

Формування фазового складу, структури плівок FePd, FePt – середовища магнітного запису і зберігання інформації підвищеної щільності

Формування фазового складу, структури плівок FePd, FePt – середовища магнітного запису і зберігання інформації підвищеної щільності

The formation of phase composition, structure of FePd, FePt films – magnetic recording media and storage information of high density

1. **Номер державної реєстрації теми - 0116U003691**
2. **Науковий керівник - д.т.н., проф. Макогон Ю.М., Макогон Ю.Н., Makogon I.M.**

3. Суть розробки, основні результати.
(укр.)

Створені наукові основи формування нанорозмірних, термічно стабільних плівок на основі FePd, FePt з магнітно-твердою фазою $L1_0$. Запропоновано новий науковий підхід щодо застосування механічних напружень в нанорозмірних плівках на основі FePt і FePd для керування температурою хімічного упорядкування, формуванням фазового складу, структури та магнітними властивостями. При осадженні плівок методами фізичної конденсації, контролювати початковий напружений стан у шарі $Fe_{50}Pt_{50}$ плівкової композиції $Fe_{50}Pt_{50}/Me/Fe_{50}Pt_{50}$, де Me -(Au, Ag, Cu) можна зміненням товщини, кількості додаткових шарів металу, їх розташуванням, типом підкладки ($SiO_2(100\text{ нм})/Si(001)$ або Al_2O_3), швидкістю нагріву та газовим середовищем відпалу (вакуум, азот, Ar + 3 at.% H і H_2).

Розроблені практичні рекомендації щодо контролю процесів хімічного упорядкування при твердофазній реакції $A1 \rightarrow L1_0$ за рахунок зміни рівня і знака механічних напружень в плівках. Отримано нанорозмірні плівки на основі FePt і FePd зі зниженою температурою формування фази $L1_0$ та підвищеною термічною стабільністю фазового складу і структури, а також поліпшеними магнітними властивостями – збільшеними H_c , M_s , M_r , орієнтацією вісі легкого намагнічування c перпендикулярно, або паралельно площині плівки. Застосування цих плівок в якості середовища магнітного запису дозволить підвищити щільність магнітного запису термоактивованим методом та стабільність зберігання інформації.

(рос.)

Созданы научные основы формирования наноразмерных, термически стабильных пленок на основе FePd, FePt с магнитно-твердой фазой $L1_0$. Предложен новый научный подход относительно применения механических напряжений в наноразмерных пленках на основе FePt и FePd для управления температурой химического упорядочения, формированием фазового состава, структуры и магнитными свойствами. При осаждении пленок методами физической конденсации, контролировать начальное напряженное состояние в слое $Fe_{50}Pt_{50}$ пленочной композиции $Fe_{50}Pt_{50}/Me/Fe_{50}Pt_{50}$, где Me -(Au, Ag, Cu) можно изменением толщины, количества дополнительных слоев металла, их расположением, типом подложки ($SiO_2(100\text{ нм})/Si(001)$ или Al_2O_3), скоростью нагрева и газовой средой отжига (вакуум, азот, Ar + 3 at.% H и H_2).

Разработаны практические рекомендации для контроля процессов химического упорядочения при твердофазной реакции $A1 \rightarrow L1_0$ за счет изменения уровня и знака механических напряжений в пленках. Получены наноразмерные пленки на основе FePt и FePd со сниженной температурой формирования фазы $L1_0$ и повышенной термической стабильностью фазового состава и структуры, а также улучшенными магнитными свойствами – увеличенными H_c , M_s , M_r , ориентацией оси легкого намагничивания c перпендикулярно, или параллельно плоскости пленки. Применение этих пленок в качестве среды магнитной записи позволит повысить плотность магнитной записи термоактивированным методом и стабильность хранения информации.

(англ.)

Scientific bases of formation nanoscale thermally stable films on the basis of FePd, FePt with hard magnetic $L1_0$ phase are created. The new scientific approach concerning application of mechanical stress in nanoscale films on the basis of FePt and FePd for management in temperature of

chemical ordering, is offered by formation of phase composition, structure and magnetic properties. At deposition of films by methods of physical condensation to supervise an initial stress in Fe₅₀Pt₅₀ layer of Fe₅₀Pt₅₀/Me/Fe₅₀Pt₅₀ film composition where Me - (Au, Ag, Cu) is possible by change of a thickness, quantity of additional layers of metal, their location, substrate type (SiO₂(100 nm)/ Si(001) or Al₂O₃), speed of heating and annealing atmosphere (vacuum, nitrogen, Ar + 3 at. % H and H₂).

