових плівкових системах.

*Предмет дослідження:* фазоутворення, дифузійні процеси, електрофізичні, магніторезистивні та магнітооптичні властивості спин-клапанних структур і багат шарових плівкових систем на основі Co і Cu, Ag та Au.

*Методи дослідження:* вакуумна пошарова конденсація металів, електронна мікроскопія і електронографія, рентгенографія (у тому числі малокутлова), вторинно-іонна мас-спектрометрія, еліпсометрія, резистивний метод при термовідпалюванні зразків у високому вакуумі, вимірювання поздовжнього магнітооптичного ефекту Керра, чотириточковий метод вимірювання магнітоопору, числовий розрахунок

та комп'ютерне моделювання термо- і тензорезистивних властивостей плівкових систем.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Проведені у роботі комплексні експериментальні і теоретичні дослідження фізичних процесів у спін-кляпанних структурах та багатошарових плівкових системах у вигляді гранульованих сплавів дозволили отримати такі нові результати:

1. Уперше запропонована методика виготовлення функціонального елемента спін-кляпанної структури у вигляді багатошарової плівкової системи, яка полягає в пошаровій конденсації нанорозмірних шарів Au, Co, Cu і Cr із відповідною послідовністю температурної обробки у процесі осадження.

2. Уперше встановлені умови формування гранульованих метастабільних ГЦК т.р. (Cu, Co), (Ag, Co) та (Au, Co) при пошаровій конденсації і термообробці відповідних дво- чи багатошарових плівкових систем, в яких реалізуються спін-залежне розсіювання електронів і термостійкі магнітні властивості.

3. Уперше проведені дослідження магнітооптичних властивостей плівкових гранульованих т.р., що були отримані шляхом пошарової конденсації, і встановлена кореляція між величиною ефекту МОКЕ і структурно-фазовим станом функціональних елементів у вигляді спін-кляпанної структури або датчика ГМО.

4. Здійснена апробація запропонованих феноменологічних моделей для ТКО і КТ двошарових плівкових систем із проміжним шаром т.р. біля інтерфейсу та шаруватих плівкових систем на основі гранульованих сплавів.

5. Здійснено комп'ютерне моделювання термо- і тензорезистивних властивостей двошарових плівкових систем із проміжним шаром т.р. біля інтерфейсу на прикладі плівок Cu/Co і Ag/Co та Au/Co.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наукові результати, отримані у ході виконання дисертаційної роботи, зокрема, запропонована методика виготовлення спін-кляпанних структур, мають важливе практичне значення для створення стійких до дії різних фізичних полів функціональних елементів на основі плівкових матеріалів із спін-залежним розсіюванням електронів, термо- і тензодатчиків на основі багатошарових плівкових систем. Результати можуть бути використані при отриманні плівкових сплавів у вигляді гранульованих т.р. методом пошарової конденсації. Запропоновані теоретичні моделі дають можливість прогнозувати електрофізичні властивості плівкових матеріалів.

Фундаментальне значення отриманих результатів полягає у подальшому розвитку знань про фазоутворення, дифузійні процеси у чутливих елементах датчиків на основі багаточарових плівкових матеріалів та про магнітооптичні властивості спін-класанних структур.

**Особистий внесок здобувача** полягає у самостійному пошуку та аналізі літературних джерел, проведенні технологічних і фізичних досліджень. Автор особисто отримувала зразки, проводила вимірювання, обробку та інтерпретацію отриманих результатів, здійснювала комп'ютерні розрахунки і моделювання. Самостійно проводила електроннографічні, електронно-мікроскопічні дослідження. При консультаціях д-ра наук Є. Майкової та д-ра наук М. Ергела (Інститут фізики САН, м. Братислава) автором були проведені еліпсометричні і рентгенографічні дослідження та вимірювання магнітооптичного ефекту Керра. Спільно з канд. фіз.-мат. наук, доц. А.І. Салтиковою (Сумський державний педагогічний університет) були проведені дослідження методом вторинно-іонної мас-спектрометрії. Постановку задач досліджень і узагальнення результатів зроблено спільно з науковим керівником д-ром фіз.-мат. наук, проф. І.Ю. Проценком. Особисто автором підготовлено три статті [2, 6, 8] та 9 тез доповідей. Матеріали робіт [1, 3-5, 7, 9] обговорювалися разом із співавторами.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені і обговорені на таких конференціях: X та XI Міжнародних конференціях „Фізика і технологія тонких плівок” (Івано-Франківськ, 2005, 2007 рр.); Харківських наукових Асамблеях (Харків, 2006, 2007, 2008 рр.); Всеукраїнських конференціях „ЕВРИКА” (Львів, 2004, 2005, 2007 рр.), Міжнародній конференції МЕТІТ (Кременчук, 2004 р.); Міжнародній конференції «Современные проблемы физики металлов» (Київ, 2008 р.); XLI та XLII Zakopane School of Physics International Symposium (Закопане, Польща, 2007, 2008 рр.); Міжнародній конференції «Фізика, технічні науки: стан, досягнення і перспективи» (Полтава, 2008 р.); XXI Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (Осака, Японія, 2008 р.), Всеукраїнській конференції молодих вчених «Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології» (Київ, 2008 р.), науково-технічних конференціях фізико-технічного факультету Сумського держуніверситету (Суми, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 рр.).

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані у 23 публікаціях, основними з яких є 18 робіт, серед них: 5 статей у фахових наукових журналах, 1 монографія у співавторстві, 3 статті у нефармових виданнях та

9 тез доповідей. Назви основних публікацій наведені у списку опублікованих праць.

**Структура і зміст роботи.** Робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 175 найменувань. Дисертацію викладено на 159 сторінках друкованого тексту, вона містить 64 рисунки і 14 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та основні задачі досліджень, відзначені новизна та практичне значення отриманих результатів, вказані методи досліджень та структура роботи.

