

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона

Кафедра фізики металів

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
В.о. завідувача кафедри

_____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Металофізичні процеси та їх
комп'ютерне моделювання»**

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Формування фазового складу плівкових композицій на основі
Fe/Pt з різним розташуванням додаткового шару Au»**

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-91мп
Олексієнко Денис Русланович _____

Керівник:

доцент, к.т.н.

Владимирський Ігор Анатолійович _____

Консультант з розробки стартап-проекту:

доцент, к.е.н.

Нараєвський С. В. _____

Консультант з ОП та безпеки в НС:

зав. каф., д.т.н., проф.

Левченко О. Г. _____

Консультант з нормоконтролю:

Асистент каф. ФМ

Шаповалова Н. А. _____

Рецензент:

к.ф.-м.н., доцент

Яворський Ю. В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Олексієнко Денису Руслановичу

1. Тема дисертації «Формування фазового складу плівкових композицій на основі Fe/Pt з різним розташуванням додаткового шару Au», науковий керівник дисертації Владимирський Ігор Анатолійович, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: нанорозмірні плівкові композиції Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(24 нм)/Au(6 нм)/Pt(15,7 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм) на підкладинки термічноокисленого монокристалічного кремнію SiO₂/Si (001).
4. Вихідні дані
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести літературний огляд за тематикою роботи, підготувати зразки для дослідження, провести серію відпалів за різних фізико-технологічних параметрів, провести рентгеноструктурні дослідження та пошаровий хімічний аналіз, проаналізувати отримані результати, розробити стартап-проект за темою роботи, провести аналіз можливих аварійних та небезпечних випадків в процесі проведення роботи, зробити висновки.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП та безпека в НС	Левченко О.Г., доцент, к.т.н.		
Розробка стартап-проєкту	Нараєвський С.В., доцент, к.е.н.		
Нормоконтроль	Шаповалова Н.А., асистент каф. ФМ		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення та узгодження теми МД		
2	Проведення літературного огляду		
3	Розробка методики експериментів		
4	Підготовка першого та другого розділів		
5	Проведення термічної обробки		
6	Обробка результатів та підготовка третього розділу		
7	Підготовка четвертого і п'ятого розділів та оформлення МД		
8	Попередній захист		
9	Захист на засіданні ЕК		

Студент

Денис ОЛЕКСІЄНКО

Науковий керівник

Ігор ВЛАДИМИРСЬКИЙ

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 67 сторінок, 19 таблиць, 23 рисунки, 4 формули, 57 літературних джерел.

ВПОРЯДКОВАНА ФАЗА, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ДОДАТКОВИЙ ШАР, КОЕРЦЕТИВНА СИЛА, ТОНКОПЛІВКОВІ КОМПОЗИЦІЇ

Об'єкт досліджень: багатошарові нанорозмірні композиції на основі Pt/Fe з різним положенням додаткового шару Au.

Предмет досліджень: вплив додаткового шару Au та його положення на процеси структурно-фазових перетворень та упорядкування у нанорозмірних плівкових композиціях Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(24 нм)/Au(6 нм)/Pt(15,7 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм).

Мета роботи: дослідження впливу положення додаткового шару Au на особливості структурно-фазових перетворень та процеси впорядкування нанорозмірних плівкових композицій на основі Fe/Pt.

Методи дослідження: метод магнетронного осадження тонких металевих шарів, термічна обробка у вакуумі, рентгеноструктурний фазовий аналіз, пошаровий хімічний аналіз методом вторинно-іонної мас-спектрометрії.

Результати досліджень та їх новизна: виявлено, що після осадження плівкових композицій Pt/Fe, Pt/Au/Fe/Pt/Fe, Pt/Fe/Au/Pt, Pt/Fe/Pt/Au/Fe в їх структурі формується неупорядкована фаза Al -FePt. Встановлено, що після відпалу за температури 400 °C протягом 30 хвилин введення додаткового шару Au призводить до прискорення взаємної дифузії між шарами Fe та Pt у всіх розглянутих плівкових композиціях порівняно із плівкою Pt/Fe. Починаючи з відпалу за температури 450 °C протягом 60 хвилин, усі досліджувані плівки мають двофазну структуру – спостерігається спільне існування фаз Al і $L1_0$, концентраційне співвідношення яких залежить від вихідного положення додаткового шару Au.

Сфера застосування: матеріали функціональних елементів спінтроніки та наноелектроніки.

ABSTRACT

Master's dissertation: 67 pages, 19 tables, 23 figures, 4 formulas, 57 literary sources.

ORDERED PHASE, HOMOGENIZATION, ADDITIONAL LAYER, COERCITIVE FORCE, THIN FILM COMPOSITIONS

Object of research: multilayer nanosized compositions based on Pt/Fe with different positions of the additional Au layer.

Subject of research: the influence of the additional Au layer and its position on the processes of structural-phase transformations and ordering in nanoscale film compositions Pt(15.7 nm)/Fe(12 nm), Pt(15.7 nm)/Au(6 nm)/Fe(12 nm)/Pt(15.7 nm)/Fe(12 nm), Pt(15.7 nm)/Fe(24 nm)/Au(6 nm)/Pt(15.7 nm), Pt(15.7 nm)/Fe(12 nm)/Pt (15.7 nm)/Au(6 nm)/Fe(12 nm).

Purpose: study the influence of the position of the additional Au layer on the features of structural-phase transformations and ordering processes of nanosized Fe/Pt-based film compositions.

Research methods: method of magnetron deposition of thin metal layers, heat treatment in vacuum, X-ray diffraction phase analysis, layer-by-layer chemical analysis by secondary ion mass spectrometry.

Research results and their novelty: it was found that after the deposition of film compositions Pt/Fe, Pt/Au/Fe/Pt/Fe, Pt/Fe/Au/Pt, Pt/Fe/Pt/Au/Fe in their structure a disordered phase is formed *A1*-FePt. It was found that after annealing at a temperature of 400 °C for 30 minutes, the introduction of an additional Au layer leads to the acceleration of mutual diffusion between the Fe and Pt layers in all considered film compositions compared to the Pt/Fe film. Starting from annealing at 450 °C for 60 minutes, all the investigated films have a two-phase structure – coexistence of phases *A1* and *L10*, the concentration ratio of which depends on the initial position of the additional Au layer.