The practical recommendations concerning the control of processes of chemical ordering are developed at solid-phase reactions of $A1 \rightarrow L10$ at the expense of change of level and a sign on mechanical stress in films. Nanoscale films on the basis of FePt and FePd with the lowered temperature of L10 phase formation and the raised thermal stability of phase composition and structure, and also the improved magnetic properties –higher H_c , M_s , M_r , orientation of easy c -axis magnetization with perpendicular, or in parallel a film plane are received. The application of these films as magnetic recording medial allow increase the magnetic recording density by HAMR method and stability of storage of the information.

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

- І.А. Владимирський, А.Є. Гафаров, Ю.М. Макогон, С.І.Сидоренко. Спосіб формування магнітного матеріалу на основі FePt. Патент № 107864, Приоритет 24.06.2016.
- Шкарбань Р.А., Сидоренко С.І., Макогон Ю.М. Спосіб формування плівкового матеріалу для термоелектричних пристроїв. Патент України на корисну модель МПК (2018.01) H01L 35/18. (zareestrovano v derzhavnomu reestri patentiv v Ukraїni).
- Сидоренко С.І., Шкарбань Р.А., Макогон Ю.М. Формирование фазового состава и структуры в термоэлектрических наноразмерных пленках на основе скуттерудита CoSb₃" свідоцтво № 71612 (zareestrovano v Derzhavnomu reestri svidoctv pro reestracію avtorsьkogo prava na tvір 24.04.2017).
- Сидоренко С.І., Шкарбань Р.А., Макогон Ю.М. Фазовий склад, структура і рівень механічних напружень в нанорозмірних плівках Co-Sb – функціональних елементів термоелектрики" свідоцтво № 71613 (zareestrovano v Derzhavnomu reestri svidoctvo pro reestracію avtorsьkogo prava na tvір 24.04.2017).

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. Одержані результати і встановлені закономірності не мають аналогів в Україні. Вирішення матеріалознавчих задач при формуванні фазового складу, структури плівок FePd, FePt як середовища магнітного запису і зберігання інформації підвищеної щільності та отримані закономірності є науковою основою для розробки технології термічно активованого магнітного запису і зберігання інформації. Запропоновані підходи та методи мають універсальний характер і можуть бути застосовані при виготовленні функціональних елементів наноелектроніки, наноелектрики.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Розроблено рекомендації щодо вибору технологічних параметрів процесу формування і стабілізації магнітно-твердих плівок FePd, FePt з покращеними фізичними і експлуатаційними характеристиками - високою коерцитивною силою ($H_c \sim 5-27$ кЕ), намагніченістю насичення ($M_s \sim 1200$ емо/см³), застосування яких дозволить підвищити щільність магнітного запису і надійність зберігання інформації. Запропоновані матеріалознавчі підходи та методи мають універсальний характер і можуть бути застосовані при розробці нанотехнологій виготовлення функціональних елементів наноелектроніки, наноелектрики, 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 державного підприємства «Квазар – Мікро», НДІ «ОРІОН» (розробка приладів з надвисокою щільністю запису і збереження інформації на магнітних носіях), для ВАТ «Електротехнічний завод», «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 наукові основи формування нанорозмірних, термічно стабільних плівок на основі FePd, FePt з магніто-твердою фазою $L1_0$. Запропоновано новий науковий підхід щодо застосування механічних напружень в нанорозмірних плівках на основі FePt і FePd для керування температурою хімічного упорядкування, формуванням фазового складу, структури та магнітними властивостями.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати НДР впроваджено в навчальний процес: розроблено 2 нових розділи: "Керування процесами хімічного упорядкування в плівках FePd і FePt"; "Підвищення щільності магнітного запису і зберігання інформації при застосуванні термоактивованого методу в лекційних курсах з дисциплін "Матеріалознавство функціональних тонких плівок та покриттів", "Тверді розчини та динаміка кристалічної ґратки", "Фізика поверхні границь розділу тонких плівок". Оновлено 12 лабораторних робіт. Захищено 1 кандидатську дисертацію; видано 1 монографію, опубліковано 17 статей (у тому числі 6 – зі студентами) в журналах, що входять до наукометричних баз даних, з них 6 – у міжнародних виданнях; зроблено 31 доповідей на 17 конференціях (з них 29 – на міжнародних, 21 - со студентами), одержано 2 патенти України та 2 авторських свідоцтва на твір. Захищено 8 магістерських робіт та 7 дипломних бакалаврських робіт.

