

**"Формування нанорозмірних магнітно-твердих плівок FePt, легованих Ag, Au, Cu, для підвищення щільності магнітного запису і збереження інформації "**

**"Формирование наноразмерных магнитно- твердых пленок FePt, легированных Ag, Au, Cu, для повышения плотности магнитной записи и сохранения информации "**

**"The formation of nanosized hard magnetic FePt films alloyed by Ag, Au, Cu for increase of magnetic recording density"**

1. Номер державної реєстрації теми - 0113U002512, НТУУ «КПІ» - 2607-ф.
2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Макогон Юрій Миколайович,  
д.т.н., проф. Макогон Юрій Николаевич, Prof. Makogon Yurii Nikolajovich
3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Створені нові засади формування стабільних нанорозмірних магнітно-твердих плівок FePt з впорядкованою фазою  $L1_0(\text{FePt})$  шляхом регулювання швидкості твердотільних реакцій за допомогою використання додаткових шарів легуючих елементів (Ag, Au, Cu) як регуляторів дифузійних потоків. Досягнуто зменшення на 100 К температури утворення магнітно-твердої фази  $L1_0(\text{FePt})$  за рахунок екстра рушійної сили при створенні додаткових меж розділу і напруженого стану, що прискорює процеси дифузійного упорядкування. Зменшення магнітної взаємодії між зернами і, як наслідок, збільшення коерцитивної сили досягається шляхом введення проміжних шарів елементів Ag, або Au, які нерозчинні в плівках  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ . Запропоновано новий науковий підхід застосування при термічній обробці замість вакууму атмосфери Ar з 3 об.%  $\text{H}_2$ , що дозволяє нейтралізувати оксидоутворюючу дію  $\text{O}_2$ . Втілення атомів водню в решітку фази  $L1_0(\text{FePt})$  викликає формування твердих розчинів, що забезпечує термічну стабілізацію розміру зерен фази  $L1_0(\text{FePt})$  на рівні 20 нм і мінімізацію поверхневої шорсткості плівкового матеріалу на рівні  $\pm 2$  нм.

Уперше отримано за рахунок збільшення рівня стискуючих напружень в плівці FePt орієнтаційне [001] зростання зерен фази  $L1_0(\text{FePt})$  з розташуванням вісі легкого намагнічування  $c$  перпендикулярно до поверхні підкладки монокристалічного  $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ . Створена і експериментально підтверджена модель, яка показує, що формування гомогенного шару FePt в плівках Pt/Fe і Pt/Ag/Fe на  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$  відбувається шляхом перетворень, індукованих зернограничною дифузією, при цьому гомогенний шар формується через рух границь зерен у напрямках, перпендикулярних до їх вихідного положення.

(рос.)

Созданы новые принципы формирования стабильных наноразмерных магнитно-твердых пленок FePt с упорядоченной фазой  $L1_0(\text{FePt})$  путем регулирования скорости твердотельных реакций с помощью использования дополнительных слоев легирующих элементов (Ag, Au, Cu) как регуляторов диффузионных потоков. Достигнуто уменьшение на 100 К температуры образования магнитно- твердой фазы  $L1_0(\text{FePt})$  за счет экстра движущей силы при создании дополнительных границ раздела и напряженного состояния, что ускоряет процессы диффузионного упорядочения. Уменьшение магнитного взаимодействия между зернами и, как следствие, увеличение коерцитивной силы достигается путем введения промежуточных слоев элементов Ag, или Au, какие нерастворимы в пленках  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ . Предложен новый научный подход применения при термической обработке вместо вакуума атмосферы Ar з 3 об.%  $\text{H}_2$ , что позволяет нейтрализовать окислительное воздействие  $\text{O}_2$ . Внедрение атомов водорода в решетку фазы  $L1_0(\text{FePt})$  вызывает формирование твердых растворов, которое обеспечивает термическую стабилизацию размера зерен фазы  $L1_0(\text{FePt})$  на уровне 20 нм и мінімізацію поверхностной шероховатости пленочного материала на уровне  $\pm 2$  нм.

Впервые получен за счет увеличения уровня сжимающих напряжений в пленке FePt ориентационный [001] рост зерен фазы  $L1_0(\text{FePt})$  с расположением оси легкого

намагнічivanja с перпендикулярно к поверхности подложки монокристаллического  $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ . Создана и экспериментально подтверждена модель показывающая, что формирование гомогенного слоя FePt в пленках Pt/Fe и Pt/Ag/Fe на  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$  происходит путем превращений, индуцируемых зернограницной диффузией, при этом гомогенный слой формируется через движение границ зерен в направлениях, перпендикулярных к их исходному положению.

(англ.)