Scope: materials of functional elements of spintronics and nanoelectronics.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1 Фазові перетворення та магнітні властивості тонких плівок на основі FePt.....	9
1.2 Особливості формування впорядкованої фази $L1_0$ в плівкових композиціях на основі FePt.....	14
1.3 Вплив Au на формування впорядкованої фази $L1_0$ в плівкових композиціях на основі FePt.....	18
1.4 Висновки до розділу.....	23
2 МЕТОДИКА ДОСЛІЖЕНЬ.....	24
2.1 Метод магнетронного осадження тонких металевих шарів.....	24
2.2 Відпал у вакуумі.....	25
2.3 Рентгеноструктурний аналіз.....	25
2.4 Визначення пошарового розподілу компонентів методом вторинно-іонної мас-спектрометрії.....	26
2.5 Висновки до розділу.....	27
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	28
3.1 Вплив положення додаткового шару Au на фазові перетворення у нанорозмірних плівкових композиціях на основі Pt/Fe.....	28
3.2 Особливості розподілу хімічних елементів за товщиною нанорозмірних композицій на основі Pt/Fe.....	33
3.3 Висновки до розділу.....	35
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	36
4.1 Аналіз параметрів приміщення.....	36
4.2 Мікроклімат робочої зони.....	37
4.3 Аналіз освітлення в приміщенні лабораторії.....	39
4.3.1 Розрахунок характеристик природнього освітлення.....	39
4.3.2 Розрахунок параметрів штучного освітлення.....	40
4.4 Аналіз небезпечних чинників в приміщенні лабораторії.....	41

4.4.1 Аналіз шуму та вібрацій.....	41
4.4.2 Аналіз небезпек при роботі з установкою ВУП-5М.....	42
4.4.3 Безпека при роботі з електричними приладами.....	43
4.4.4 Електромагнітне випромінювання.....	44
4.5 Організація робочого місця.....	44
4.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	45
4.6.1 Пожежна безпека.....	46
4.6.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	47
4.7 Висновки до розділу.....	47
5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ.....	48
5.1 Опис ідеї проєкту.....	48
5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту.....	50
5.3 Ринкові можливості запуску проєкту.....	51
5.4 Висновки до розділу.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

ВСТУП

Кількість інформації та швидкість доступу до неї постійно збільшуються, що стало можливим, зокрема, завдяки створенню новітніх феромагнітних матеріалів, які використовуються в технологіях магнітного запису інформації.

Перспективним матеріалом для створення носіїв інформації із надщільним магнітним записом є нанорозмірні плівки FePt завдяки їхнім високим енергіям магнітно-кристалічної анізотропії та коерцетивної сили. Невпорядкована фаза $A1$ -FePt, що формується після осадження плівок на основі FePt, має магнітно-м'які ізотропні властивості. Формування хімічно-впорядкованої фази $L1_0$ -FePt можливе шляхом подальшого відпалу осаджених плівок або шляхом їхнього осадження на нагріту підкладку. Проте збільшення температури відпалу призводить до росту зерен, що негативно впливає на щільність запису.

З цього слідує, що зниження температури формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePt та контроль росту її зерен є важливою матеріалознавчою задачею. Вирішення проблеми зниження температури формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePt може бути досягнуто шляхом введення додаткових шарів легуючих металів, наприклад Ag, Mn, Au. Відмінність параметрів кристалічних ґраток металевих шарів може обумовлювати виникнення додаткових механічних напружень, які, в свою чергу, прискорюють процеси дифузійного фазоутворення.

В даній роботі досліджено вплив положення додаткового шару Au на швидкість перебігу термічно-індукованих дифузійних процесів, параметри структури та впорядкування багат шарових нанорозмірних композицій на основі Pt/Fe.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

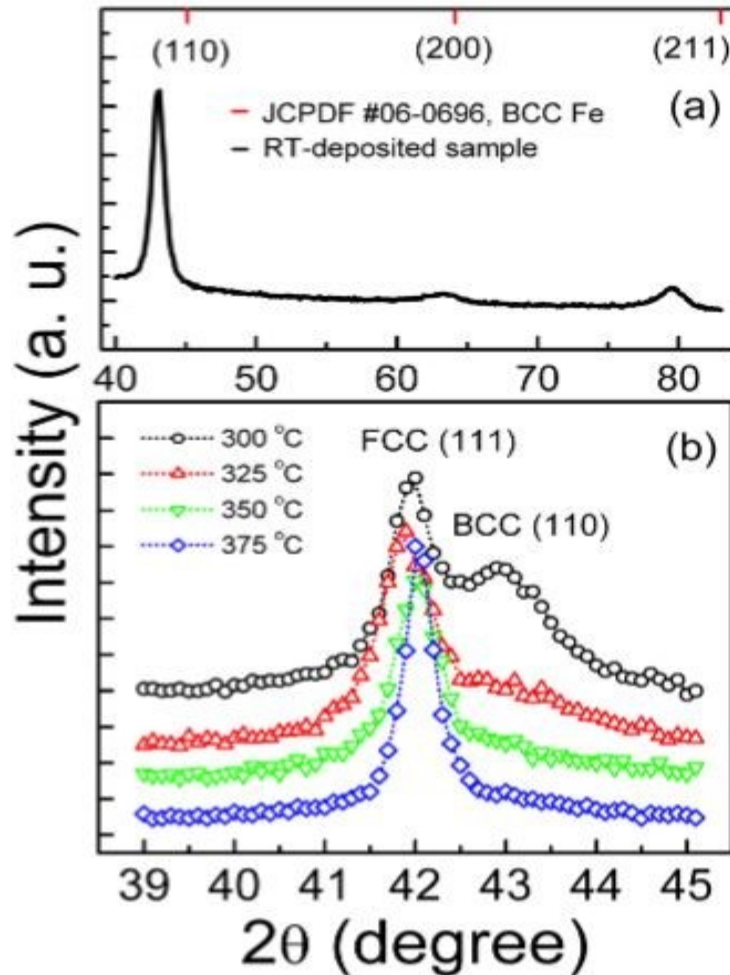
1.1 Фазові перетворення та магнітні властивості тонких плівок на основі FePt