10. Назва підрозділу, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, інженерно-фізичний факультет, кафедра фізики металів,
(044) 204-97-74; y.makogon@kpi.ua

11. Фото розробки.

1. Створені наукові основи формування нанорозмірних, термічно стабільних плівок на основі FePd, FePt з магніто-твердою фазою $L1_0$

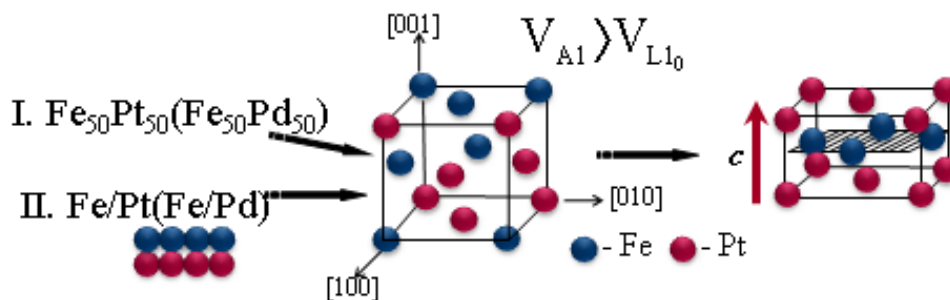
Критерій стабільності збереження записаної інформації

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

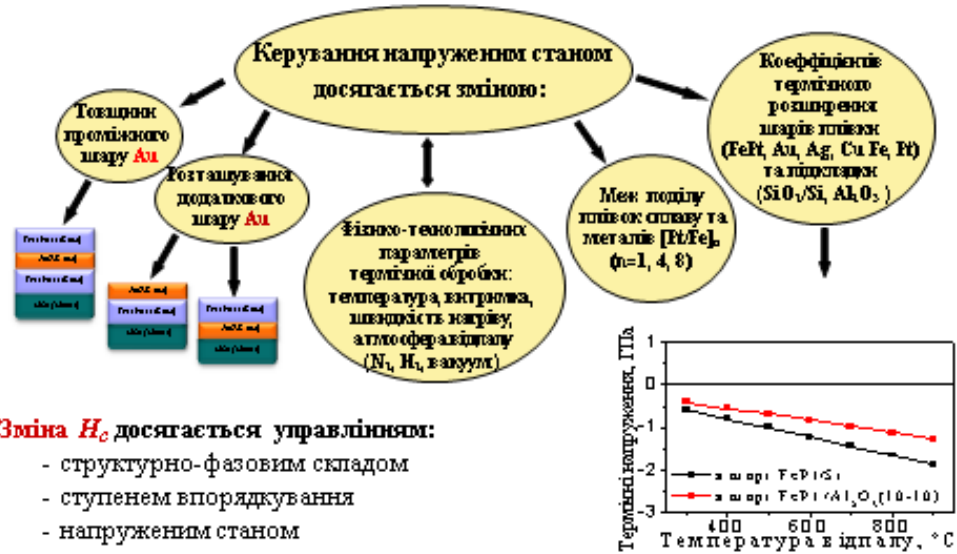
K_u – енергія
магнітокристалічної анізотропії
 V – об'єм зерна
 k_b – константа Больцмана
 T – абсолютна температура

$A1$ -FePt(або FePd)
(магнітно-м'яка фаза)