**У першому розділі** „Фізичні властивості плівкових систем із спин-залежним розсіюванням електронів (літературний огляд)” наведено аналітичний огляд і аналіз публікацій, які присвячені особливостям фізичних процесів у приладових плівкових структурах із спин-залежним розсіюванням електронів. Показано, що в мультишарах, гранульованих т.р. і спин-клапанних структурах на основі Co, Cu, Ag та Au спостерігається явище ГМО. Аналіз накопичених експериментальних даних свідчить про те, що умовою спостереження ГМО є розподілений магнітний компонент у немагнітному, що має високу провідність. Дослідження дифузійних процесів, фазоутворення та їх впливу на стан інтерфейсу у плівкових системах зі спин-залежним розсіюванням електронів проведені не в повному обсязі. Незважаючи на це, матеріали з ГМО набули широкого практичного застосування у сучасному мікроприладобудуванні. Успішно виготовляються надчутливі датчики магнітного поля, функціональні елементи спинтроніки, елементи накопичувачів інформації, біосенсиори, тензодатчики. Вивчення особливостей фазоутворення, дифузійних процесів у таких приладових структурах дозволить вирішити ряд важливих проблем, таких, як енергозбереження, стабільність сенсорів у часі і під впливом температурних полів тощо. Тому основним напрямом досліджень було встановлення особливостей структурно-фазового стану, дифузійних процесів, процесів електроперенесення в інтервалі температур 300 – 900 К у плівкових системах на основі матеріалів із спин-залежним розсіюванням електронів Co/Cu, Co/Ag та Co/Au та розроблення методики отримання функціональних елементів у вигляді спин-клапанних структур на їх основі.

У другому розділі „Методика і техніка експерименту” описані методи отримання та дослідження дво- чи багат шарових плівкових систем на основі Co, Cu, Ag та Au.

Плівкові системи отримувались пошаровою (товщина окремих шарів становила  $d=3-60$  нм) конденсацією у вакуумі (тиск залишкової атмосфери  $10^{-4}-10^{-7}$  Па) методом термічного та електронно-променевого випаровування з постійною швидкістю  $\omega=0,1$  нм/с. Для контролю товщини плівок у процесі конденсації застосовувався метод кварцового резонатора. Для проведення електронно-мікроскопічних і електроннографічних досліджень використовувалися як підкладки плівки вуглецю товщиною 20 нм. При дослідженні фізичних процесів використовувалися ситалові пластини (дослідження електрофізичних властивостей), пластини монокристал кремнію Si(001) (рентгенографічні, еліпсометричні дослідження). Одержання інформації про середні розміри, концентрацію кристалітів, про кристалічну ґратку (тип та параметри ґратки) проводилося методом електронної просвічуючої мікроскопії та електроннографії швидких електронів на мікроскопі ПЕМ-125К. З метою вивчення стабільності інтерфейсів при термовідпалюванні застосовувався метод рентгенівського аналізу з використанням двокристалного рентгенівського дифрактометра Bruker D8 Discover високої роздільної здатності за геометрії Бреґга-Брентано. Дослідження дифузії проводилося методом ВІМС за допомогою приладу MC-7201 M. Для підтвердження висновків стосовно фазових перетворень у плівкових зразках було здійснено дослідження їх електрофізичних властивостей. Резистивним методом вивчалися залежність питомого опору і термічного коефіцієнта опору від температури відпалювання та коефіцієнт тензочутливості. Дослідження магнітоопору плівкових систем та спін-класанних структур проводилося за стандартною чотириточковою схемою. Вимірювався поздовжній магнітооптичний ефект Керра, що дає можливість отримати інформацію про ступінь намагніченості, магнітну анізотропію та особливості спін-поляризації магнітної компоненти у плівкових структурах, що досліджуються.

**Третій розділ** „Процеси фазоутворення у функціональних елементах мікроприладів на основі плівкових систем Co/Cu, Co/Ag та Co/Au” складається із 4 підрозділів.

У першому підрозділі наведені результати досліджень процесів структурних перетворень та фазоутворення у дво- та багат шарових плівкових системах Co/Cu, Co/Ag та Co/Au. Показано, що у плівкових системах на основі Co і Cu у процесі конденсації утворюються метастабільні т.р. (Cu, Co). У процесі термовідпалювання до температур



900 К відбувається частковий розпад т.р. з утворенням ГЦК-Co та фази ГЦК-Cu.

Плівкові системи на основі Co і Ag та Co і Au у невідпаленому стані двофазні. У процесі термовідпалювання відбувається аналогічне утворення т. р. (Ag, Co) та (Au, Co). На рис. 1, а показано рентгенограми від Au(23)/Co(15)/П (П – підкладка) до і після відпалювання до 700 К. Піки, що відповідають ГЦК-Au, зазнають зміщення, а ті, що відповідають ГЦП-Co, зникають після відпалювання. На рис. 1, б наведено мікроснімок кристалічної структури двошарової плівки Ag/Co/П, на якому спостерігається стабілізація наночастинок ГЦП-Co, від яких на відповідній їй електронограмі поряд з лініями т.р. фіксуються екстрарефлекси. Таким чином, у результаті термовідпалювання плівкових систем на основі Co і Ag та Co і Au відбувається утворення гранульованих т. р.

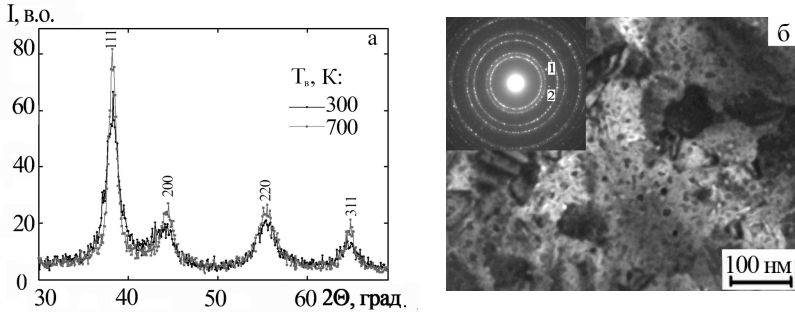


Рис. 1. Рентгенограми від плівки Au(23)/Co(15)/П після термовідпалювання до різних температур (а) та мікроснімок кристалічної структури плівки Ag(40)/Co(30)/П при температурі відпалювання 700 К з відповідною їй електронограмою (1, 2 –екстрарефлекси гранул Co) (б)

У другому підрозділі досліджено дифузійні процеси в двошарових плівках Co/Cu, Co/Ag та Co/Au. В усіх трьох вищезазначених системах наявна конденсаційно-стимульована та значна термостимульована дифузія атомів в обох напрямках. Великими значеннями ефективних коефіцієнтів дифузії виділяються системи на основі Cu і Co, у яких навіть, у невідпаленому стані має місце досить значне взаємне проникнення атомів. Малою величиною відрізняються системи на основі Ag і Co.