Сплав FePt характеризується великою кількістю, з точки зору можливого використання, особливостей, такі як висока магнітострикція, інварний ефект [1], і мартенситне перетворення [2]. Шляхом епітаксійного зростання на підкладках MgO(100) та MgO(111) виявлено високу магнітну анізотропію впорядкованих тонких плівок FePt [3]. Сплав FePt із впорядкованою фазою $L1_0$ демонструє високу енергією магнітно-кристалічної анізотропії ($K_u \approx 7$ МДж/м³), значну коерцитивну силу ($H_c \approx 792$ кА/м) та високу корозійну стійкість [4].

Для вивчення формування впорядкованої структури у роботі [5] одношарові тонкі плівки Fe₇₅Pt₂₅ отримали методом магнетронного осадження за тиску, вищого ніж 5×10^{-7} Тор. Тонкі плівки товщиною 60 нм наносились на скляні підкладки за кімнатної температури. Композиційна мішень FePt була виготовлена шляхом накладання залізного диска високої чистоти на фольгу Pt. Подальшим маніпулюванням робочої потужності системи розпорошення хімічний склад зразків контролювали на рівні Fe₇₅Pt₂₅. Зразки піддано серії відпалів в температурному діапазоні 300 °С - 700 °С протягом 1 години у камері осадження. Кристалографічну структуру досліджували за допомогою рентгенівської дифрактометрії із використанням синхротронного випромінювання (енергія променю 8 кеВ і довжина хвилі 1,5498 Å). Товщину плівкових зразків вимірювали за допомогою техніки рентгенівської відбивної здатності. Магнітні властивості досліджували за кімнатної температури з допомогою вібраційного магнітометра з максимальним прикладеним полем 1,2 Т. Мікроструктуру плівкових зразків досліджували методом трансмісійної електронної мікроскопії.

На рисунку 1.1, а представлено дифракційний профіль осадженої плівки Fe₃Pt. Спостерігаються три дифракційні максимуми, розташовані на кутах $2\theta = 43,1^\circ$, $63,2^\circ$ та $79,5^\circ$, що свідчить про ОЦК структуру досліджуваного матеріалу.

Порівняно з оксидною структурою Fe [6], виявлено значний зсув рефлексів від фази Fe₃Pt в бік малих кутів, що пояснюється тим, що атоми Pt із більшим атомним розміром (1,38 Å) частково заміщують атоми Fe (1,24 Å) у ОЦК решітці.



а – у вихідному стані, б – після відпалу

Рисунок 1.1 – Дифрактограми плівки FePt [7]

На рисунку 1.1, б представлено результати рентгеноструктурного фазового аналізу зразків після термічної обробки в температурному інтервалі 300 °C - 375 °C. Після відпалу за температури 300 °C на малих кутах спостерігається додатковий рефлекс (110) від ОЦК структури. Зі збільшенням температури від 300 °C до 350 °C інтенсивність дифракційного максимуму (111) від ГЦК фази посилюється, тоді як рефлекс (110) від ОЦК фази поступово втрачає свою інтенсивність. Для плівок, відпалених за температур менших 375 °C, спостерігається кубічна фаза, а дуже слабкий дифракційний

максимум (110) все ще наявний на дифрактограмах. Також, помічено, що положення рефлексу (111) ГЦК зміщується в бік менших кутів в результаті збільшення температури обробки до 325 °С, а при збільшенні температури до 375 °С спостерігається зворотний ефект. Збільшення рівня стискаючих напружень внаслідок фазового перетворення ОЦК → ГЦК призводить до зміни параметрів кристалічної будови. Також зі збільшенням температури відпалу релаксація напружень спричиняє кутовий зсув рефлексу (111).

З рисунку 1.2 можна бачити, що після відпалу за температури 400 °С в структурі плівок FePt все ще спостерігається неупорядкована фаза $A1$ -FePt. Початок формування впорядкованої структури $L1_0$ спостерігається в результаті підвищенні температури відпалу до 500 °С. Точний параметр впорядкування визначали із врахуванням коефіцієнту поглинання Лоренца, коефіцієнту кратності, асиметричних факторів та коефіцієнту температури Дебая-Валлера, з використанням дифракційних рефлексів (100) та (111). В результаті отримано підвищення ступеню впорядкування від 0,3 до 1 внаслідок підвищення температури з 500 °С до 700 °С.

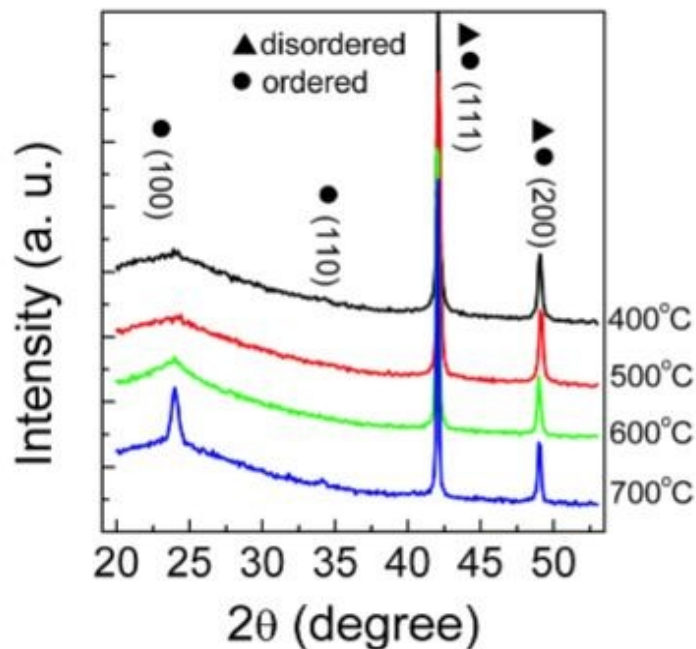


Рисунок 1.2 – Результати рентгеноструктурного фазового аналізу плівок FePt, підданих термічній обробці [7]