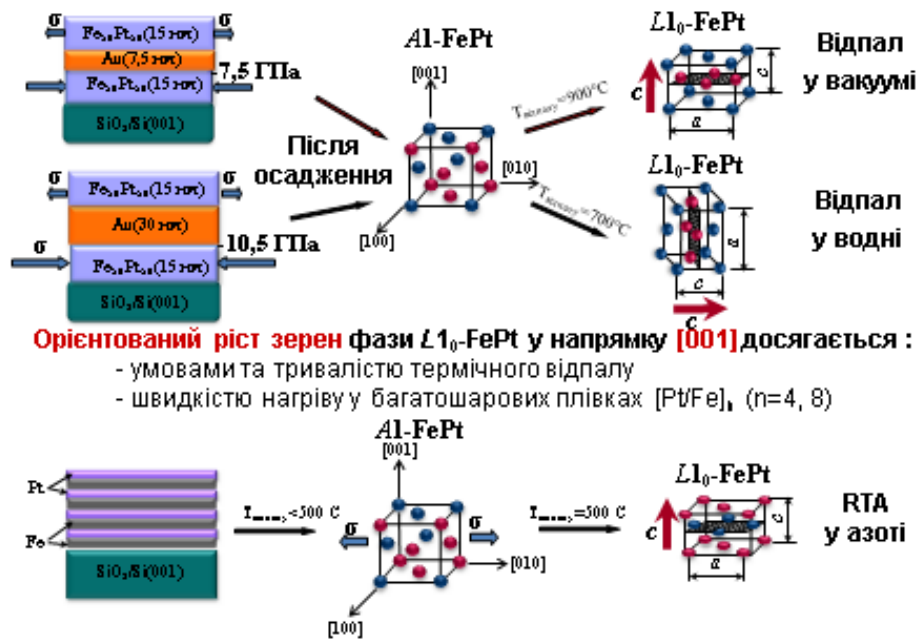
$L1_0$ -FePt(або FePd)
(магнітно-тверда фаза)



2. Запропоновано новий науковий підхід щодо застосування механічних напружень в нанорозмірних плівках на основі FePt і FePd для керування температурою хімічного упорядкування, формуванням фазового складу, структури та магнітними властивостями.



3. Керування орієнтацією вісі легкого намагнічування c



12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. І.А.Владимирський, Ю.М. Макогон, С.І. Сидоренко, Дифузійне формування нанорозмірних магнітних матеріалів на основі FePt, монографія Серія монографій "Проблеми прикладного і теоретичного матеріалознавства Київ, Наукова думка, 2017.-343 с. ISBN 978-966-00-1230-1
2. Макогон Ю.Н. Формирование фазового состава и структуры в термоэлектрических наноразмерных пленках на основе скуттерудита $CoSb_3$ / Ю.Н. Макогон, С.И. Сидоренко, Р.А. Шкарбань // «Наука про матеріали: досягнення та перспективи». Академперіодика. – 2018. – т. 1. – С. 295-310.
3. T.I. Verbitskaya, E.V. Figurnaya, M.Yu. Verbitskaya, I.A. Vladymyrskyi, S.I. Sidorenko, E.P. Pavlova, Yu.N. Makogon .Effect of copper on the formation of ordered $L1_0(FePt)$ phase in