New principles of stable nanoscale hard magnetic FePt films formation with ordered  $L1_0(\text{FePt})$  phase are created by the way of regulation the rate of solid state reactions by using additional layers of alloying elements (Ag, Au, Cu) as regulators of diffusion flows. It is reached the decrease of the hard magnetic  $L1_0(\text{FePt})$  phase formation temperature on 100 K due to extra driving force at the creation of additional interfaces and stress state that accelerate the diffusion processes of ordering. The reduction of magnetic interaction between grains and, consequently, increase in the coercivity is achieved by introducing of intermediate Ag, or Au layers, which are insoluble in  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$  films. It is proposed a new scientific approach the use at heat treatment instead of vacuum the Ar with 3 vol. %  $\text{H}_2$  atmosphere that allows to neutralize of oxidation. The implementation of the hydrogen atoms in  $L1_0(\text{FePt})$  phase lattice causes the formation of solid solutions, providing thermal stabilization of grain size  $L1_0(\text{FePt})$  phase near 20 nm and a surface roughness minimization of film material at  $\pm 2$  nm.

First obtained by increasing the compressive stresses level in the film on single crystalline  $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$  substrates the [001] orientation grain growth of  $L1_0(\text{FePt})$  phase grains with a c-axis of easy magnetization perpendicular to the substrate. It is created and experimental confirmed the model that the formation of a homogeneous FePt layer in Pt/Fe and Pt/Ag/Fe films on  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$  going through transformations induced by grain boundary diffusion, and the homogeneous layer formed through movement of grain boundaries in directions perpendicular to their original positions.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності :**

1. Макогон Ю.М., Павлова О.П., Сидоренко С.І., Владимирський І.А. Спосіб формування магнітного матеріалу на основі FePt для запису і зберігання інформації. Патент № 88888. пріоритет 10.04.2014. Заявник та патентовласник НТУУ «КПІ»
2. Макогон Ю.М., Павлова О.П., Сидоренко С.І., Владимирський І.А., Вербицька М.Ю., Фігурна О.В. Спосіб одержання середовища для магнітного запису і зберігання інформації на основі шаруватої нанорозмірної плівки  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Ag}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ . Патент на корисну модель № 94883. Пріоритет від 10.12.2014. Заявник та патентовласник НТУУ «КПІ»
3. Макогон Ю.М., Павлова О.П., Сидоренко С.І., Владимирський І.А. Вербицька М.Ю., О.В.Фігурна " Спосіб формування магнітного матеріалу на основі FePt з орієнтованою структурою зерен  $L1_0(\text{FePt})$  фази для перпендикулярного або повздовжнього магнітного запису і зберігання інформації." Патент на корисну модель № 98785. Пріоритет 12.05.2015. Заявник та патентовласник НТУУ «КПІ»

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Результати відповідають світовому рівню. Створені наукові основи контрольованого формування магнітно-твердих плівок FePt з поліпшеними магнітними властивостями Розроблено рекомендації щодо вибору технологічних параметрів процесу формування і стабілізації магнітно-твердих плівок FePt, застосування яких дозволить підвищити щільність магнітного запису і надійність збереження інформації термоактивованим методом.

#### **6.Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування плівок FePt з покращеними фізичними і експлуатаційними характеристиками - високою коерцитивною силою ( $H_c \sim 20\text{-}30$  кЕ), намагніченістю насичення ( $M_s \sim 1200$  емо/см<sup>3</sup>) підвищить щільність магнітного запису і збереження інформації до 1 Тбіт/см<sup>2</sup> Запропоновані матеріалознавчі підходи та методи мають універсальний характер і можуть бути застосовані при розробки нанотехнологій

виготовлення функціональних елементів нанoeлектроніки, нанoeлектрики, а також для покращення техніко-економічних показників виробництва мікроприладів різного функціонального призначення.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Одержані результати представляють практичний інтерес для галузей Мікроелектроніка. Мікроприладобудування: державного підприємства НДІ «ОРІОН» (розробка приладів з надвисокою щільністю запису і збереження інформації на магнітних носіях), для ВАТ “Електротехнічний завод”, «Квазар - Мікро. Компоненти та системи», “Мікрон” м.Київ (розробка перспективної нанотехнології отримання стабільних нанорозмірних металевих плівок з необхідними властивостями як функціональних елементів мікроприладів і подальше застосування в пристроях з великою щільністю магнітного запису і збереження інформації).

#### **8. Стан готовності розробки.**

Створені нові засади формування стабільних нанорозмірних магнітно-твердих плівок FePt з впорядкованою фазою  $L1_0(\text{FePt})$  регулюванням швидкості твердотільних реакцій за допомогою використання додаткових шарів легуючих елементів (Ag, Au, Cu) як регуляторів дифузійних потоків.