На рисунку 1.3 представлено результати досліджень методом трансмісійної електронної мікроскопії зразків у вихідному стані (а) та після відпалу за температур 300 °С (б), 400 °С (в) та 700 °С (г), відповідно. Осаджена плівка Fe₃Pt має середній розмір зерен менше 10 нм. В результаті збільшення температури обробки до 300 °С розмір зерен зростає до 30 нм, а за температури відпалу 400 °С розмір зерен збільшується до 80 нм. Дифракційні максимуми $L1_0$ (110), що з'являються за температури 400 °С (рис 1.3, в), вказують на зародження впорядкованої структури. Подібні особливості фазоутворення також зареєстровано для плівок FePt стехіометричного складу [9, 10].

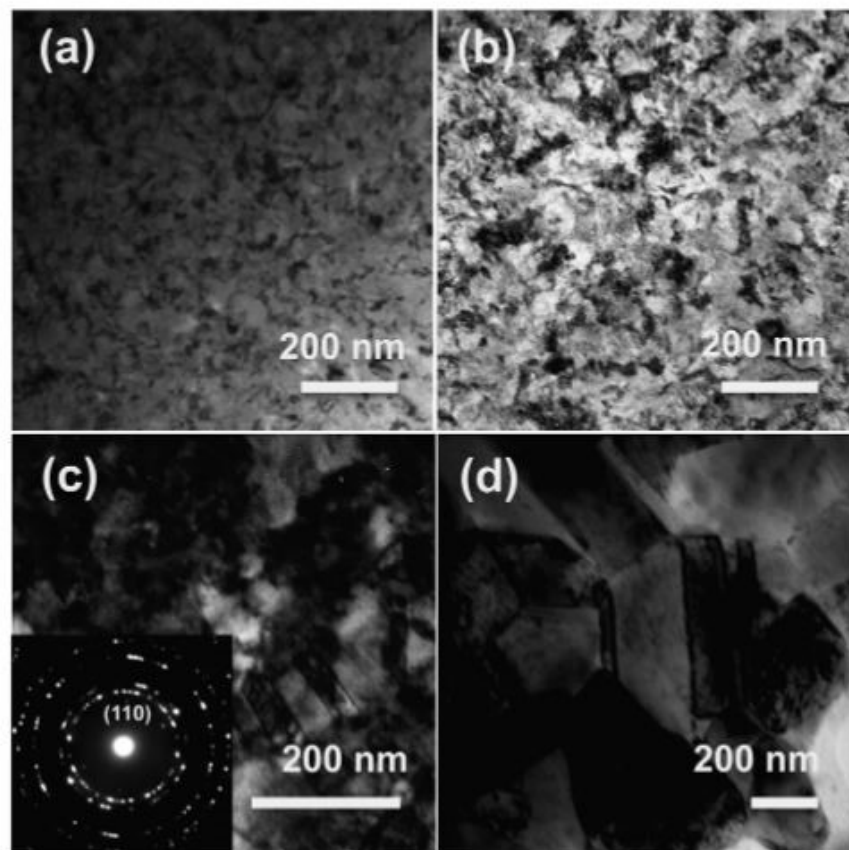


Рисунок 1.3 – Залежність розміру зерна від температури відпалу плівки FePt [8]

За температури 700 °С розмір зерен швидко зростає до 250 нм. На рисунку 1.4 наведено криві намагнічування зразків FePt у вихідному стані та після відпалу за різних температур (300 °С - 700 °С).

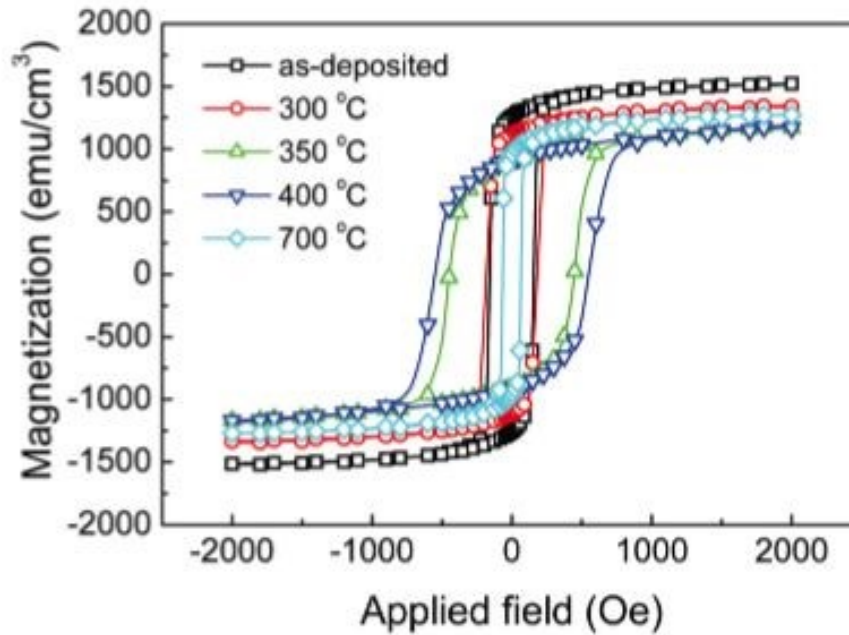


Рисунок 1.4 – Криві намагнічування плівки FePt після відпалу [8]

Плівковий матеріал в стані після осадження характеризується високою намагніченістю насичення – 1520 е.м.о./см^3 та коерцитивною силою $\sim 147 \text{ Е}$. Намагніченість зменшується з 1330 е.м.о./см^3 до 1170 е.м.о./см^3 , а коерцитивна сила навпаки збільшується з 177 Е до 550 Е в результаті збільшення температури відпалу з $300 \text{ }^\circ\text{C}$ до $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Для зразка, відпаленого за температури $700 \text{ }^\circ\text{C}$, намагніченість збільшується до 1270 е.м.о./см^3 , але коерцитивна сила зменшується до 66 Е . На рисунку 1.5 наведено залежність намагніченості та коерцитивної сили від температури відпалу.