- nanosized Fe₅₀Pt₅₀/Cu/Fe₅₀Pt₅₀ films on SiO₂/Si (001) substrates // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. –2016. –V.55, № 5–P.–109-113.55:109.
4. Shkarban R.A., Pavlova E.P., Sidorenko S.I., Csik A., Makogon Yu.N. Thermally activated processes of phase composition and structure formation of nanoscaled Co-Sb films. - Powder Metallurgy and Metal Ceramics. - 2016. – Volume 54. - Issue 11-12. –P.738-745.
 5. G.L., Safonova N.Y., Ganss F., Beddies G., Albrecht M., Makogon Yu.N. and Beke D.L. Low-temperature formation of the FePt phase in the presence of an intermediate Au layer in Pt/Au/Fe thin films. - Journal of Physics D: Applied Physics. - 2016. - Volume 49. - Issue 3. –P.035003.
 6. O.V. Shamis, I.A. Vladymyrskiy, Yu.M. Makogon, S.I. Sidorenko Materials science aspects of FePt-based thin films' formation Usp. Fiz. Met., 2018, Vol. 19, No. 3, P. 337-363.
 7. Igor A. Vladymyrskiy, Anna I. Oleshkevych, S.I. Sidorenko, Yurii N. Makogon FePt Thin Films – Prospective Materials for Ultrahigh Density Magnetic Recording. - Journal of Nano Research. - 2016. - Volume 39. -P.151-161.
 8. Shamis M.N., Makushko P.V., Verbytska T.I. and Makogon Iu.N. L₁₀ FePt phase formation in Fe₅₀Pt₅₀(15 nm) and Ag(7.5 nm)/Fe₅₀Pt₅₀(15 nm) films on SiO₂/Si(001) substrates. - Proceedings of the 2017 IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, NAP 2017. -P.02NTF09-1-02NTF09-4 DOI: 10.1109/NAP.2017.8190370
 9. Makogon Yu.M, Sidorenko S.I., Shkarban R.A Fabrication of Nanosize Films on the Base of Scutterudite CoSb₃ for Thermoelectric Devices. - Progress in Physics of Metals. - 2018. – Volume 19. - Issue . -P.5-24.
 10. Т.И. Вербицкая, Е. В. Фигурная, М. Ю. Вербицкая, И. А. Владимирский, С. И. Сидоренко, Е. П. Павлова, Ю. Н. Макогон «Влияние меди на формирование упорядоченной фазы L₁₀(FePt) в наноразмерных пленках Fe₅₀Pt₅₀/Cu/Fe₅₀Pt₅₀ на подложках SiO₂/Si(001) // Порошковая металлургия № 1/2.-2016, сс.141-146.
 11. М.Ю. Вербицкая, Е.А. Холина, Т.И. Вербицкая, Ю. М. Макогон, Вербицкая М.□ Ю., Холина Е.□ А., Вербицкая Т.□ И□ Макогон Ю.□ Н. Влияние толщин отдельных слоёв и границ раздела на фазовый состав и магнитные свойства многослойных плёночных композиций Pt/Fe. - Металлофизика и Новейшие Технологии. - 2016. - Том 38. - № 12. - С.1587-1598.
 12. Вербицкая М.□ Ю., Шаміс М.□ Н., Сліпченко К.□ В., Вербицкая Т.□ І., Макогон Ю.□ М. Вплив напруженого стану на формування фази L₁₀-FePt в плівці Fe₅₂Pt₄₈ на підкладинці Al₂O₃. - Металлофизика и Новейшие Технологии. - 2017. - т. 39. - № 1. -С.105-115.
 13. Макогон Ю.Н., Сидоренко С.И., Шкарбань Р.А. Влияние среды отжига на формирование наноразмерных пленок Co-Sb – функциональных элементов термоэлектрики. - Металлофизика и Новейшие Технологии. - 2017. - т. 39. - № 5. -С.677-691.
 14. Шаміс М. Н., Фігурна О.В., Вербицкая Т.І, Макогон Ю.М. Вплив додаткового шару Ag на формування впорядкованої фази L₁₀-FePt в плівках Ag(0; 7,5 нм)/Fe₅₀Pt₅₀(15 нм)/SiO₂(100 нм)/Si(001). - Металлофизика и новейшие технологии. - 2017. - т. 39. - № 7. -С.893-903. DOI: 10.15407/mfint.39.07.0893;
 15. М.Ю. Вербицкая, М.Н. Шамис, К.А. Грайворонская, Т.И. Вербицкая, Ю.Н. Макогон «Влияние Au на формирование фазы L₁₀ в наноразмерных пленках [Fe₅₀Pt₅₀/Au/Fe₅₀Pt₅₀]_n // Металлофизика и новейшие технологии», 2018 г., т.40, № 3, сс.384-393.
 16. М.Ю. Вербицкая, М.Н. Шаміс, П. Макушко, Я.А. Березняк, К. А. Грайворонская, Т.И. Вербицкая, Ю.Н. Макогон «ФОРМУВАННЯ ВПОРЯДКОВАНОЇ ФАЗИ L₁₀-FePt У ПЛІВКАХ Fe₅₀Pt₅₀/ Au/ Fe₅₀Pt₅₀ ПРИ ВІДПАЛІ У ВОДНІ // Металлофизика и новейшие технологии», 2018 г., т.40 , № 7, сс.
 17. Черниш А.Ю., Фігурна О.В, Владимирський І.А., Макогон Ю.М. Вплив атмосфери термічної обробки на формування структури і фазового складу плівкових композицій FePt/Cu/FePt. - Наукові вісті НТУУ “КПІ”. - 2016. - № 5. -С.78-83..
 18. Макогон Ю.М., Сидоренко С.І., Шкарбань Р.А. Фазовий склад, структура та механічні напруження в плівкових матеріалах на основі скутерудиту CoSb₃ - Металознавство та обробка металів. - 2016. т. 727. – № 1. -С.39-43.
 19. М.Ю. Вербицкая, І.О. Круглов, Ю.М. Макогон, С. І. Сидоренко, К.В. Сліпченко «Influence of stress state on L₁₀-FePt phase formation in Fe₅₂Pt₄₈(15 nm) film compositions deposited on

Al₂O₃(1010)» наукова конференція Сучасні проблеми фізики металів і металічних систем 15-27 травня 2016 р., Київ, Україна, с.182.