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

Результати НДР впроваджено у навчальний процес: розроблено 2 нових розділи в лекційних курсах з дисциплін "Тонкоплівкове матеріалознавство", "Матеріалознавчі основи інженерії поверхні" із тематичними розділами: "Багатошарові гетероструктури в магнітних нанорозмірних матеріалах", "Нанорозмірні плівкові матеріали для високої щільності магнітного запису і збереження інформації", під час виконання курсових, дипломних та магістерських робіт. Оновлені цикли лабораторних робіт “Рентгеноструктурний фазовий аналіз нанорозмірних плівок”, “Резистометричний аналіз нанорозмірних плівок”, “Оцінка напруженого стану нанорозмірних плівкових композицій”, “Оцінки розподілу хімічного складу плівки методом резерфордівського зворотнього розсіювання”, "Особливості дослідження морфології поверхні нанорозмірних плівок за допомогою атомно- силової мікроскопії", "Визначення магнітної структури нанорозмірних плівок методом MCM (магнітно-силової мікроскопії)", "Оцінка магнітних властивостей методом SQUID – магнетометрії", "Розрахунок анізотропії магнітної енергії нанорозмірних плівок по кривим намагнічування". Захищено 1 кандидатську і підготовлено до захисту 1 кандидатську дисертації ; видано монографія (1 розділ) та 1 підручник з грифом МОН; опубліковано: 17 статей (у тому числі 3 зі студентами), 6 статей у міжнародних виданнях, (16 публікацій у журналах наукометричних БД); зроблено 49 доповідей на 27 конференціях (з них 29 – на міжнародних), студентами - 19 доповідей; одержано 3 патента України. До виконання НДР залучено 21 студентів. В рамках сумісного науково-дослідницького українсько-німецького проекту між кафедрами фізики металів НТУУ"КПІ" та фізики поверхні технічного університету м. Хемніц (Німеччина) за програмою ім. Леонарда Ейлера ДААД за грантами ID: 55576194 (2012-2013 pp.), ID: 57042790 (2013-2014pp), ID: 57094397 (2014-2015pp) студентами захищено 5 магістерських робіт, 2 дипломних проектів спеціаліста та за грантом ID:(2015-2016pp) виконується 3 магістерських роботи.

**Форма участі інвестора** (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті%, частка від прибутку%, інше)

Інвестор не приймав участі .

**11. Обсяг інвестицій** (необхідна для результатів проекту сума інвестицій в доларах США).

оцінка - 100000 \$

**12. Мета інвестицій** (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше)

Створення нового підприємства

**13. Назва підрозділу, телефон, E-mail**

НТУУ "КПІ", інженерно-фізичний факультет, кафедра фізики металів,  
(044) 204-97-74; 20- 29; [y.makogon@kpi.ua](mailto:y.makogon@kpi.ua)

**14. Фото.**

**2607-ф "Формування нанорозмірних  
магнітно-твердих плівок FePt,  
легованих Ag, Au, Cu, для  
підвищення щільності магнітного  
запису і збереження інформації "**

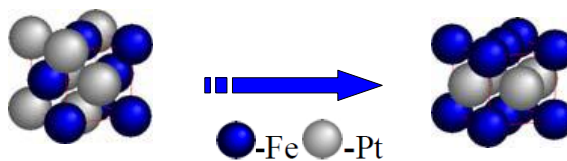
**Керівник Ю.М. Макогон**

*Національний технічний університет України  
"Київський Політехнічний Інститут",  
інженерно-фізичний факультет, кафедра фізики металів  
03056, Проспект Перемоги, 37, Київ, Україна.  
e-mail: [y.makogon@kpi.ua](mailto:y.makogon@kpi.ua)*

Отримані у роботі наукові результати і встановлені фізичні закономірності дозволили розробити рекомендації щодо вибору технологічних параметрів процесу формування нанорозмірних плівок  $L1_0(\text{FePt})$  для термічно активованого магнітного способу запису підвищеної щільності і термостабільності зберігання інформації.