Типи кристалічних структур, сформовані в результаті відпалу за різних температур, також позначені на рисунку 1.5. Осаджена плівка Fe₃Pt із неупорядкованою ОЦК структурою демонструє високу намагніченість та низьку коерцитивну силу. За низьких температур відпалу ($375 \text{ }^\circ\text{C}$) перехід до магнітотвердих властивостей є результатом фазового переходу від ОЦК до неупорядкованої ГЦК-структури. Із перебігом процесу $L1_0$ впорядкування (за температури відпалу $400 \text{ }^\circ\text{C}$) намагніченість збільшується з 1085 е.м.о./см^3 до 1270 е.м.о./см^3 .

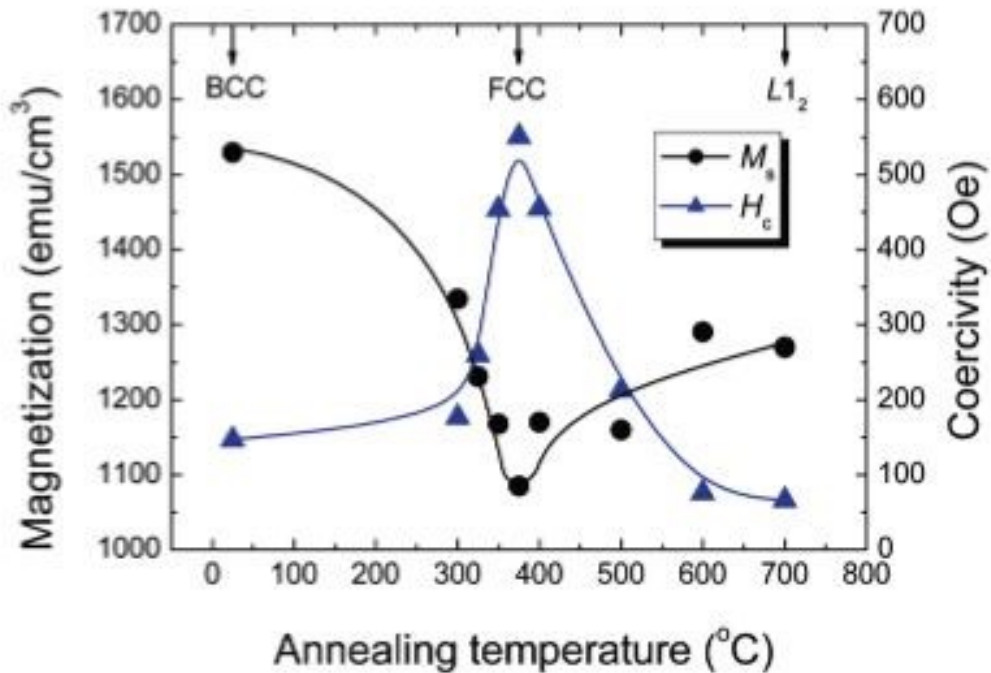


Рисунок 1.5 – Залежність намагніченості та коерцитивної сили від температури відпалу [12]

Таким чином, у тонких плівках на основі Fe/Pt спостерігається двофазне перетворення від неупорядкованої ОЦК структури до впорядкованої $L1_0$ ГЦК структури, що відбувається внаслідок відпалу. Впорядкована ГЦК фаза FePt демонструє велику намагніченість 1530 е.м.о./см^3 , що робить матеріали на основі сплаву Fe/Pt актуальними для створення приладів із щільним магнітним записом. Невпорядкована фаза $A1$ характеризується низьким значенням намагніченості – 1085 е.м.о./см^3 . Магнітні властивості тісно пов'язані із фазовими перетвореннями плівок FePt, що робить їх цікавими для досліджень.

1.2 Особливості формування впорядкованої фази $L1_0$ в плівкових композиціях на основі FePt

Унікальні магнітні властивості фази $L1_0$ -FePt обумовлені гранецентрованою тетрагональною кристалічною ґраткою, що призводить до одноосьової магнітно-кристалічної анізотропії [13, 14]. Тому плівкові композиції на основі FePt є найбільш перспективними для використання у

носіях інформації з високою щільністю та функціональних елементах пристроїв спінтроніки. Для активації фазового переходу від неупорядкованої фази $Al-FePt$ до $L1_0-FePt$ необхідний високотемпературний відпал, проте ця процедура може негативно впливати на можливість прикладного використання через збільшення зерен зерен та деформацію скляної підкладки [15, 16].

Орім того, тонкі плівки на основі $FePt$ після осадження мають переважну орієнтацію зерен в напрямку $[111]$, що не є доцільним для застосування цього матеріалу у носіях магнітного запису, оскільки бажаним для використання є формування текстури $L1_0-FePt$ $[001]$.

Існує низка методів отримання плівок із необхідною орієнтацією кристалітів $[001]$, а саме: лазерне розпорошування [17]; епітаксіальне зростання на монокристалічних підкладках [18, 19]; епітаксіальне зростання на проміжному шарі між підкладкою і плівкою або на різних шарах [20, 21]. Також доцільним є по чергове осадження шарів Fe і Pt методом магнетронного осадження з наступним проведенням швидкісного термічного відпалу [22].

Оскільки впорядкована фаза $L1_0-FePt$ має певну область однорідності (40 ат.% - 55 ат.% Pt) постає матеріалознавча задача отримання оптимального хімічного складу для забезпечення бажаних фізичних властивостей плівок.

Максимальна ступінь впорядкування плівки $FePt$ товщиною 0,5 мкм може бути отримана у матеріалі з концентрацією 47 ат.% - 50 ат.% Pt [23, 24]. В такому випадку співвідношення параметрів кристалічної ґратки впорядкованої фази (c/a) та температури впорядкування приймають свої мінімальні значення.