20. M. Yu. Verbytska, A. I. Falovska, D. Matyash, I.E. Kotenko, Iu.N. Makogon, Ya. A. Berezniak «EFFECT OF ANNEALING IN H₂ ON L₁₀-FePt PHASE FORMATION IN Fe₅₀Pt₅₀/Au/Fe₅₀Pt₅₀ FILMS ON SiO₂/Si(001) SUBSTRATE» // Міжнародна наукова конференція EMRS- 2016 Fall Meeting 15th-18th September Warsaw University of Technology, Poland.P.72
21. O.V. Fihurna, T.I. Verbytska, O.V. Kucheriavyi, A. Yu. Chernysh, I.E. Kotenko, Iu.N.Makogon, Phase formation in the layered [Fe₅₀Pt₅₀/Cu/Fe₅₀Pt₅₀]_n (n=1, 2) films at annealing in H₂ // Міжнародна наукова конференція EMRS- 2016 Fall Meeting 15th-18th September Warsaw University of Technology, Poland. P.73
22. R.A. Shkarban, Iu.N. Makogon, S.I. Sidorenko Sublimation of Sb in formation nanosized thermoelectric films Co-Sb // 4th International research and practice conference nanotechnology and nanomaterials NANO-2016, August 24 - 27, Lviv, Ukraine. P. 217.
23. Shamis M.N., Makushko P.V., Verbytska T.I. and Makogon Iu.N. L₁₀ FePt phase formation in Fe₅₀Pt₅₀(15 nm) and Ag(7.5 nm)/Fe₅₀Pt₅₀(15 nm) films on SiO₂/Si(001) substrates. - Proceedings of the 2017 IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, NAP 2017. -P.02NTF09-1-02NTF09-4.
24. M.N. Shamis, P.V. Makushko, T.I. Verbytska, Iu.M. Makogon INFLUENCE OF Ag AMOUNT ON L₁₀ FePd ORDERED PHASE FORMATION IN NANOSCALE FILMS FePd/Ag/SiO₂/Si // XX наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ТНТУ), 17-18 травня 2017 року, Тернопіль, Україна, с. 156.
25. M.Yu.Verbytska, Ye.O. Kholina, P.V. Makushko, T.I. Verbytska, S.I. Sidorenko, Yu.M. Makogon EFFECT OF ANEALING ATMOSPHERE AND INTERFACES ON A1 → L₁₀ FePt PHASE TRANSFORMATION IN MULTILAYERED [Pt/Fe]_n FILMS // Міжнародна наукова конференція EMRS-2017 Spring Meeting Strasbourg, France, 22-26 May, 2017.
26. Shkarban R.A., S.I. Sidorenko, Yu.N. Makogon Formation of film-based material CoSb₃ skutterudite for thermoelectric devices // E-MRS Spring Meeting. – Strasbourg, France, 22-26 May, 2017
27. R.A. Shkarban, Yu.N. Makogon, S. I. Sidorenko Formation of film material on CoSb₃ based skutterudite for thermoelectric devices // XVI-International Conference «Physics and technology of thin films and nanosystems», 15-20 May 2017, Ivano-Frankivsk, Ukraine, P. 248
28. R.A. Shkarban, M.N. Shamis, Iu.N. Makogon. Influence of top Ag layer on ordered L₁₀ FePt phase formation in thin Ag(0; 7,5 nm)/ Fe₅₀Pt₅₀(15 nm) films on SiO₂/Si(001) substrates// The European Conference PHYSICS OF MAGNETISM 2017, 2017 p., June 26-30, 2017, Poznan, Poland, P.195
29. R.A. Shkarban, O.V. Fihurna, A. Yu. Chernysh, Iu.N.Makogon PHASE AND STRUCTURE FORMATION IN THE LAYERED [Fe₅₀Pt₅₀/Cu/Fe₅₀Pt₅₀]_n (n=1, 2) FILMS // The European Conference PHYSICS OF MAGNETISM 2017 2017 p., June 26-30, 2017, Poznan, Poland, P.194.
30. P. Makushko, M. Yu. Verbytska, A. I. Falovska, D. Matyash, Ya. A. Berezniak, K. A. Grayvoronska, T. I. Verbytska,>Iu.N. Makogon «PHASE FORMATION AND MAGNETIC PROPERTIES IN Fe₅₀Pt₅₀/Au/Fe₅₀Pt₅₀ FILMS». Міжнародна конференція НАНО-2017, м.Чернівці, 23-26 серпня 2017 р., Україна. P.384-385
31. R.A. Shkarban, Yu.N. Makogon, S.I. Sidorenko Influence of annealing atmosphere on formation of nanoscale films Co-Sb – functional elements thermoelectric // The European Conference Physics of Magnetism 2017, June 26-30, Poznań, Poland, P. 196.
32. M.Yu.Verbytska, A. Yu. Chernysh, P.V. Makushko, T.I. Verbytska, Yu.M. Makogon INFLUENCE OF ANEALING AMBIENT ON L₁₀ PHASE FORMATION IN Pt/Fe MULTILAYERS// Міжнародна наукова конференція E-MRS- 2017 Fall Meeting 18th-21th September Warsaw University of Technology, Poland. P.330.
33. Shkarban R.A, S.I. Sidorenko, Yu.N. Makogon Influence of annealing atmosphere on formation of nanoscale films Co-Sb – functional elements thermoelectric // E-MRS Fall Meeting. – Warszawa, Poland, 18-21 September, 2017