*Невпорядкована  
магнітно-м'яка  $A1(\text{FePt})$*

*Впорядкована  
магнітно-тверда  $L1_0(\text{FePt})$*



**Критерій стабільності збереження записаної інформації**

$$K_u \cdot V \geq 60k_b \cdot T$$

$K_u$  – енергія магнітокристалічної анізотропії

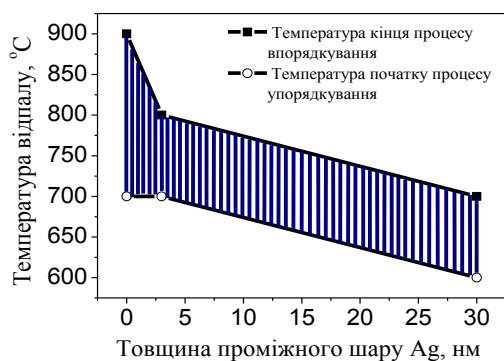
$V$  – об'єм зерна

$k_b$  – константа Больцмана

$T$  – абсолютна температура

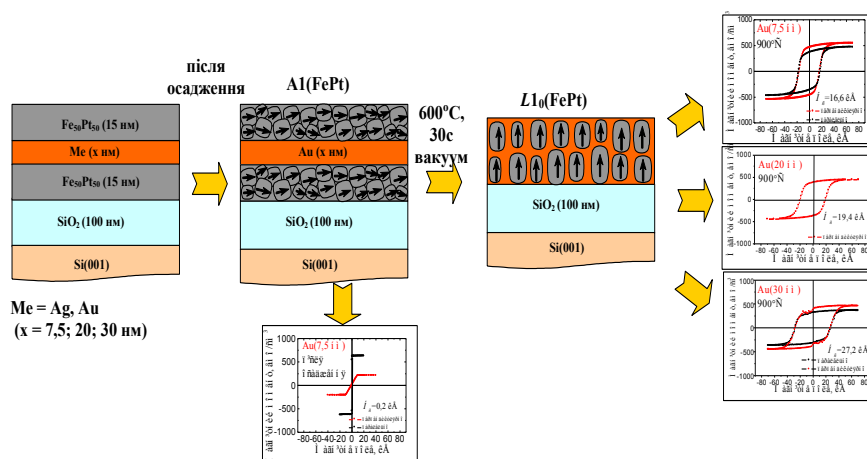
Застосування додаткових шарів елементів Au, Ag, які не розчиняються в фазі  $L1_0(\text{FePt})$  дали можливість:

1. Знизити на 100 K температуру формування магнітно-твердої фази при збільшенні товщини проміжного шару Au, Ag

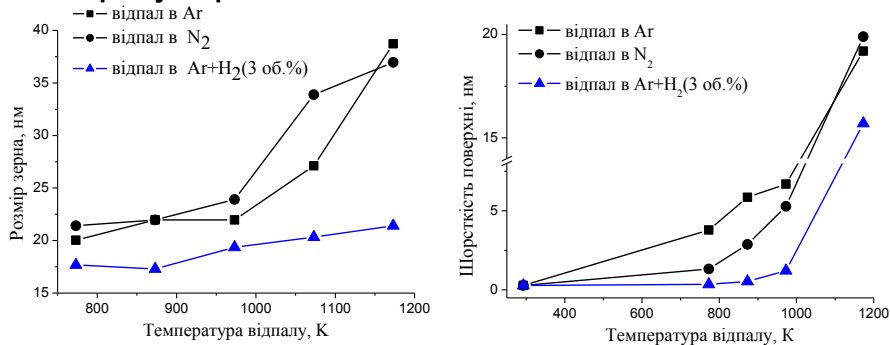


Залежність температурного інтервалу впорядкування нанорозмірної плівкової композиції  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}(15 \text{ nm})/\text{Ag}(x \text{ nm})/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}(15 \text{ nm})/\text{SiO}_2(100 \text{ nm})/\text{Si}(001)$ , (де  $x = 0 \text{ nm}, 3 \text{ nm}, 30 \text{ nm}$ ) від товщини проміжного шару

2. Зменшити обмінну магнітну взаємодію між зернами - підвищити коерцитивну силу ( $H_c$ )

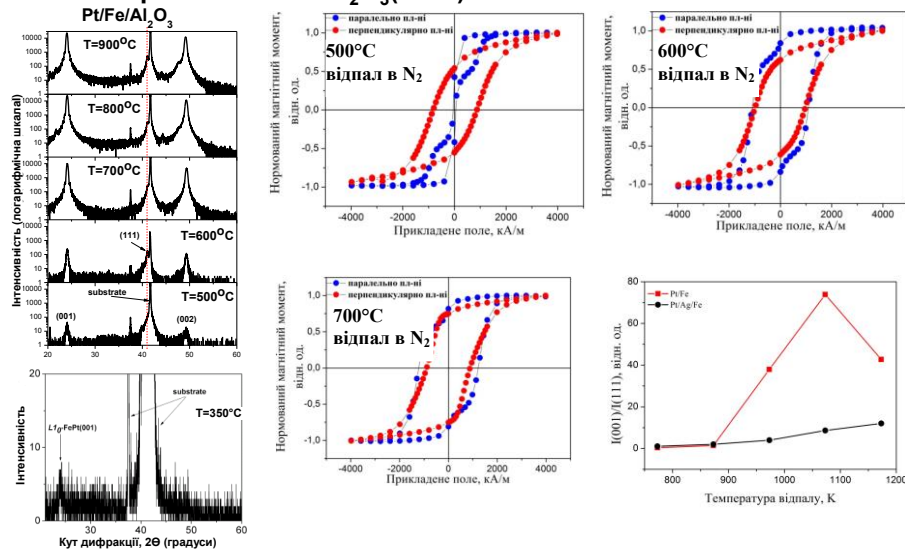


3. Запропоновано новий науково обґрунтований підхід застосування при термічній обробці замість вакууму атмосфери Ar з 3 об.%  $H_2$ , що дозволяє нейтралізувати оксидоутворюючу дію  $O_2$ . Проникнення атомів водню в ґратку фази  $L1_0(FePt)$  викликає формування твердих розчинів, що забезпечує термічну стабілізацію розміру зерен фази  $L1_0(FePt)$  на рівні 20 нм і мінімацію поверхневої шорсткості плівкового матеріалу на рівні  $\pm 2$  нм.



Зменшення шорсткості поверхні, розміру зерна та підвищення його термічної стійкості

4. За рахунок збільшення рівня стискаючих напружень в плівці FePt отримано орієнтаційне [001] зростання зерен фази  $L1_0(FePt)$  з розташуванням вісі легкого намагнічування с перпендикулярно до поверхні підкладки монокристалічного  $Al_2O_3(0001)$ .