Тонкі плівки із вмістом 47 ат.% - 50 ат.% Pt мають більшу ступінь впорядкування у всьому інтервалі температур термічної обробки, ніж плівки із більшою або меншою концентрацією платини. Цей ефект пов'язується з енергією активації фазового перетворення $Al \rightarrow L1_0FePt$, що набуває мінімальних значень у діапазоні концентрації Pt 47 ат.% - 50 ат.% [24]. Встановлено що плівки $FePt$ товщиною 0,5 мкм, отримані шляхом осадження на підкладку за температури 250 °С, мають повністю впорядковану структуру $L1_0-FePt$ при концентрації Pt 48,2 ат.%. Тоді як для отримання аналогічної впорядкованості у

плівкових композиціях із більшою або меншою концентрацією платини необхідне збільшення температури термічної обробки до 300 °С [25]. Товщина плівки та присутність додаткових шарів легуючих елементів також грає велику роль при отриманні впорядкованої структури.

У дослідженні [26] встановлено вплив товщин шарів FePt та Pt в плівкових композиціях CrV/Pt/FePt на їх магнітні властивості та мікроструктуру. Плівкову композицію CrV/Pt/FePt осаджено на скляну підкладку методом магнетронного розпорощення. Шари Pt та FePt осаджено на підшар Cr₉₄V₆. Характеристики кристалічної будови цього підшару є близькими до відповідних параметрів впорядкованої фази L1₀-FePt, що обумовлює ріст цієї фази з орієнтацією зерен у кристалографічному напрямку [001]. Викликана не повною відповідністю параметрів ґратки Cr₉₄V₆ та шару FePt енергія деформації призводить до зниження температури активації фазового переходу A1→L1₀-FePt. Встановлено, що зміна товщини підшару впливає на магнітні властивості та параметри структури впорядкованої фази L1₀-FePt [26].

Криві намагнічування нанорозмірних плівкових композицій CrV/Pt/FePt із різною товщиною підшару Pt показано на рисунку 1.6.

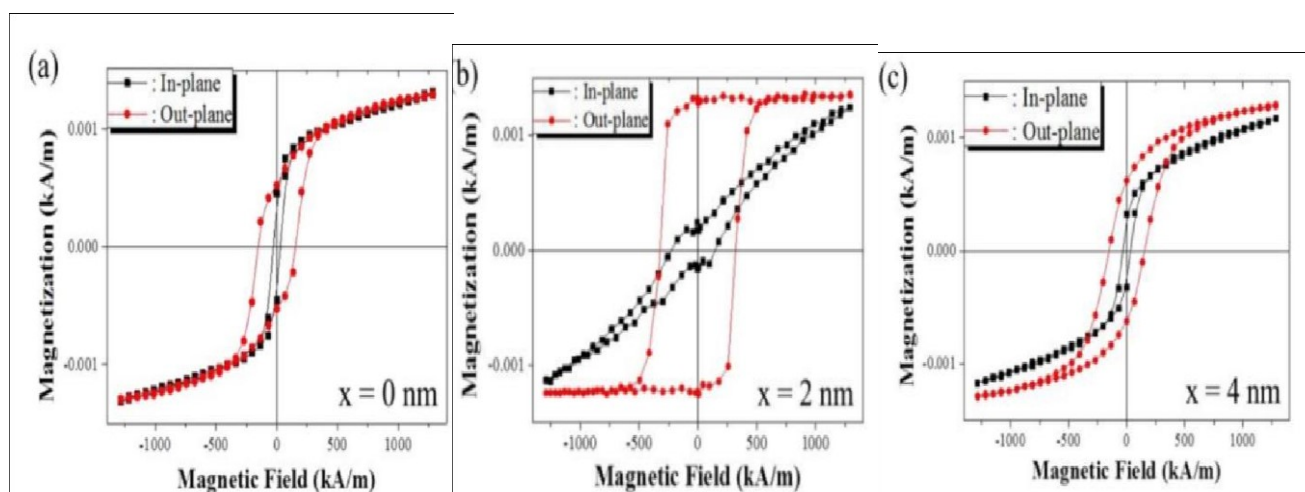


Рисунок 1.6 – Криві намагнічування нанорозмірних плівкових композицій CrV/Pt/FePt з різною товщиною шару Pt [26]

Найкращі магнітні властивості спостерігаються у зразку із товщиною шару Pt у 2 нм. Це пояснюється тим, що Pt перешкоджає дифузії V і Cr та мінімізує невідповідність параметрів ґратки, що сприяє утворенню фази $L1_0$ -FePt. Однак подальше збільшення товщини шару Pt погіршує магнітні властивості. Це може пояснюватися формуванням текстури зерен впорядкованої фази у напрямку [200].

Вплив товщини шару FePt на криві намагнічування досліджуваних плівкових композицій показані на рисунку 1.7.

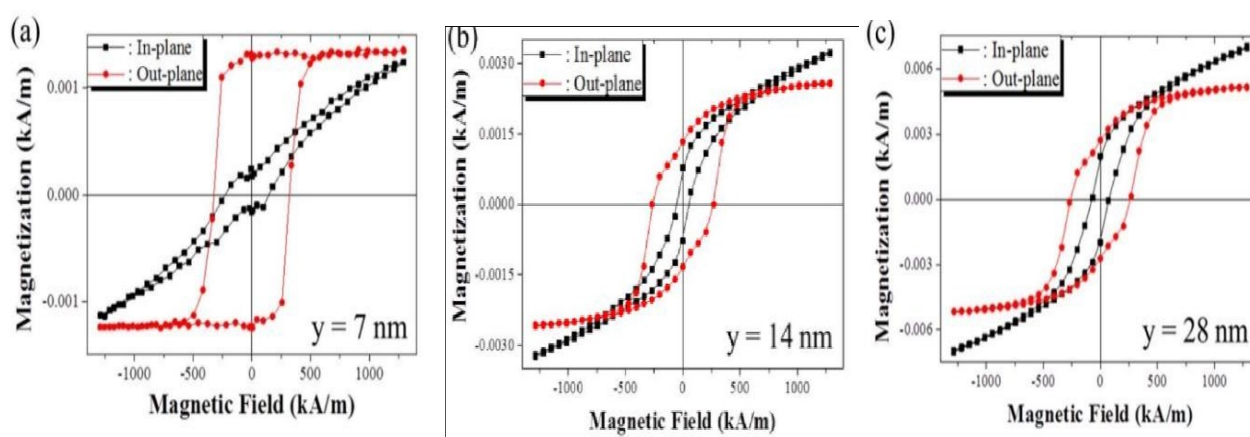


Рисунок 1.7 – Криві намагнічування нанорозмірних плівкових композицій CrV/Pt/Fe з різною товщиною шару FePt [26]