34. M.N. Shamis, M.Yu. Verbytska, P.V. Makushko, S. Bohdanov, T.I. Verbytska, Yu.M. Makogon EFFECT OF Fe CONTENT IN BILAYER Pt/Fe FILMS ON $L1_0$ FePt PHASE FORMATION, Junior EUROMAT Conference 8 - 12 July 2018, Budapest, Hungary
35. S.Ye. Bogdanov, R.A. Shkarban, Yu.N. Makogon, S.I. Sidorenko FORMATION OF NANOSCALED FILM ON $CoSb_3$ BASED SKUTTERUDITE FOR THERMOELECTRIC DEVICES, Junior EUROMAT Conference 8 July to 12 July 2018 Budapest, Hungary
36. M.N. Shamis, M.Yu. Verbytska, P.V. Makushko, T.I. Verbytska, Yu.M. Makogon Effect of different substrates on $L1_0$ phase formation in $[Pt/Fe]_4$ films // Міжнародна наукова конференція E-MRS- 2018 Spring Meeting 25th-28th May, Strassbourg, France.
37. Shamis M.N. Effect of stress on structure and magnetic properties of nanoscale $[Fe_{50}Pt_{50}/Au/Fe_{50}Pt_{50}]_n$ film compositions / M.N. Shamis, M.Yu. Verbytska, P.V. Makushko, T.I. Verbytska, S.I. Sidorenko, Yu.M. Makogon // TOPO2018: International Workshop on "Topological Structures in Ferroic Materials". – Natal, Brazil, 12-16 June, 2018, P. 32
38. Makogon Yu.M. Production of nanosize films on the base of scutterudite $CoSb_3$ for thermoelectric devices / Yu.M. Makogon, S.I. Sidorenko, R.A. Shkarban // TOPO2018: International Workshop on "Topological Structures in Ferroic Materials". – Natal, Brazil, 12-16 June, 2018, P. 33.
39. P.V. Makushko, M.Yu. Verbytska, M.N. Shamis, T.I. Verbytska, Yu.M. Makogon «Effect of stress on $L1_0$ phase formation and magnetic properties of nanoscale $Fe_{50}Pt_{50}/Au/Fe_{50}Pt_{50}$ films». // Міжнародна конференція Nanotechnology and nanomaterials (НАНО-2018), м.Київ, 27 -30 серпня 2018 р., Україна. P.681-682
40. P.V. Makushko, M.N. Shamis, M.Yu. Verbytska, T.I. Verbytska, S.I. Sidorenko, Yu.M. Makogon EFFECT OF ANNEALING ATMOSPHERE ON PHASE AND STRUCTURE FORMATION IN $Fe_{50}Pt_{50}/Au/Fe_{50}Pt_{50}$ FILMS // Міжнародна наукова конференція E-MRS-2018 Fall Meeting 17th-20th September Warsaw University of Technology, Poland. P. 450.
41. О.В. Фігурна, М.Н. Шаміс, М.Ю. Вербицька, Ю.М. Макогон “ФАЗОУТВОРЕННЯ В НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЯХ $Ag(10\text{ нм})/Fe(15\text{ нм})/Pt(15\text{ нм})$ ТА $Fe(15\text{ нм})/Ag(10\text{ нм})/ Pt(15\text{ нм})$ ” 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 2016 р. Київ, Україна, с. 81.
42. Макогон Ю.М. Влияние среды отжига на формирование наноразмерных пленок $Co-Sb$ – функциональных элементов термоэлектрики / Ю.М. Макогон, С.І. Сидоренко, Р.А. Шкарбань // VI-та Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах», 1-2 грудня 2016 р., Київ, С. 325-327.
43. Черниш А.Ю., Макогон Ю.М. Формування фазового складу та структури в нанорозмірних плівках $Fe_{50}Pd_{50}/Cu$ // IX Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии в машиностроении-2017» Киев, 30-31 мая 2017 г
44. Фаловська А.І., Макогон Ю.М. Вплив додаткового шару Au на фазові перетворення в нанорозмірних плівках $Fe_{50}Pd_{50}-Au$ після відпалу в атмосфері H_2 // IX Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии в машиностроении-2017» Киев, 30-31 мая 2017 г.
45. Макушко П.В, Макогон Ю.М, Вербицька М.Ю. Вплив проміжного шару $Au(15\text{ нм})$ на процес формування впорядкованої фази $L1_0$ в тонкоплівковій композиції $Fe_{50}Pt_{50}(15\text{ нм})/Au(15\text{ нм})/Fe_{50}Pt_{50}(15\text{ нм})$ // X міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ФІЗИКО-МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА КОМП’ЮТЕРНОГО КОНСТРУЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ 20 - 21 квітня 2017 р.
46. Ю.М. Макогон, М.Ю. Вербицька, М.Н. Шаміс, Д.О. Редчиць, К.О. Грайворонська Вплив тривалості відпалу на формування фази $L1_0-FePt$ в плівкових композиціях $Fe_{50}Pt_{50}-Au$ /міжнародна науково-технічна конференція “МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ-7” ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ НТУУ «КПІ» 30 листопада – 2 грудня 2017 р., Київ, Україна, С.71.