## 15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. O.P. Pavlova, T.I. Verbitska, I.A. Vladymyrskiy, S.I. Sidorenko, G.L. Katona, D.L. Beke, G. Beddies, M. Albrecht, I.M. Makogon. Structural and magnetic properties of annealed FePt/Ag/FePt thin films. Applied Surface Science, 2013. – 266.-P. 100-104.
2. С.І. Сидоренко, Ю.М. Макогон, О.П. Павлова. Нанорозмірні магнітно-тверді плівки FePt для підвищення щільності магнітного запису і збереження інформації. Збірник наукових праць «Актуальні проблеми сучасного матеріалознавства», присвяченого 95-річчю від часу заснування НАН України, 2013. 14 сторінок.
3. I.A. Vladymyrskiy, O.P. Pavlova, T.I. Verbitska, S.I. Sidorenko, G.L. Katona, D.L. Beke, Iu.M. Makogon. Influence of intermediate Ag layer on the phase formation in Fe/Pt; Fe/Ag/Pt thin films on the oxidized silicon. – Vacuum, 2014. – 101. – P.33-37.

4. Ю.Н. Макогон, Е.П. Павлова, С.И. Сидоренко, Т.И. Вербицкая, И.А. Владимирский. Влияние Ag на фазовые превращения и магнитные свойства в наноразмерных пленочных композициях Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub> (15 нм)/Ag/Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 нм)/SiO<sub>2</sub>/Si(001) при отжигах в вакууме //Металлофизика и новейшие технологии.- 2013. – Т. 35, № 4 . – С. 553-567.
5. Iu.N. Makogon, E.P. Pavlova, S.I. Sidorenko, G. Beddies, D.L. Beke, A. Csik, T.I. Verbitska. Formation and thermal stability of NiSi phase in Ni(30 nm)/Pt(2 nm;6 nm)/Si<sub>ep</sub>(50 nm)/Si(001) thin film systems // Functional Materials. -2013. - № 3 . – P. 332-339
6. Макогон Ю.М. Формирование стабильных наноразмерных пленок FePt для высокой плотности магнитной записи и хранения информации. Материалы китайско-украинского международного научного совещания «Новые датчики и измерительные системы». 8-13 декабря 2012. 5 с.
7. Ю.М. Макогон, О.П. Павлова, С.И. Сидоренко, Т.И. Вербицкая, И.А. Владимирский. Вплив Cu на формування хімічно впорядкованої фази L1<sub>0</sub>(FePt) в нанорозмірних плівках Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>/Cu/Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub> на підкладці SiO<sub>2</sub>/Si(001) // Металлофизика и новейшие технологии.- 2013. - № 35(10) . – С.1425-1436
8. Iu.Makogon, I A Vladymyrskiy, M. Albrecht et al. Influence of the annealing atmosphere on the structural properties of FePt thin films // Journal of Applied Physics. –114, 164314 (2013). P. 1- 5. (Impact Factor: 2.2).
9. S.E. Bogdanov, G. Beddies, M. Daniel, Yu.N. Makogon. Diffusion processes in Ti-Si systems during silicide formation. Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies. 2013, V.11, No.2, P. 295-302.(Impact Factor: 0.143).
- 10 Ю.М. Макогон, О.П. Павлова, С.И. Сидоренко, Т.И. Вербицкая, М.Ю. Вербицкая, О.В. Фігурна. Формування хімічно впорядкованої фази L1<sub>0</sub>(FePt) в нанорозмірній плівковій композиції Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 нм)/Au(30 нм)/Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 нм) при відпалі в вакуумі // Металлофизика и новейшие технологии.- 2014. Т.36,- № С. 1513 – 1521. (Impact Factor: 0.143).
- 11 Iu.Makogon, I A Vladymyrskiy, M. Albrecht et al. Influence of the annealing atmosphere on the structural properties of FePt thin films // Journal of Applied Physics. –114, 164314 (2013). P. 1- 5. (Impact Factor: 2.2).
- 12 В. Фігурна, О.П. Павлова, Т.И. Вербицкая, И.А. Владимирский, С.И. Сидоренко, Г. Беддіс, М. Альбрехт, Ю.М. Макогон. Дифузійне фазоутворення в шаруватих нанорозмірних плівкових композиціях Pt(15 нм)/Fe(15 нм) і [Pt(7,5 нм)/Fe(7,5 нм)]<sub>2</sub> на підкладках SiO<sub>2</sub>(100 нм)/Si(001) // Металлофизика и новейшие технологии.- 2014. Т.36,- № (10 ). – С.1359 - 1369. (Impact Factor: 0.143).
- 13 I.A. Vladymyrskiy, M. Albrecht, I.M. Makogon et al. Influence of the substrate choice on the L1<sub>0</sub> phase formation of post – annealed Pt/Fe and Pt/g/Fe thin films// Journal of Applied Physics – 116, 044310, (2014), P. 1- 7. (Impact Factor: 2.2). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4891477>
- 14 Iu.Makogon, I A Vladymyrskiy, M. Albrecht, N Y Safonova et al. Diffusion and solid state reactions in Fe/Ag/Pt and FePt/Ag thin-film systems 2015 J. Phys. D: Appl. Phys. 48 175001 P. 1- 7. (Impact Factor: 2.2).
- 15 Круглов І.О., Владимирський І.А., Вербицка М.Ю., О.В.Фігурна. Вплив товщини проміжного шару Ag на фазові перетворення в тонкоплівкових композиціях FePt/Ag/FePt. Веснік КПІ 2015, т. №. 5 с.53-64
- 16 Yu.M. Makogon, O.P. Pavlova, S.I. Sidorenko, T.I. Verbitska, M.Yu. Verbitska and O.V. Fihurna. Influence of Copper on A1 to L1<sub>0</sub> Phase Transformation in Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub> Films.-Metallfiz. Noveishie Technol, 2015. V37, № 4, pp. 487-498.
- 17 “Low-temperature formation of the FePt phase in the presence of an intermediate Au layer in Pt/Au/Fe thin films" by Vladymyrskiy, Igor; Gafarov, Arsen; Burmak, Andrii; Sidorenko, Sergiy; Katona, Gabor; Safonova, Nataliia; Ganss, Fabian; Beddies, Gunter; Albrecht, Manfred; Makogon, Yuriy; Beke, Dezso  
Article reference: JPhysD-106480
18. Makogon Iu.M., Pavlova O.P., Sidorenko S.I., Shkarban R.A., Figurna O.V., Csik A., Beke D.L., Beddies G., Daniel M., Albrecht M. Influence of deposition condition and thermal treatment on