У третьому підрозділі на основі результатів дослідження фазоутворення та процесів дифузії в двошарових плівках запропонована методика формування спін-класанної структури у вигляді багат шарової

плівкової системи Au(3)/Co(3)/Au(Cu)(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П. Робочі магнітні шари Co, що розділені немагнітним прошарком Cu або Au, товщиною 6 нм, відрізняються по товщині: товщина верхнього "м'якого" шару складає приблизно 15% від товщини нижнього "жорсткого" шару (3 та 20 нм відповідно). Явище ГМО виявляється в інтервалі величини магнітної індукції між початком перемагнічування верхнього і нижнього шарів за схемою, наведеною на рис. 2.

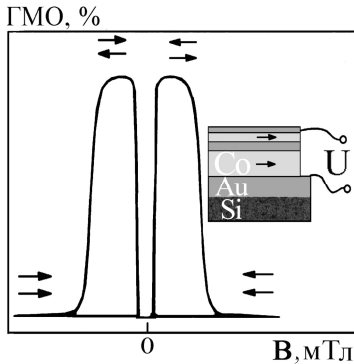


Рис. 2. Структура спін-клапана Au(3)/Co(3)/Au(Cu)(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/Si та схема його функціонування у магнітному полі. Стрілками показані напрямки векторів намагніченості у верхньому і нижньому магнітних шарах

Додатковою фіксацією "жорсткого" магнітного стану шару Co може бути висока температура підкладки під час його конденсації. Дослідження оптичних характеристик спін-клапанів показало поступове зменшення фазового кута  $\Delta$  та збільшення амплітудного еліпсометричного кута  $\psi$  при збільшенні кількості шарів, що пов'язане зі збільшенням загальної товщини плівки. Лінійний характер залежностей порушується руйнуванням інтерфейсів та непропорційною зміною оптичної щільності речовин.

У четвертому підрозділі викладено узагальнення результатів вивчення фазоутворення в приладових системах на основі Co і Cu, Ag та Au. Отримані залежності параметра ґратки т. р. (Cu,Co), (Ag, Co) та (Au, Co) від загальної концентрації атомів Co в системі (рис. 3). Сукупність експериментальних точок на залежності у всьому діапазоні концентрацій має незначне відхилення від правила Vegarda для системи Cu і Co, тоді як для інших двох систем це відхилення значне. На залежності нанесені також дані інших авторів, які формували гранульовані т.р. методом одночасної конденсації компонент.

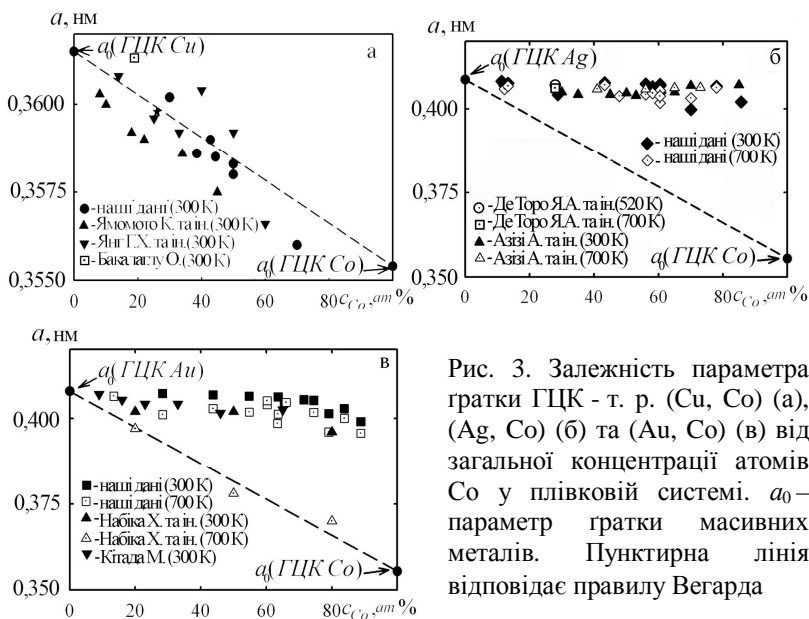


Рис. 3. Залежність параметра ґратки ГЦК - т. р. (Cu, Co) (а), (Ag, Co) (б) та (Au, Co) (в) від загальної концентрації атомів Co у плівковій системі.  $a_0$  – параметр ґратки масивних металів. Пунктирна лінія відповідає правилу Вегарда

Отримані експериментальні залежності еліпсометричних кутів  $\Delta$  і  $\psi$  для двошарових систем Cu/Co, Au/Co і Ag/Co від загальної концентрації атомів Co у плівковій системі у невідпаленому стані та після відпалювання до  $T_b=700$  K, що корелюють із висновками про утворення т.р. Також були отримані значення оптичних коефіцієнтів  $n$  (зменшується при збільшенні концентрації атомів Cu і має значення в межах між 0,4–1,1) і  $k$  (в межах 0,626 - 1,230) для т.р. (Cu, Co), що в подальшому може бути використано для визначення концентрації атомів у даних т.р. чи при створенні приладових структур із заданими наперед оптичними властивостями.

**Четвертий розділ** „Процеси електроперенесення в плівкових системах на основі Co і Cu, Ag та Au” складається із двох підрозділів.

У першому підрозділі наведені експериментальні результати про провідність, термічний коефіцієнт опору, коефіцієнт тензочувливості, магніторезистивні та магнітооптичні властивості плівкових систем на основі Co і Cu, Ag та Au. Очевидно, що утворення проміжного шару т.р. в результаті термодифузії призводить до зміни електрофізичних властивостей системи в цілому. В системі Cu/Co температурна залежність ТКО від  $T$  у вузькому температурному діапазоні має лінійний характер,

що підтверджує висновок утворення т.р. вже в процесі конденсації плівок і його збереження на інтервалі  $T_b=300 - 700$  К. Величина ТКО залежить не тільки від загальної концентрації компонент, а і від кількості шарів у системі. Цим можна пояснити, наприклад, приблизно рівні величини ТКО( $\beta$ ) для плівкових систем Co(5)/Cu(10)/Co(10)/Cu(10)/П (загальна товщина  $d=35$  нм) та [Co(5)/Cu(5)]<sub>4</sub>/П (загальна товщина  $d=40$  нм) (рис. 4 а, б). Про інтенсивні зміни в фазовому стані в плівкових системах Au/Co та Ag/Co, а виходячи з висновків розділу 3, про стабілізацію т.р.(Au (Ag), Co) при досягненні температури 700 К свідчить зміна кута нахилу  $\beta(T)$  на рис.4, в і г.