47. Баранчук М.І., Вербицька Т.І., Макогон Ю.М. Фазові та структурні перетворення в нанорозмірних плівкових композиціях Pt/Fe на сапфірі (Al₂O₃) XI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ФІЗИКО-МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА КОМП'ЮТЕРНОГО КОНСТРУЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ, 19-20 квітня 2018 року Київ, Україна, С.13.
48. Макушко П.В., Вербицька Т.І., Сафонова Н.Ю., Макогон Ю.М. Вплив атмосфери відпалу на формування магнітно-твердої фази L1₀-FePt в нанорозмірних плівках Fe₅₀Pt₅₀(15 нм)/Au(7,5 нм; 30 нм)/Fe₅₀Pt₅₀(15 нм) XI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ФІЗИКО-МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА КОМП'ЮТЕРНОГО КОНСТРУЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ, 19-20 квітня 2018 року Київ, Україна, С. 109.
49. Яцун В.І., Вербицька Т.І., Макогон Ю.М. Вплив напруженого стану на термічну стійкість фази NiSi в плівках Ni-Pt-Si XI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ФІЗИКО-МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА КОМП'ЮТЕРНОГО КОНСТРУЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ 19-20 квітня 2018 року Київ, Україна, С. 204.
50. Шкарбань Р.А. Закономірності формування фазового складу і структури нанорозмірних плівок Co-Sb на підкладках з термічно окисненого монокристалічного кремнію: Дис. канд. техн. наук. – Київ, 2016. – 164 с.

13. Ключові слова до розробки: НАНОРОЗМІРНІ ПЛІВКИ, ВПОРЯДКОВАНА ФАЗА L1₀-FePt, L1₀-FePd, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