phase formation in nanoscaled  $\text{CoSb}_x$  (30 nm) ( $2 < x < 4.5$ ) films. XIV International Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanostructures (ICPTTFN- XIV). May, 20-25, 2013. Ivano-Frankivsk, Ukraine.

**19.** Vladymyrskyi I.A., Verbitska T.I., Pavlova O.P., Sidorenko S.I., Katona G.L., Beke. D.L., Makogon I.M. Effect of the Ag intermediate layer on the structure and magnetic properties of annealed FePt/Ag/FePt thin films. XIV International Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanostructures (ICPTTFN- XIV). May, 20-25, 2013. Ivano-Frankivsk, Ukraine.

**20.** Ю.Н. Макогон, Е.П. Павлова, С.И. Сидоренко, Р.А. Шкарбань, Е.В. Фигурная. Фазообразование в осажденных наноразмерных пленках на основе  $\text{CoSb}_3$  при отжигах в вакууме. VII Международная научная конференция «Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах». 9-12 июня 2013 года, г. Минск. Беларусь.

**21.** Iu. Makogon, A.V. Pryhara, N.Y. Safonova. Formation of the hard magnetic  $L1_0$  phase in  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Cu}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$  nanoscaled films at annealing in vacuum. 6 Міжнародна конференція студентів і аспірантів «До високих технологій на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного моделювання». 10-12 травня 2013р. Київ, Україна. С.22-23.

**22.** Круглов І.О., Владимирський І.А., Макогон Ю.М. Вплив атмосфери відпалу на структуру плівок FePt/Cu/FePt та  $[\text{FePt}/\text{Cu}/\text{FePt}]_{2x}$ . 6 Міжнародна конференція студентів і аспірантів «До високих технологій на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного моделювання». 10-12 травня 2013р. Київ, Україна. С.15-16.

**23.** Гафаров А.Е., Владимирський І.А., Макогон Ю.М. Вплив атмосфери відпалу на структуру тонких плівок FePt. 6 Міжнародна конференція студентів і аспірантів «До високих технологій на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного моделювання». 10-12 травня 2013р. Київ, Україна. С.10-11.

**24.** Холіна Є.О., Владимирський І.А., Макогон Ю.М. Вплив атмосфери відпалу на фазовий склад і структуру нанорозмірних плівок FePt. 6 Міжнародна конференція студентів і аспірантів «До високих технологій на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного моделювання». 10-12 травня 2013р. Київ, Україна. С.27-28.

**25.** Макогон Ю.Н., Павлова Е.П., Сидоренко С.И., Вербицкая Т.И., Владимирский И.А., Фигурная Е.В., Альбрехт М. Наноразмерные пленки FePt с дополнительным слоем Au для повышенной плотности записи и хранения информации. 23 Международная конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо-2013), 8-13.09.2013, г.Севастополь. С.

**26.** Макогон Ю.Н., Павлова Е.П., Сидоренко С.И., Вербицкая Т.И., Владимирский И.А., Фигурная Е.В. Влияние промежуточного слоя Cu на фазовый переход  $A1 \rightarrow L1_0(\text{FePt})$  в наноразмерных пленочных композициях  $[\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Cu}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}]_n$ . IV Международная научная конференция «Наноразмерные системы: строение, свойства, технологии» (НАНСИС-2013). 19-22 ноября 2013 г. Киев. Украина.