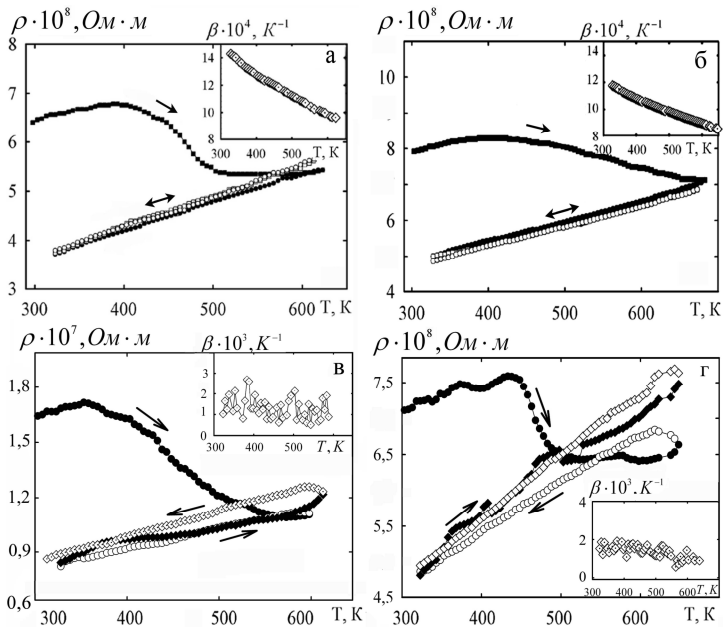


Рис. 4. Температурна залежність питомого опору і ТКО для плівкових систем: а – Co(5)/Cu(10)/Co(10)/Cu(10)/П; б– [Co(5)/Cu(5)]<sub>4</sub>/П; в - Au(8)/Co(20)/П та г - Ag(20)/Co(10)/П

Висновки про утворення т.р. підтверджують результати вимірювання електричного опору багат шарових плівок у процесі осадження. Причому особливо наочним може бути залежність опору ( $R$ ) від часу конденсації ( $\tau$ ) для систем на основі Cu і Co. Так, збільшення та

наступне зменшення опору плівкової системи в цілому при конденсації Co пов'язане з розчиненням у матриці Cu острівців Co, в той час як при конденсації шару Cu збільшення опору не відбувається. Різний характер залежностей при осадженні Cu та Co також пов'язаний частково з пошаровим або острівцевим механізмом росту плівок Cu і Co відповідно.

При формуванні функціонального елемента спінтроники, згідно із запропонованою нами схемою, коерцитивність нижнього „жорсткого” шару, отриманого при високій температурі підкладки приблизно у 5 - 6 разів більша, ніж у плівки, отриманої при кімнатній температурі (рис. 5, а). Було досліджено анізотропію коерцитивності плівок Co від кута  $q$  (кут повороту зразка при вимірюванні) (рис. 5, б). Результати дослідження МОКЕ також підтверджують утворення т.р., сходинкоподібна форма петлі МОКЕ у спін-клапанній структурі свідчить про правильність запропонованої методики її формування.

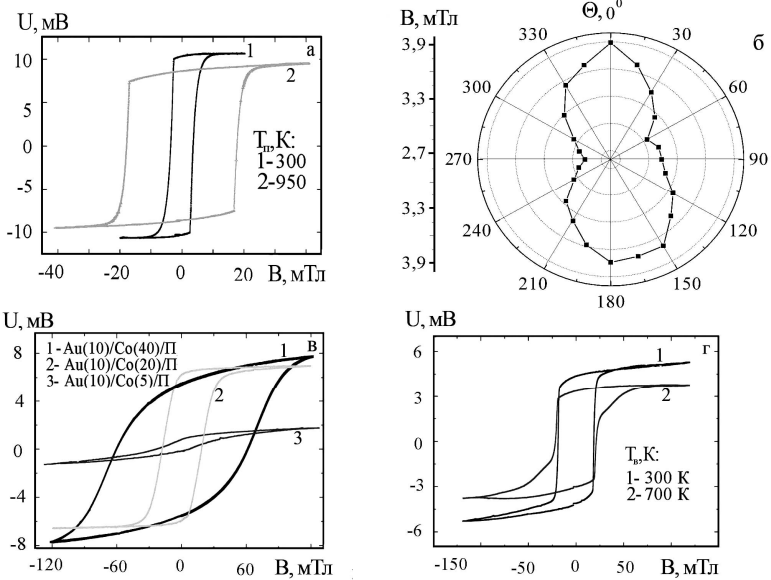


Рис. 5. МОКЕ при різних температурах підкладки (а) і залежність коерцитивності  $B$  від кута  $q$  після відпалювання до 450 К (б) для одношарової плівки  $\text{Co}(20)/\text{Pt}$  та МОКЕ для систем  $\text{Au}(15)/\text{Co}/\text{Pt}$  ( $T_p=700$  К) (в) і  $\text{Au}(5)/\text{Co}(3)/\text{Cu}(6)/\text{Co}(20)/\text{Au}(40)/\text{Cr}(3)/\text{Pt}$  при різних температурах відпалювання (г). Усі вимірювання проводилися при кімнатній температурі

На рис. 6, а наведено залежність МО для функціональних елементів Au(5)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П при різних температурах відпалювання. Для функціонального елемента, у якого нижній шар Co отриманий при температурі  $T_{\text{п}}=950$  К, МО має величину 1,2 %. Відпалювання спін-кляпанної структури призводить до поступового зменшення МО. На рис. 6, б подані залежності МО для спін-кляпанних структур з різною товщиною прошарку Cu. При товщині 6 нм спостерігаються найвищі значення МО при вужчому діапазоні магнітних полів. Дво- і багатошарові системи на основі Au і Co та Ag і Co також мають МО. Після відпалювання у плівкових системах Au/Co має місце відносна зміна опору порядку 0,4 % (рис. 6, в), а в плівках Ag/Co - 0,5 % (рис. 6, г). Так можна говорити про ознаки ГМО в отриманих спін-кляпанних структурах та гранульованих т.р., що утворилися після відпалювання дво- та багатошарових плівкових систем.

