

**Секція:** фізико-технічні проблеми матеріалознавства

**Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки згідно з Законом України:**

Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Назва напрямку секції :** 6. Функціональні матеріали; 7. Методи інженерної поверхні

**Назва піднапрямку секції:** 6.2 Вплив фазового складу та мікроструктури на оптичні, електрофізичні, магнітні, корозійно-електрохімічні та фізико-механічні властивості; 7.8 Плівкові та тонкоплівкові технології

**ЗВІТ ЗА ЕТАПОМ 2015 РОКУ**

**за науково-дослідною роботою фундаментального дослідження**

**1. Тема НДР:** Вплив процесів гранулізації і спін-залежного розсіювання електронів на фізичні властивості плівкових твердих розчинів

**2. Керівник НДР:** Проценко Іван Юхимович

**3. Номер державної реєстрації НДР:** 0115U000689

**4. Назва вищого навчального закладу:** Сумський державний університет

**5. Терміни виконання:** початок - 01.01.2015р., закінчення - 31.12.2015р.

**6. Наукові результати:**

1. Проведені дослідження фазоутворення в дво- та тришарових плівкових системах на основі благородних і магнітних металів, в яких при термовідпалюванні утворюється твердий розчин з елементами гранульованого стану, які отримувалися методами одночасної конденсації компонент або формуванням багатошарової плівкової системи:

- у системі на основі Co та Ag або Au після термообробки утворюється т. р. атомів Co на основі ґратки Ag або Au та відбувається виділення по всьому об'єму зразка гранул ГЦП-Co, середній розмір яких становить 5–10 нм;

- у системі на основі Fe та Ag або Au також спостерігається утворення т.р.-(Ag, Fe) або (Au, Fe) у зразках, відпалених вище температури  $T_g = 700$  К. На електронограмах зразків, які відпалювались до 800 К, фіксуються лінії від  $Fe_3O_4$ ;

- встановлено, що формування гранульованого твердого розчину відбувається найбільш ефективно при загальній концентрації атомів магнітної компоненти 40 – 60 ат.% Co та 20 – 45 ат.% Fe.

2. Залежність параметра ґратки від загальної концентрації атомів не узгоджується з правилом Вегарда як в системі на основі Co та Ag(Au), так і в системі на основі Fe та Ag(Au), оскільки в даних системах має місце обмежена взаємна розчинність атомів і їх фазовий склад відповідає евтектиці з невеликою добавкою твердих розчинів: т.р.- (Ag(Au), Co(Fe)) + ГЦК-Ag(Au) + ГЦП-Co або ОЦК-Fe + сліди  $Fe_3O_4$ .

3. Дослідження дифузійних процесів методом ЕДС і ВІМС дозволив рознести внески КСД, ІСД та ТД в ефективну величину коефіцієнта взаємної дифузії атомів; отримано, що коефіцієнт  $D(КСД+ІСД)$  має значення порядку  $10^{-18}$  м<sup>2</sup>/с, а  $D(ТД)$  в залежності від температури може змінюватись від  $10^{-21}$  до  $10^{-19}$  м<sup>2</sup>/с.

4. Для узгодження літературних даних стосовно коефіцієнтів взаємної дифузії атомів у масивних і плівкових зразках запропонована топологічна еквівалентна температура, яка залежить від енергій активації дифузії і передекспоненціальних множників у рівняннях для температурної залежності коефіцієнтів дифузії.

## 7. Результати етапів (відповідно до технічного завдання):

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
1	Дослідження структурно-фазового стану і дифузійних процесів в гранульованих і гетерогенного складу плівкових матеріалах.		
1.1	Структурно-фазовий стан гранульованих плівкових матеріалів на основі Co і Ag або Au.	Експериментальні та розрахункові дані стосовно кристалічної структури і процесів фазоутворення в плівкових матеріалах на основі Co і Ag або Au.	<p>1. Досліджена кристалічна структура одношарових плівок Co, Ag і Au та встановлено, що параметри решіток відповідають з великою точністю відповідним параметрам масивних зразків; кристалічна структура плівок у невідпаленому стані ультрадисперсна і при відпалюванні до 800 К такою залишається у випадку плівок Co на відміну від плівок Ag і Au, в яких середній розмір кристалітів збільшується в 3-4 рази (від 20–30 нм до 100–120 нм).</p> <p>2. Вивчені процеси фазо-утворення у дво- і тришарових плівкових системах на основі Co і Ag та Co і Au; установлені умови, при яких стабілізується твердий розчин з елементами гранульованого стану (розміри гранул до 10–20 нм), що підтверджується також вимірюванням гігантського магнітоопору.</p>
1.2	Структурно-фазовий стан гранульованих та гетерогенного складу плівкових матеріалів на основі Fe і Ag або Au та оксидів Fe.	Експериментальні та розрахункові дані стосовно кристалічної структури, фазового складу і субструктури гранульованих і гетерогенного складу плівкових матеріалах на основі Fe і Ag або Au та оксидів Fe.	<p>1. Досліджені кристалічна структура, фазовий склад і субструктура плівкових матеріалів на основі Fe і Ag або Au та оксидів Fe. Встановлено, що структура одношарових плівок вказаних металів та оксидів Fe ультрадисперсна, але термооброблені плівки Ag та Au мають крупнодисперсну структуру. Фазовий склад металевих плівок, як у невідпаленому так і відпаленому стані, відповідає фазовому складу масивних зразків. Фазовий склад гранульованих твердих розчинів (Ag, Fe) і (Au, Fe)</p>