**27.** I.A. Vladymyrskyi, M.V. Karpets, F. Ganss, G.L. Katona, D.L. Beke, S.I. Sidorenko, T. Nagata, T. Nabatame, T. Chikyow, G. Beddies, M. Albrecht, and Iu. M. Makogon. Influence of the annealing atmosphere on the structural properties of FePt thin films. International Conference of Diffusion in Materials. Münster, Germany. August. 17-22, 2014.

**28.** G. L. Katona, I. A. Vladymyrskyi, N. Safonova, Iu.N. Makogon, M. Albrecht, D.L. Beke. Diffusion and solid state reaction in FePt thin films at low temperatures. Conference of Diffusion in Materials (DIMAT-2014). Münster, Germany. August. 17-22, 2014.

**29.** Гафаров А.Е., Владимирський І.А., Макогон Ю.М. Процеси структуро- та фазоутворення в плівкових композиціях Pt(15 нм)/Ag(5 нм)/Fe(15 нм). Сьома міжнародна конференція студентів та аспірантів «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів». 16 – 17 квітня 2014 року. Кафедра фізики металів НТУУ «КПІ».

**30.** N.Yu. Safonova, G.L. Katona, T.I. Verbitska, S.I. Sidorenko, O.P. Pavlova, I.A. Vladymyrskyi, Iu.N. Makogon, F. Ganss, M. Albrecht, D.L. Beke. Diffusion processes in Fe/Pt thin-film systems



with Ag intermediate layer. Сьома міжнародна конференція студентів та аспірантів «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів». 16 – 17 квітня 2014 року. Кафедра фізики металів НТУУ «КПІ».

**31.**Круглов І.О., Владимирський І.А., Макогон Ю.М. Структура та фазові перетворення в плівкових композиціях FePt(15нм)/Ag(7,5нм)/FePt(15нм). Сьома міжнародна конференція студентів та аспірантів «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів». 16 – 17 квітня 2014 року. Кафедра фізики металів НТУУ «КПІ».

**32.**Холіна Є.О. Формування фазового складу нанорозмірних багатошарових плівкових композицій на основі Fe/Pt. Сьома міжнародна конференція студентів та аспірантів «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів». 16 – 17 квітня 2014 року. Кафедра фізики металів НТУУ «КПІ».

**33.**Глотов А.А. Методика визначення параметрів кристалічної ґратки в нанорозмірних плівкових композиціях Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>/Au(20нм) Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>/SiO<sub>2</sub>(100нм)/ Si(001) засобами комп'ютерних технологій. Сьома міжнародна конференція студентів та аспірантів «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів». 16 – 17 квітня 2014 року. Кафедра фізики металів НТУУ «КПІ».

**34.**Волошко С.М., Макогон Ю.М., Холявко В.В. Реалізація ефективної програми підготовки фахівця-металофізика з англійської мови.«Инновационные технологии в контексте инновационной подготовки специалиста» Київ, НТУУ"КПІ" 0.2.2014, НТУУ"КПІ"

10. PhD student I.A. Vladymyrskyi, Prof. O.P. Pavlova, Prof. S.I. Sidorenko, Prof. Iu.M. Makogon. Innovative nano-structured thin films for ultrahigh density magnetic recording application. Nordic Innovation Conference 2014. Gjovik-Norvay, October 16-17, 2014

**35.** R. A. Shkarban, Ya. S. Peresunko, E. P. Pavlova, S. I. Sidorenko, A. Csik\*, Yu. N. Makogon THERMAL ACTIVATED PROCESSES OF PHASE COMPOSITION AND STRUCTURE FORMATION OF NANOSCALED Co-Sb FILMS. E-MRS 2014 Fall Meeting, 15-19 Sept.2014, Warschaw, Poland.

**36.** I.A. Vladymyrskyi, T.I. Verbitska, O.P. Pavlova, S.I. Sidorenko, I.M. Makogon FePt THIN FILMS FOR ULTRAHIGH DENSITY MAGNETIC RECORDING APPLICATION. E-MRS 2014 Fall Meeting, 15-19 Sept.2014, Warschaw, Poland.

**37.** T.I. Verbitska, I.A. Vladymyrskyi, O.V. Fihurna, S.I. Sidorenko, E.P.Pavlova, Iu.N.Makogon. INFLUENCE OF Cu ON FORMATION OF CHEMICALLY ORDERED L<sub>10</sub>(FePt) PHASE IN NANOSCALED Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>/Cu/Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub> FILMS ON SiO<sub>2</sub>/Si(001) SUBSTRATE. E-MRS 2014 Fall Meeting, 15-19 Sept.2014, Warschaw.