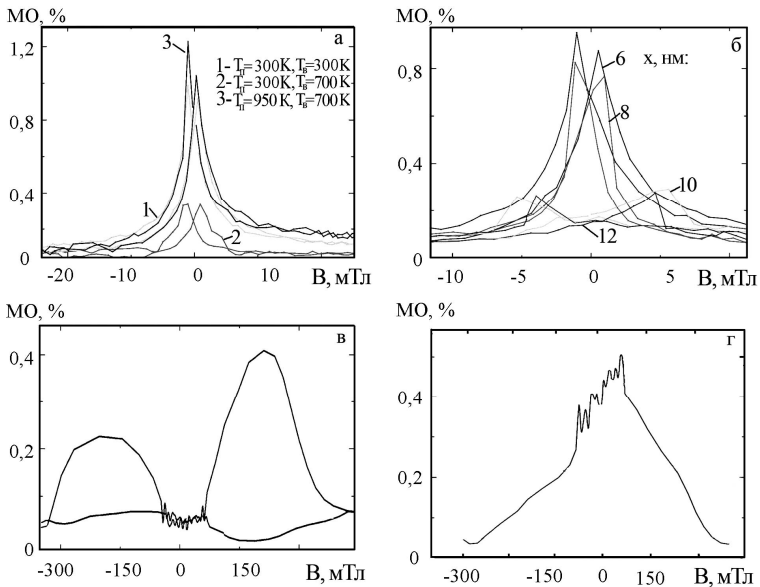


Рис. 6. МО при кімнатній температурі вимірювання для плівок Au(5)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П (а) після термовідпалювання до різних температур при різних температурах підкладки, Au(5)/Co(3)/Cu(x)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П (б) з різною товщиною немагнітного прошарку x, Au(10)/Co(15)/Au(6)/Co(15)/П (в) та Ag(50)/Co(50)/П (г) після термовідпалювання до  $T_{\text{в}}=700$  К

У другому підрозділі здійснено порівняння експериментальних і розрахункових величин питомого опору, ТКО та КТ. Розрахункові значення ТКО легко отримати для двох граничних випадків стану інтерфейсу – повного збереження індивідуальності окремих шарів ( $b_6$ ) та повного перемішування з утворенням плівкового сплаву ( $b_{тр}$ ). Як видно з табл. 1 у випадку співвідношення для плівкового сплаву ступінь відповідності кращий для систем на основі Cu і Co (не перевищує 25 %) і на основі Au і Co (у межах 13 - 33 %). У випадку систем на основі Ag і Co теоретичні значення краще відповідають розрахунковим згідно з моделлю „біластини”.

Таблиця 1

Порівняння експериментальних і розрахункових значень ТКО

Плівкова система (нм)	T, К	$\beta 10^3,$ К <sup>-1</sup>	Розрахункова величина $\beta 10^3, \text{К}^{-1}$			
			$b_6$	$\frac{b-b_6}{b}, \%$	$b_{тр}$	$\frac{b-b_{тр}}{b}, \%$
Cu(10)/Co(10)/П	320	1,15	1,47	-27,7	1,22	-6,0
Cu(20)/Co(15)/П	320	1,20	1,73	-44,1	1,50	-25,0
Cu(20)/Co(20)/П	320	1,25	1,59	-27,2	1,44	-15,2
Au(20)/Co(20)/П	320	0,95	1,36	-43,1	0,82	+13,7
Ag(20)/Co(10)/П	320	1,90	1,37	+28,0	0,58	+69,5
Ag(50)/Co(20)/П	320	2,30	1,68	+26,9	0,85	+63,0

Оскільки відповідність розрахункових і експериментальних даних в цілому невисока, то нами були здійснені розробка і апробація моделей, що враховують взаємну дифузію атомів через інтерфейс, утворення біля інтерфейсу проміжного шару т.р. або гранульованого т.р. Для моделі, що враховує утворення проміжного шару т.р. біля інтерфейсу, вираз для ТКО має вигляд

$$b \cong b_1 + b_c + b_2 - \frac{A_1(b_c + b_2) + A_2(b_c + b_1) + A_3(b_1 + b_2)}{A_1 + A_2 + A_3}, \quad (1)$$

де  $b_c$  – ТКО для плівкового сплаву,  $A_1 = (d_1 - d'_1)r_c r_2$ ,  $A_2 = (d_2 - d'_2)r_c r_1$  та  $A_3 = (d'_1 + d'_2)r_1 r_2$ ,  $r_c$  – питомий опір плівкового сплаву,  $d$  – товщина шару,  $c_{1,2}$  – концентрація атомів,  $\beta$  та  $\rho$  – ТКО та питомий опір одношарових плівок;  $d'$  – товщина твердого розчину біля інтерфейсу. Апробацію даного виразу було здійснено шляхом комп'ютерного моделювання, змінюючи товщину проміжного шару (рис. 7).

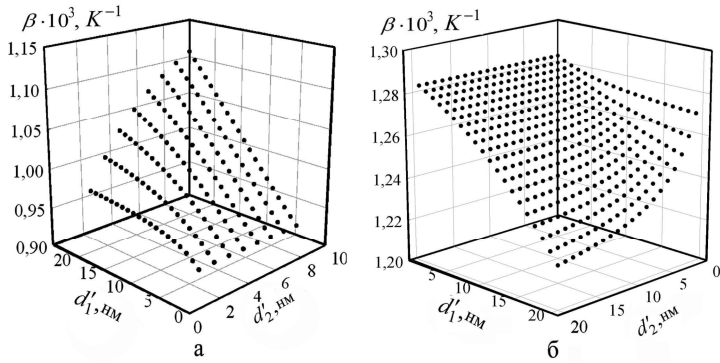


Рис.7. Тривимірна діаграма залежності ТКО від товщини проміжного шару твердого розчину для плівкових систем Au(8)/Co(20)/П (а) та Au(35)/Co(25)/П (б). Експериментальне значення  $\beta$ ,  $K^{-1}$ :  $0,90 \cdot 10^{-3}$ (а) та  $0,95 \cdot 10^{-3}$  (б)

Вираз для ТКО шаруватой структури плівкових гранульованих т.р. можна записати так:

$$b \equiv b_{mp} - \frac{(4b_z r_z n_z^l + 4b_{mp} r_{mp} \Delta l_{mp} n_{mp}^l + 4,65plb_{mp} r_{mp})}{(r_z n_z^l + r_{mp} \Delta l_{mp} n_{mp}^l)}, \quad (2)$$

де  $n_z^l$  і  $n_{mp}^l$  - середнє число гранул і фрагментів т.р. середньої довжини  $\Delta l_{mp}$  на відрізку  $l$ .