			<p>відповідає ГЦК решітці із параметром близьким до параметру ГЦК-Ag або ГЦК-Au.</p> <p>2. Дво- і тришарові плівкові системи Ag/Fe/Ag/П і Au/Fe/Au/П мають ГЦК решітку, параметр якої відповідає гранульованим твердим розчинам (Ag, Fe) і (Au, Fe).</p> <p>3. Плівкові системи гетерогенного складу Ag(Au)/[Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)+Fe]/Ag(Au)/П мають такий же фазовий склад як і тришарові плівкові системи на основі Fe і Ag або Au, тобто наявність тонкого шару оксидів Fe не впливає на тип кристалічної решітки і кристалічну структуру.</p>
1.3	Дифузійні процеси в плівкових матеріалах на основі Co і Ag або Au.	Експериментальні і розрахункові дані стосовно дифузійних процесів у плівкових матеріалах на основі Co і Ag або Au.	<p>1. Вивчені умови формування твердих розчинів (т.р.) атомів Co у матриці ГЦК-Ag або ГЦК-Au; при термообробці при 700 К дифузійні процеси у решітці т.р. спричиняють формування наногранул.</p> <p>2. Показано, що у т.р. (Ag, Co) і (Au, Co) не використовується правило Вегарда, оскільки їх параметри решіток в інтервалі концентрацій <math>C_{Co}=0-100</math> ат.% зменшуються до величини <math>a = 0,400</math> нм замість величини <math>a(Ag)=0,4086</math> нм та <math>a(Au)=0,4079</math> нм у випадку реалізації правила Вегарда.</p> <p>3. На основі результатів дослідження дифузійних процесів методом ВІМС розраховані коефіцієнти взаємної дифузії атомів Co і Ag або Au:  <math>D_{(Co \rightarrow Ag)}=2,8 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с};</math>  <math>D_{(Co \rightarrow Au)}=1,3 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с} (T=300 \text{ К});</math>  <math>D_{(Co \rightarrow Ag)}=3,3 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с};</math>  <math>D_{(Co \rightarrow Ag)}=4,3 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с};</math>  <math>D_{(Co \rightarrow Au)}=2,5 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с} (T=900 \text{ К}).</math></p>
1.4	Дифузійні процеси в гранульованих та гетерогенного складу плівкових матеріалах на основі Fe і Ag або Au та оксидів Fe.	Експериментальні і розрахункові дані стосовно дифузійних процесів у плівкових матеріалах на основі Fe і Ag або Au та оксидів Fe.	<p>1. Досліджений фазовий склад плівкових систем на основі Fe і Ag або Au при їх термообробці від 300 до 900 К і наступного охолодження до 300 К.</p> <p>2. Установлено, що в плівкових системах формується гетерогенний склад, оскільки електроннографічно фіксуються такі фази: тверді</p>

		розчини (т.р.) атомів Fe в ГЦК-решітці Ag або Au + оксиди Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> та в незначній кількості ОЦК-Fe. Оскільки розчинність атомів Fe в решітках Ag або Au дуже обмежена, то дифузійні процеси протікають малоінтенсивно, то правило Вегарда абсолютно не виконується. 3. Методом енергодисперсійного аналізу вивчені процеси дифузії атомів Fe в Ag і Fe в Au і встановлено, що величина коефіцієнтів взаємної дифузії атомів складає 10 <sup>-18</sup> - 10 <sup>-19</sup> м <sup>2</sup> /с.
--	--	---