**38.** О.В. Фігурна, И.А. Владимирский, Ю.М. Макогон, И.С. Котенко, Т.И. Вербицкая, В.С. Костенко. ВПЛИВ РОЗТАШУВАННЯ ДОДАТКОВОГО ШАРУ Au НА ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЯХ Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>-Au. Матеріали III Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» 19-20 листопада 2014 року, м. Тернополь, с.36

**39.**О.П. Павлова, М.Ю. Вербицкая, М.Н. Шамис, К.В. Сліпченко ВПЛИВ AU НА СТРУКТУРУ І МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ШАРУВАТИХ ПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЙ [Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 нм)/Au/Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>(15 нм)]n/ SiO<sub>2</sub>(100 нм)/Si(001), де n=1, 2 Матеріали III Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» 19-20 листопада 2014 року, м. Тернополь, с.30

**40.**О.В. Фігурна, М.Ю. Вербицкая, М. Шамис, Ю.М. Макогон ВПЛИВ Ag НА ФОРМУВАННЯ ФАЗИ L<sub>10</sub>(FePt) ТА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЙ Fe<sub>50</sub>Pt<sub>50</sub>-Ag. Матеріали 8-й міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ФІЗИКО-

МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА КОМП'ЮТЕРНОГО КОНСТРУЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ» 23-24 квітня 2015 року Київ, Україна, с.87

41.О.В. Фігурна, М.Ю. Вербицька, М.Н. Шамис, Ю.М. Макогон ВПЛИВ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ НА ФОРМУВАННЯ ФАЗИ  $L1_0$ (FePt) У ПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЯХ Fe-Pt З ДОДАТКОВИМИ ШАРАМИ Au ТА Ag. Матеріалі 5-й Международной научно-практической конференции «Структурная релаксация в твердых телах» 26-28 мая 2015года г. Винница, Украина, с.92-93

42.Ю. М. Макогон, С.І. Сидоренко, Р. А. Шкарбань, Т. С. Досенко. Механічні напруження та їх вплив на структуру нанорозмірних плівок фазового складу ( $\text{CoSb}_3+\text{Sb}$ ). 5-та Міжнародна науково-практична конференція «Структурна релаксація у твердих тілах». – Вінниця, 26-28 травня, - 2015, с. 97-98

43.К.В, Сліпченко, Т.І. Вербицька, Ю.М. Макогон ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПАЛУ НА СТРУКТУРУ І НАПРУЖЕНИЙ СТАН В ПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЯХ  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ (15 нм),  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ (30нм) ОСАДЖЕНИХ НА  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  (001) Матеріалі 5-й Международной научно-практической конференции «Структурная релаксация в твердых телах» 26-28 мая 2015года г. Винница, Украина, с.80-91

44.10. K.V.Slipchenko, Yu. Makogon, M. Yu. Verbitskaja, O.V.Fihurna THE FORMATION  $L1_0$  PHASE IN MULTILAYERED FILM COMPOSITION  $\text{Pt}(4,2\text{nm})/\text{Fe}(3,2\text{nm})]_{x4}/\text{Al}_2\text{O}_3$  Материали VI International Conference for Young Scientists LOW TEMPERATURE PHYSICS (ICYS–LTP–2015), June 2 - 5, 2015, Kharkiv

45.О. V. Fihurna, K.V. Slipchenko, S.I. Sidorenko, I.O. Kruglov, Iu.N.Makogon EFFECT OF ADDITIONAL Ag LAYER LOCATION ON ORDERED  $L1_0$ (FePt) PHASE FORMATION IN NANOSCALED  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$  FILMS ON  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$  SUBSTRATE. E-MRS 2015 Fall Meeting, September 15th-18th 2015, Warschaw

46.Т.І. Verbytska, М. Yu. Verbytska, А.І. Falovska, S.I. Sidorenko, Iu.N.Makogon EFFECT OF Au ON ORDERED  $L1_0$ (FePt) PHASE FORMATION IN NANOSCALED  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$  FILMS ON  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$  SUBSTRATE. E-MRS 2015 Fall Meeting, September 15th-18th 2015, Warschaw\_2015

47. І.А. Vladymyrskyi, S.I. Sidorenko, Iu.M. Makogon. FePt thin films – prospective materials for ultrahigh density magnetic recording . 8<sup>th</sup> International NATO Advanced research Workshop "Functional nanomaterials and Devices for Electronics, Sensors, Energy Harvesting" 13- 16 April 2015, Lviv, Ukraine. P.57-60

48. Сліпченко К.В., Вербицька М.Ю., Макогон Ю.М.ФОРМУВАННЯ ФАЗИ  $L1_0$  В ПЛІВКАХ СПЛАВУ  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$  НА ПІДКЛАДІНКАХ  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  VII-а Міжнародна науково-технічної конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2015»21-22 травня 2015 р., Київ

Конференція присвячується 90 річчю кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів Національного технічного університету "КПІ".14., С. 201

49. Фигурная О.В., Вербицкая М.Ю., Макогон Ю.Н., Сидоренко С.И., Вербицкая Т.И Влияние промежуточных слоев Ag, Au, Cu в наноразмерных пленочных композициях  $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$  на формирование фазы  $L1_0$ - FePt и ее магнитные свойства. 5-я Международная конференция HighMatTech. – Киев, 05-08 октября 2015, С.139

**16. Ключові слова до розробки :** нанорозмірні плівки, магнітно-тверда фаза  $L1_0$ (FePt), впорядкування, термічна обробка, фазові перетворення, магнітні властивості.