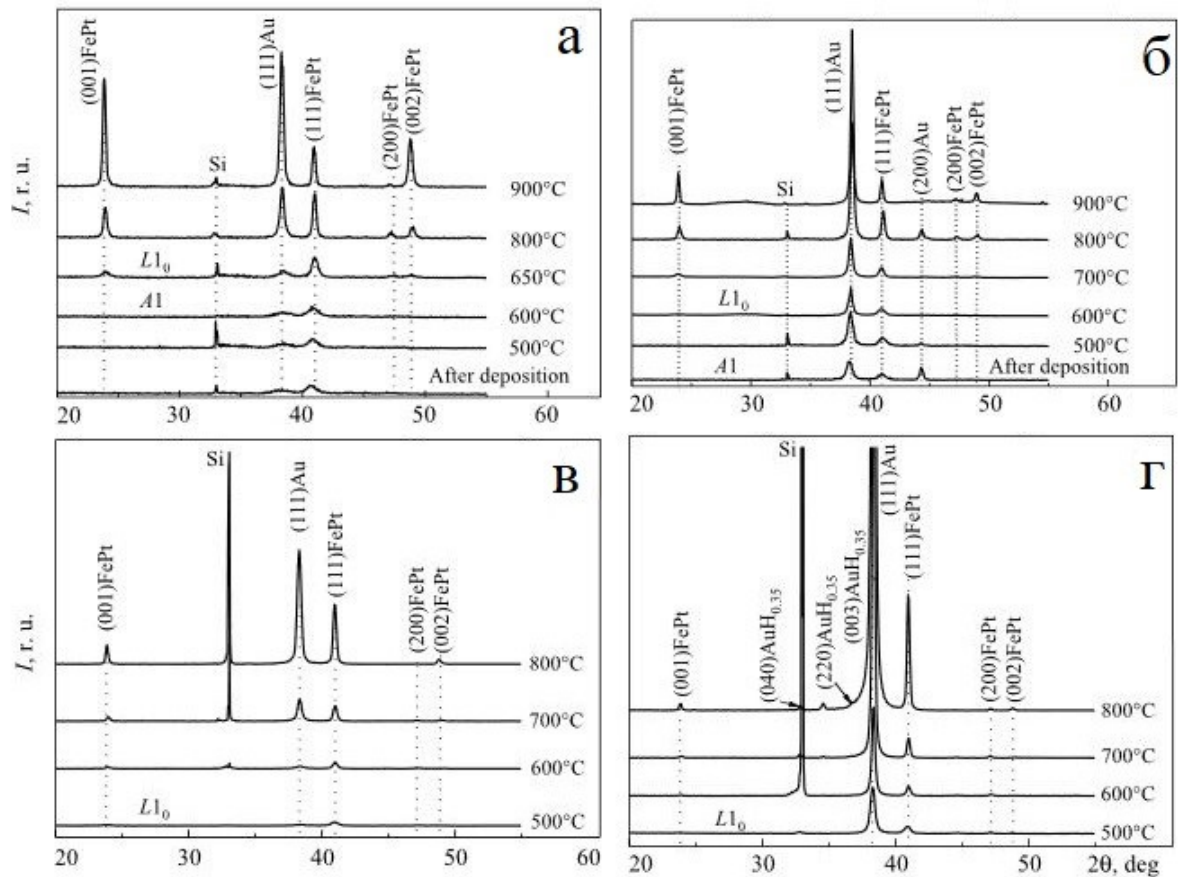
Як і в попередньому випадку найкращі магнітні властивості спостерігаються за меншої товщини шару FePt, а саме – 7 нм. Збільшення товщини цього шару призводить до погіршення магнітних властивостей. Це пояснюється впливом енергії деформації зумовленої невідповідністю параметрів кристалічних ґраток, що концентрується біля поверхні шару FePt [26]. Тому зі збільшенням товщини шару внесок енергії деформації зменшується що призводить до утворення фази FePt з текстурою зерен [200].

Підсумовуючи можна стверджувати, що вміст елементів в плівкових композиціях, а також зміна товщини шарів має суттєвий вплив на закономірності термічно-індукованого формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePt.

1.3 Вплив Au на формування впорядкованої фази $L1_0$ в плівкових композиціях на основі FePt

У плівках FePt після осадження на не нагріту підкладинку формується неупорядкована фаза $A1$ -FePt з магнітно-м'якими властивостями. Для формування хімічно-впорядкованої фази $L1_0$ -FePt необхідне проведення подальшої термічної обробки. Однак високотемпературний відпал призводить до небажаного росту зерна. Отже, температуру впорядкування плівок FePt потрібно зменшувати [18 - 20]. Використання Au, Ag або Cu в якості додаткових шарів може прискорювати процес впорядкування за рахунок зміни рівня механічних напружень в шарі FePt та сприяти зменшенню температури утворення фази $L1_0$ [21 - 28]. Внутрішні напруження в плівках залежать від товщини додаткового шару, його положення, атмосфери відпалу та швидкості нагрівання і охолодження в процесі термічної обробки [29 - 42].