### 8. Результативність виконання науково-дослідної роботи

	Показники	Виконано (за результатами НДР)
		кількість
1.	<b>Публікації виконавців за тематикою НДР:</b>	
	1.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus, Web of Science та/або Index Coperricus (для соціо-гуманітарних наук).	10
	1.2. Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних, які вказані у п. 1.1.	-
	1.3. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України та, які не зазначені у а. 1.1.	3
	1.4. Публікації у матеріалах конференцій та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України.	2
	1.5. Монографії, опубліковані за рішенням Вченої ради ВНЗ.	-
	1.6. Підручники, навчальні посібники.	-
2.	<b>Підготовка наукових кадрів:</b>	
	2.1. Захищено докторських дисертацій за тематикою НДР.	1
	2.2. Подано до розгляду спеціалізовану вчену раду докторських дисертацій за тематикою НДР.	-
	2.3. Захищено кандидатських дисертацій за тематикою НДР.	3
	2.4. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій за тематикою НДР.	-
	2.5. Захищено магістерських робіт за тематикою НДР.	7
3.	<b>Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності створені за тематикою НДР:</b>	
	3.1. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) України.	1
	3.2. Подано заявок на отримання патенту України.	1
	3.3. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) інших держав.	-
	3.4. Подано заявок на отримання патенту інших держав.	-
4.	<b>Участь з оплатою у виконанні НДР:</b>	
	4.1. Студентів.	2
	4.2. Молодих учених та аспірантів.	4

**9. Бібліографічний перелік монографій, підручників, посібників, наукових статей, інших публікацій; подані заявки та отримані патенти; теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій.**

1. Shpetnyi I., Kovalenko A.S., Klimenkov M., Protsenko I.Yu., Chernov S.V., Nepijko S.A., Elmers H.J., Schonhense G. Characterization and magnetic propertiuies of nanoparticles based on FePt solid solution with an oxide shell // J. Magn. Magn. Mater. – 2015. – V.373. – P. 231 – 235 (закордонне видання, Scopus, IF=1,970).
2. Nepijko S.A., Chernenkaya A., Medjanik K., Chernov S.V., Odnodvoretz L.V., Klimenkov M., Vlasenko O.V., Zaulichnyy Y.V., Schönhense G. Soft X-ray emission spectroscopy used for the characterization of a-C and CN<sub>x</sub> thin films // Thin solid films. – 2015. – V. 577. – P.109 – 113 (закордонне видання, Scopus, IF=1,759).
3. Zaporozhchenko A.V., Chernov S.V., Stetsenko B.V., Odnodvoretz L.V., Nepijko S.A. Elmers H.J., Schönhense G. Photon-assisted field emission from a Si tip at addition of an AC low voltage Applied Physics A: Materials Science and Processing. – 2015. – V. 120. – P.161 – 165 (закордонне видання, Scopus, IF=1,704).
4. Martyanov O.N., Balaev D.A., Pylypenko O.V., Chernov S.V., Odnodvoretz L.V., Nepijko S.A., Elmers H.-J., Schneider C.M., Schönhense G. FMR investigations of two-dimensional periodic arrays of disc-shaped Co particles at different temperatures // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2015. - V. 28, Issue 12. – P. 3587-3591 (закордонне видання, Scopus, IF=0,909).
5. Lytvynenko Ia.M., Pazukha I.M., Bibyk V.V. The effect of Co or Ag addition on magnetotransport and magnetic properties of Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> thin films // Vacuum. – 2015. – V.116. – P. 31 – 35 (закордонне видання, Scopus, IF=1,858).
6. Воробйов С.І., Литвиненко Я.М., Шпетний І.О., Шутилева О.В., Чорноус А.М. Магнетні та магнеторезистивні властивості плівок ферромагнетних металів // Металлофиз. новейшие технол. – Т.37, №8. – С. 1049 – 1062 (фахове видання, Scopus, IF=0,108).
7. Литвиненко Я.М., Пазуха І.М., Пилипенко О.В., Бібик В.В. Структурно-фазовий стан, магніторезистивні та магнітні властивості плівок пермалою / Металлофиз. новейшие технол. – Т.37, №10. – С. 1001 – 1017 (фахове видання, Scopus, IF=0,108).
8. Protsenko I.Yu., Odnodvoretz L.V., Protsenko S.I., Shumakova M.O. The contribution to the scattering of electrons in the magnetoresistance of multilayers of nonmagnetic metals Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – 2016. – №1(101) – прийнята до друку (фахове видання, Scopus, IF = 0,136).
9. Гричановська Т.М., Холод Т.С., Циганкова Л.А., Шумакова Н.І., Чешко І.В. Кінетичні властивості плівкових систем на основі Ni і V та Ni Ag(Au) // Журнал нано- електрон. фіз. – 2015. – Т.7, №4. – С. 04100 – 1 – 04100 – 5 (фахове видання, Scopus).
10. Калініченко С.М., Ткач О.П., Гричановська Т.М., Однодворець Л.В. Терморезистивні властивості плівкових твердих розчинів на основі Cu та Ni // Журнал нано- електрон. фіз. – 2015. – Т.7, №4. – С. 04048 –1 – 04048–5 (фахове видання, Scopus).
11. Терморезистивні властивості плівкових твердих розчинів на основі Cu та Ni С.М. Калініченко, О.П. Ткач, Т.М. Гричановська, Л.В. Однодворець
12. Проценко С.І., Однодворець Л.В., Ткач О.П., Шумакова Н.І. Аналітичний розв'язок задачі про тензоефект у гранульованому плівковому сплаві // Труды XVII Международного симпозиума «Методы дискретных особенностей в задачах математической физики», МДОЗМФ-2015. – Харьков – Сумы. – С.192 – 195 (фахове видання).
13. Макуха З.М., Подуремне Д.В., Тищенко К.В., Проценко І.Ю. Деформаційний, магніторезистивний і магнітодеформаційний ефекти у плівкових матеріалах на основі магнітних металів // Фізична інженерія поверхні. – 2015. – Т.13, №3. – С. 356 – 362 (фахове видання).