Співвідношення для коефіцієнта поздовжньої тензочутливості  $g_l^r$  згідно з моделлю, що враховує утворення проміжного шару т.р. біля інтерфейсу, має вигляд

$$g_l^r = g_{l1}^r + g_{lc}^r + g_{l2}^r - \frac{A_1(g_{lc}^r + g_{l2}^r) + A_2(g_{lc}^r + g_{l1}^r) + A_3(g_{l1}^r + g_{l2}^r)}{A_1 + A_2 + A_3}. \quad (3)$$

Встановлено, що моделі із проміжним шаром т.р. біля інтерфейсу відповідають плівкові системи на основі Cu і Co та Au і Co (розходження експериментальних і розрахункових даних  $\pm(13-33)\%$ ), у той час як експериментальні результати для системи на основі Co і Ag узгоджуються з моделлю шаруватих плівкових гранульованих т.р.



## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана задача стосовно вивчення особливостей електрофізичних, магніторезистивних та магнітооптичних властивостей спін-класанних структур і багатошарових плівкових систем із спін-залежним розсіюванням електронів та з'ясована роль фізичних процесів (фазоутворення, взаємна дифузія атомів, вплив магнітних і температурних полів) і їх внеску у величину магнітоопору, МОКЕ, ТКО та коефіцієнта поздовжньої тензочутливості.

У дисертаційній роботі отримані такі наукові і практичні результати:

1. Методами електроннографії, рентгенографії, електронної мікроскопії, вторинно-іонної мас-спектрометрії вперше проведені дослідження дифузійних процесів та фазоутворення у спін-класанних структурах та багатошарових плівкових системах із спін-залежним розсіюванням електронів, які можуть використовуватися як чутливі елементи сенсорів магнітного поля, термо- і тензодатчиків:

- установлено, що в дво- та багатошарових плівкових системах на основі Co і Cu вже під час конденсації утворюється метастабільний т.р. (Cu, Co) (залежність параметра ґратки т. р. від загальної атомної концентрації атомів Co відповідає правилу Вегарда), який при  $T_{\text{в}} \cong 700$  К починає частково розпадатися із виділенням наночасток Co, що необхідно враховувати при створенні чутливих елементів відповідних сенсорів;
- аналогічне утворення т. р. в системах на основі Au і Co та Ag і Co починається при  $T_{\text{в}} \cong 700$  К (має місце невідповідність правилу Вегарда), поряд з утворенням т. р. спостерігається виділення наногранул Co, хоча після конденсації в них зберігається індивідуальність шарів;
- із урахуванням особливостей фазоутворення вперше запропонована методика формування термостабільного функціонального елемента спін-класанної структури у вигляді багатошарової плівкової системи Au(3)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П шляхом пошарової конденсації при різній температурі підкладки;
- уперше отримані залежності параметра ГЦК ґратки т. р.(Cu, Co), (Au, Co) та (Ag, Co) від загальної концентрації атомів Co у плівковій системі, які узгоджуються із даними інших авторів для плівкових зразків, отриманих одночасною конденсацією компонент.

2.Методом еліпсометрії та МОКЕ були досліджені оптичні та магнітооптичні характеристики модельних плівок та спін-класанних структур:

- отримані залежності еліпсометричних кутів  $\Delta$  і  $\psi$  для плівкових систем на основі Cu і Co, Ag і Co та Au і Co від загальної концентрації атомів Co,

що мають кореляцію зі структурно-фазовим станом, що можуть бути використані для прогнозування оптичних характеристик функціональних елементів, створених на їх основі;

- отримані значення оптичних коефіцієнтів  $n$  (зменшується при збільшенні концентрації атомів Cu і має значення в межах між 0,4–1,1) і  $k$  (в межах 0,626–1,230) для т.р. (Cu, Co), який входить до складу функціонального елемента спін-клапанної структури;

- показано, що у приладових структурах, отриманих згідно із запропонованою методикою, спостерігається залежність магнітооптичного ефекту Керра від індукції магнітного поля у вигляді сходинкоподібної петлі гістерезису, що свідчить про реалізацію двох магнітних станів.

3. Здійснено розробку феноменологічних моделей для електрофізичних властивостей двошарових плівок із проміжним шаром т.р. біля інтерфейсу (стосовно ТКО і КТ) та шаруватих плівкових гранульованих т.р. (стосовно питомого опору і ТКО) і здійснено комп'ютерне моделювання електрофізичних властивостей:

- встановлено, що експериментальні результати для ТКО і КТ у плівкових системах на основі Cu і Co та Au і Co краще відповідають моделі із проміжним шаром т.р. біля інтерфейсу (розходження експериментальних і розрахункових даних не перевищує  $\pm 20\%$  для системи Cu/Co та  $\pm(13 - 33)\%$  - для системи Au/Co);

- у випадку плівкової системи на основі Co і Ag експериментальні результати однаковою мірою узгоджуються або із моделлю шаруватих плівкових гранульованих т. р., або із моделлю для „біластини” (розходження  $\pm(17 - 28)\%$ ).

4. У спін-клапанних структурах на основі Cu, Au і Co спостерігається явище ГМО із величиною 0,5 - 1,2 % (при 300 К вимірювання), що залежить від товщини немагнітного прошарку та температури підкладки при конденсації нижнього шару Co; у багатошарових плівкових системах на основі Ag і Co та Au і Co, отриманих пошаровою конденсацією, в результаті стабілізації гранульованого стану фіксуються ознаки ГМО.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Проценко С.І. Структура, дифузійні процеси і магніторезистивні та електрофізичні властивості плівкових матеріалів / С.І. Проценко, І.В. Чешко, Л.В. Однорець, І.М. Пазуха [За заг. ред. І.Ю. Проценка]. – Суми: Наукове видання Вид-ва СумДУ, 2008. – 197 с. ISBN 978-966-657-156-7

*Здобувачем було підготовлено 4 підрозділи із розділу 1, 1 підрозділ розділу 3, здійснено відбір та аналіз літературних джерел.*

2. Protsenko I. Solid solution formation in Cu/Co ultrathin film systems / [I. Protsenko, I. Cheshko, Ja. Javorsky] // Functional Materials. – 2006. – V.13, №2. – P.219 – 222.