14. Гричановська О. А., Карпенко К. Г., Олександровський Л.В., Проценко І.Ю. Термо- і магніторезистивні властивості плівкових систем на основі Fe, Co і Pd // Фізична інженерія поверхні. – 2015. – Т.13, №3. – С. 363 – 370 (фахове видання).
15. Protsenko S.I., Odnodvoret L.V., Protsenko, I.Yu. Future strain properties of multilayer film materials / Chapter in Springer Proceedings in physics «Nanocomposites, Nanophotonics, Nanobiotechnology, and Applications». – 2015. – V. 156. – P. 345 – 374 (розділ в монографії, закордонне видання, Scopus).
16. Protsenko S.I., Hrychanovs'ka O.A., Odnodvoret L.V., Shumakova N.I., Protsenko I.Yu. Temperature and concentration dependence of anisotropic magnetoresistance film materials // Proceedings of the 5-th Intern. Conference «Nanomaterials: Application and Properties–2015». – 2015. – V.4, №1. – P.NTF08 – NTF09 (стаття в матеріалах конференції).
17. Shabelnyk Yu.M., Cheshko I.V., Pazukha I.M., Protsenko I.Yu. Electrophysical Properties of Granular Film Alloys Based on Fe and Ag or Au // Proceedings of the 5-th Intern. Conference «Nanomaterials: Application and Properties–2015». – 2015. – V.4, №1. – P.NTF14 – NTF16 (стаття в матеріалах конференції).
18. Protsenko S.I., Hrychanovs'ka O.A., Odnodvoret L.V., Shumakova N.I., Protsenko I.Yu. Temperature and concentration dependence of anisotropic magnetoresistance film materials Proceedings of the 5-th Intern. Conference «Nanomaterials: Application and Properties–2015». – 2015. – V.4, №1. – P.NTF08 – NTF09 (стаття в матеріалах конференції).
19. Проценко С.І., Демиденко М.Г., Федченко О.В. Авторське свідоцтво «Обробка та аналіз експериментальних даних фізичних досліджень, отриманих методом еліпсометрії», №62750 від 01.12.2015 р.
20. Проценко І.Ю., Непійко С.О., Шенхензе Г., Олександровський Л.В., Кондрахова Д.М. Заявка на корисну модель «Чутливий елемент плівкового сенсора магнітного поля», реєстраційний № u2015 09908 від 22.10.2015 р.

Всього опубліковано 46 наукових робіт, у т.ч. 10 статей та розділ в монографії, які обліковуються наукометричною базою «Scopus», 2 статті в матеріалах конференцій, 26 тез доповідей.

**10. Використання результатів НДР у навчальному процесі та/або в промисловості (інших галузях):** впровадження у навчальний процес при підготовці нових лекційних курсів і лабораторних робіт з дисциплін «Електронні процеси в тонких шарах», «Матеріали мікро- і наноелектроніки», «Магніто-неоднорідні матеріали в приладобудуванні» та «Прилади і пристрої оптоелектроніки та спінтроніки».

**11. Опис інших видів діяльності у рамках НДР.**

У 2015 році виконавці д/б теми прийняли участь у створенні консорціуму в складі України, Молдови, Румунії та Словаччини, який почав роботу з оформлення заявки на конкурс HORIZON-2020. Керівником групи від СумДУ виступає керівник д/б теми – професор Проценко І.Ю. Крім того, було проведено великий об'єм робіт з підготовки докторанта і трьох аспірантів до захисту дисертаційних робіт.

**12. Кількість штатних співробітників** 2, кількість сумісників 8, молодих учених з оплатою 2, кількість студентів з оплатою 2, які брали участь у виконанні НДР

**13. Рішення наукової ради** від 26.11.2015р. протокол № 3 про затвердження звіту

**Керівник роботи:**

\_\_\_\_\_ Проценко І.Ю.  
підпис

**Проректор із наукової роботи:**

\_\_\_\_\_ Чорноус А.М.  
підпис

**МП**