*Здобувачем здійснено відбір літературних джерел, отримані експериментальні результати методом електроннографії стосовно двошарових плівкових систем на основі Cu і Co та зроблений їх аналіз, підготовлено текст статті.*

3. Дехтярук Л.В. Проводимость двухслойных моно- и поликристаллических слоев металла в условиях взаимной диффузии / [Л.В. Дехтярук, С.И. Проценко, И.В. Чешко, И.М. Пазуха] // ФТТ. – 2006. – Т.48, Вып. 10. – С. 1729-1739.

*Здобувачем було здійснено комп'ютерне моделювання, підготовлена частина розділу 4 та здійснений відбір літературних джерел.*

4. Проценко С.І. Структурно-фазовий стан, стабільність інтерфейсів та електрофізичні властивості двошарових плівкових систем / [С.І. Проценко, И.В. Чешко, Д.В. Великодний, О.В. Синашенко, Л.В. Одноворець, І.М.Пазуха, І.Ю. Проценко] // Успехи физ. мет. – 2007. – Т.8, №4. – С. 247-278.

*Здобувачем було проведено дослідження електрофізичних властивостей плівкових матеріалів на основі Co і Cu, Ag і Au та підготовлені відповідні підрозділи.*

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

*Здобувачем була проведена апробація теоретичної моделі гранульованих твердих розчинів для гранульованих твердих розчинів на основі Co і Ag та зроблено аналіз отриманих досліджень.*

6. Чешко И.В. Магнітооптичні та магніторезистивні властивості плівкових функціональних елементів на основі Co і Cu та Au / [И.В. Чешко, С.І. Проценко, П. Шіфаловіч] // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка. – 2008. - № 2 – С. 106 - 110.

*Здобувачем було проведено дослідження магнітооптичних (МОКЕ) та магніторезистивних властивостей спин-квантованих структур на основі Co і Cu та Au, здійснено аналіз результатів та підготовлено текст статті.*

7. Бибик В.В. Фазаобразование и электрофизические свойства двух- и трехслойных пленок на основе переходных и благородных металлов / [В.В. Бибик, Т.М. Гричановская, Л.В. Одноворець, И.В. Чешко,

И.Е. Проценко] // Тонкие пленки в оптике и наноэлектронике. - Том 2: Сборник докладов 18-го Международного симпозиума.– Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. – С. 134 - 145.

*Здобувач виконав дослідження процесів фазоутворення і електрофізичних властивостей плівкових систем на основі Co і Au та підготував підрозділ, що стосується зазначених матеріалів.*

8. Майкова Е. Образование твердых растворов в пленочных системах на основе Co и Ag или Au / [Е. Майкова, И.В. Чешко, И.Е. Проценко] // Тонкие пленки. - Том 2: Сборник докладов 19-го Международного симпозиума. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2007. – С.127 – 132.

*Здобувачем було проведено дослідження методом електронографії фазового складу та методом ВІМС дифузійних процесів у плівкових системах на основі Co і Ag та Co і Au, підготовлено текст статті.*

9. Однорець Л.В. Структурно-фазовий стан і стабільність інтерфейсів двошарових плівкових систем / [Л.В. Однорець, С.І. Проценко, І.М. Пазуха, В.А. Соломаха, І.В. Чешко] // Наноматеріали. - Том 2: Сборник докладов Харьковской нанотехнологической Ассамблеи-2008. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2008. – С.55 – 63.

*Здобувач виконав дослідження умов формування твердих розчинів та вивчив стабільність інтерфейсів у дво- та багатошарових плівках на основі Co і Au.*

10. Майкова Е. Концентраційна залежність параметра ГЦК решітки в плівкових твердих розчинах на основі Co та Cu, Au або Ag / [Е. Майкова, І. Проценко, І. Чешко] // Матеріали Міжнародної конференції [«ЕВРИКА-2007»], (Львів, 22-24 травня 2007 р.). – С. 75.

*Здобувачем отримані концентраційні залежності параметрів ґратки т. р. (Cu, Co), (Ag, Co) і (Au, Co) та підготовлено текст доповіді.*

11. Маршалек М. Концентраційна залежність параметра решітки ГЦК-твердого розчину в плівках на основі Co і Cu / [М. Маршалек, Л. Однорець, І. Проценко, І. Чешко] // Матеріали XI Міжнародної конференції [«Фізика і технологія тонких плівок та наносистем»], (Івано-Франківськ 7-12 травня 2007 р.). – С. 34-35.

*Здобувачем досліджено особливості структурно-фазового стану плівкових систем на основі Cu і Co та підготовлено текст доповіді.*

12. Majkova E. Correlation between phase state and electrophysical properties of double-layered film systems on base of Co and Ag and Au / [E. Majkova, S.I. Protsenko, I.V. Cheshko, N.I. Shumakova] // Матеріали Міжнародної конференції [«Сучасні проблеми фізики твердого тіла»], (Київ, 8-11 жовтня 2007 р.). – С.83.

*Здобувачем досліджено електрофізичні властивості плівкових гранульованих твердих розчинів (Cu, Co) та підготовлено текст доповіді.*

13. Алфімова О.О. Фазоуворення в плівкових системах на основі Co і Ag або Au / [О.О. Алфімова, Ахмад М. Махмуд, І.В. Чешко] // Тези доповідей науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету, (Суми, 19-24 квітня 2007 р.). – С.28-30.

*Здобувачем досліджено розмірні залежності питомої провідності та температурного коефіцієнта опору плівкових систем на основі Au, Ag і Co та підготовлено текст доповіді.*

14. Marszalek M. Correlation between crystal structure and electrophysical properties multilayers film systems on base of Co and Cu, Au or Ag / [M. Marszalek, І. Cheshko, O. Synashenko, S. Protsenko] // Book of Abstracts of Workshop on Smoothing and Characterization of Magnetic Films for Advanced Devices, (Krakow, 4-6 July 2007). - P. 15.

*Здобувачем були отримані експериментальні дані методом електронної мікроскопії і електронографії, здійснено їх аналіз, написано текст доповіді.*

15. Майкова Е. Структура і електрофізичні властивості двошарових плівок Co/( Au, Ag, Cu) та Cu/Cr / [ Е. Майкова, С.І. Проценко, І.М. Пазуха, І.Ю. Проценко, І.В. Чешко] // Тези конференції [«НАНСИС 2007»], (Київ, 21-23 листопада 2007 р.). – С.5-51.

*Здобувачем досліджено особливості структурно-фазового стану та встановлена кореляція із електрофізичними властивостями плівкових систем на основі Co/Au(Ag), підготовлено текст доповіді.*

16. Majkova E. Correlation between structure and optical properties of Au(Ag)/Co film systems / [E. Majkova, S. Protsenko, І. Cheshko, L. Odnodvoretz, I. Protsenko, O. Synashenko] // Book of Abstracts of XLII Zakopane School of Physics, (Krakow, 19-24 May 2008). – P.23.

*Здобувачем були досліджені оптичні характеристики методом еліпсометрії плівкових систем на основі Cu і Co, Au і Co та Ag, Co і написано текст доповіді.*

17. Jergel M. Thermally induced structural transformation in Co films for giant magnetoresistance spin valves / [M. Jergel, І. Cheshko, Y. Halogovets, E. Majkova, P. Shifalovich, S. Protsenko] // Book of Abstracts of XXI Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography [«IURCr2008»], (Osaka, 23-31 August 2008). – P. 12.11.34.

*Здобувачем були проведені дослідження кристалічної структури одношарових плівок Co та підготовлено текст доповіді.*

18. Проценко І.Ю. Магнітооптичні та магніторезистивні властивості плівкових систем на основі Co і Cu / [І. Ю. Проценко, І.В. Чешко]

//Матеріали Всеукраїнської конференції молодих вчених [«Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології»], (Київ, 12-14 листопада 2008 р.). – С.17.

*Здобувачем були проведені дослідження магнітооптичних та магніторезистивних властивостей плівкових систем на основі Co і Au та Co і Cu, написано текст доповіді.*

### АНОТАЦІЯ

**Чешко І.В. Фізичні процеси в функціональних елементах на основі плівкових систем Co/Cu(Au, Ag) із спін-залежним розсіюванням електронів. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 - фізика приладів, елементів і систем. - Сумський державний університет, Суми, 2009.

Дисертація присвячена теоретичному і експериментальному дослідженню особливостей структурно-фазового стану, дифузійних процесів, електрофізичних, магнітотранспортних і магнітооптичних властивостей функціональних елементів мікроприладів у вигляді спін-клапанної структури на основі Au, Co, Cu і Cr або спін-залежним розсіюванням електронів на основі Co і Cu, Ag та Au.

За результатами досліджень особливостей структурно-фазового стану плівкових систем на основі Co, Cu, Ag та Au запропонована методика формування функціонального елемента спін-клапанної структури у вигляді багатошарової плівкової системи шляхом пошарової конденсації нанорозмірних шарів Au, Co, Cu і Cr із відповідною послідовністю температурної обробки в процесі осадження. Вивчені електрофізичні, магнітооптичні та магнітотранспортні властивості даних приладових структур.

**Ключові слова:** ефект гігантського магнітоопору, багатошарові плівки, гранульований твердий розчин, термічний коефіцієнт опору, коефіцієнт тензочутливості.

### АННОТАЦИЯ

**Чешко И.В. Физические процессы в функциональных элементах на основе пленочных систем Co/Cu(Au, Ag) со спин-зависимым рассеиванием электронов.– Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – физика приборов, элементов и систем – Сумский государственный университет, Сумы, 2009.

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию особенностей структурно-фазового состояния, диффузионных процессов, электрофизических, магнитотранспортных и магнитооптических свойств функциональных элементов в виде спин-клапанной структуры на основе Au, Co, Cu и Cr или многослойных пленочных систем со спин-зависимым рассеиванием электронов на основе Co, Cu, Ag и Au.

По результатам исследования особенностей структурно-фазового состояния пленочных систем на основе Co, Cu, Ag и Au установлены условия формирования твердых растворов (Cu, Co), (Ag, Co) и (Au, Co) путем послойной конденсации компонент со стабилизацией гранулированного состояния Co. Получены соответствующие зависимости параметров решеток и эллипсометрических углов данных т.р. от общей концентрации атомов Co. На основе исследований электрофизических (удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, коэффициент тензочувствительности) и магнитооптических свойств многослойных пленок на основе Co, Cu, Ag и Au предложена методика формирования функционального элемента спин-клапанной структуры в виде многослойной пленочной системы, путем послойной конденсации наноразмерных слоев Au, Co, Cu и Cr с соответствующей последовательностью температурной обработки в процессе конденсации. Изучены магнитооптические и магниторезистивные свойства данных структур микроэлектроники. Измерения магнитосопротивления полученных спин-клапанных структур и гранулированных т.р. (Ag, Co) и (Au, Co) показывают наличие признаков ГМС.

**Ключевые слова:** эффект гигантского магнетосопротивления, многослойные пленки, гранулированный твердый раствор, термический коэффициент сопротивления, коэффициент тензочувствительности.

## SUMMARY

**Cheshko I.V. Physical processes in functional elements on base film systems Co/Cu(Ag, Au) with spindependent scattering of electrons. – Manuscript.**

Thesis for a Doctor of philosophy degree (Ph. D.) in physics and mathematics on specialty 01.04.01 – Physics of devices, elements and systems – Sumy State University, Sumy, 2009.

The dissertation work covers theoretical and experimental researches of structural and phase state, diffusion processes, electrophysical, magnetoresistive and magneto optic properties of spin-valves structures Au, Co,

Cu and Cr based or functional elements microdevices with spindependent scattering of electrons on base of Co, Cu, Ag and Au.

By results of structural and phase state investigation of films Co, Cu, Ag and Au based formation conditions of solid solution (Cu, Co), (Ag, Co) and (Au, Co) were establish. Formation method of spin-valves structures functional elements by layerwise condensation of Au, Co, Cu and Cr nanolayers with due order temperature processing changes during condensation was propose. Electrophysical, magnetoresistive and magneto optic properties of this microelectronics structure were investigated.

**Key words:** effect of giant magnetoresistance, multilayer films, granular solid solution, temperature coefficient of resistance, gauge factor.

Підп. до друку 28.01.2009.  
Обл.- вид. арк. 0,9.  
Ум. друк. арк. 1,1.  
Наклад 100 прим.  
Замовлення № 134.

Формат 60×84/16.  
Папір ксероксний.  
Гарнітура Times New Roman Cyr.  
Друк офсетний.

Вид-во СумДУ. 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.  
Свідоцтво ДК № 3062 від 17.12.2007 р.  
Друкарня СумДУ. 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.