На рисунку 1.8 наведено рентгенограми плівок $Fe_{50}Pt_{50}$ (15 нм)/Au (7,5; 30 нм)/ $Fe_{50}Pt_{50}$ (15 нм) після осадження та відпалу у вакуумі та атмосфері водню в діапазоні температур 500 °C - 900 °C. Осаджені плівки мають відбиття (111) від неупорядкованої фази $A1$ -FePt та відбиття (111) від Au (рис. 1.8, а і б). Впорядкована фаза $L1_0$ -FePt у плівці з проміжним шаром Au товщиною 7,5 нм виникає (рис. 1.8, а) під час відпалу у вакуумі за температури 650 °C. Це підтверджується появою надструктурного рефлексу (001) FePt і розщепленням відбиття (200) FePt на (200) та (002). В той самий час, рефлекс (111) зміщується у бік більших кутів (рис. 1.8, а). Температура впорядкування знижується до 600 °C за товщини шару Au 30 нм через більші стискаючі напруження у шарах $Fe_{50}Pt_{50}$ після осадження (рис. 1.8, б). Осаджені плівки з проміжним шаром Au товщиною 7,5 нм і 30 нм характеризуються наступними значеннями механічних напружень в шарах $Fe_{50}Pt_{50}$: 7,5 ГПа і 10,5 ГПа, відповідно. При відпалі у атмосфері водню впорядкована фаза $L1_0$ -FePt починає формуватися в обох плівках за температури 500 °C, що нижче, ніж при вакуумному відпалі (рис. 1.8, в, г).



а – відпал у вакуумі композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$, б – відпал у вакуумі композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$, в – відпал у атмосфері водню композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$, г – відпал у атмосфері водню композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$

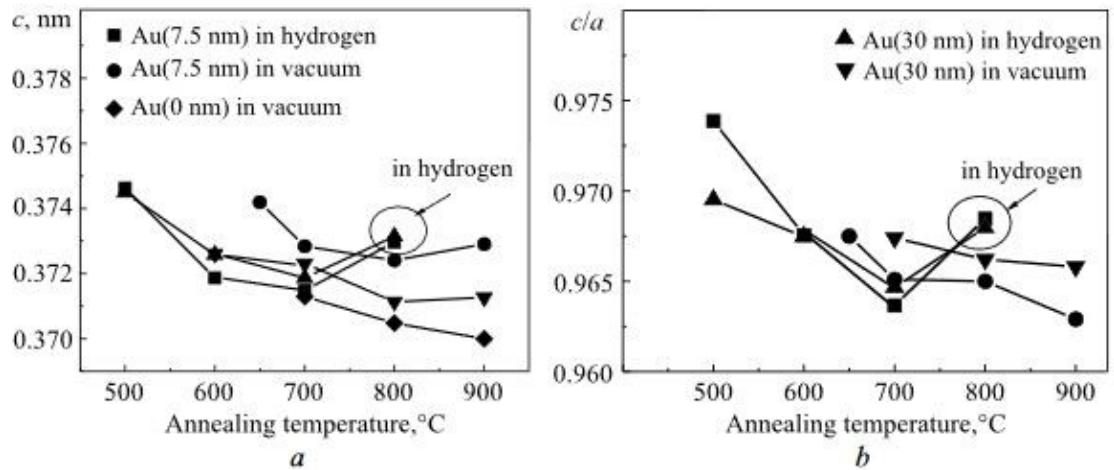
Рисунок 1.8 – Результати рентгеноструктурного аналізу пліткових композицій [41]

Це пояснюється тим, що атоми водню проникають у порожнечі ґратки FePt, що призводить до виникнення додаткових стискаючих напружень та зміни параметрів самої ґратки. Додаткові рефлекси з'являються на кутах $2\theta = 32^\circ, 34,5^\circ$ та $36,7^\circ$ за температури 600°C (рис. 1.8, в, г). Інтенсивність цих максимумів зростає із збільшенням температури відпалу.

Припускається, що рефлекси належать до гідриду $\text{AuH}_{0,35}$, що є результатом введення атомів водню в плівку. Хоча $\text{AuH}_{0,35}$ є нестійкою за кімнатної температури, спостерігалась стабілізація цієї сполуки в нерівноважних

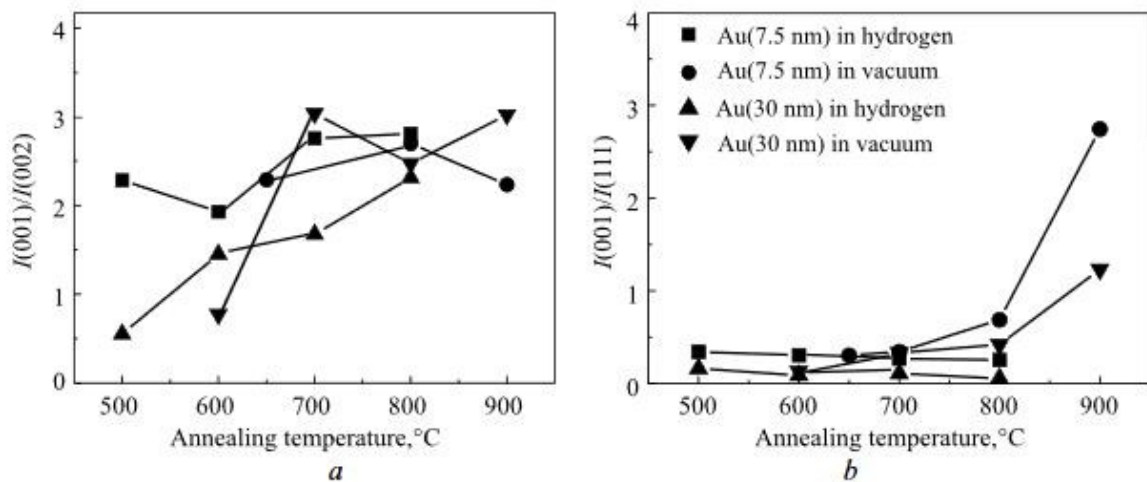
умовах для нанорозмірних плівок [42]. Інтенсивність рефлексу Au (111) збільшується із збільшенням температури відпалу (рис. 1.8). Золото не розчиняється у FePt і дифундує вздовж меж зерен у напрямку до поверхні плівки. Цей процес сприяє розвитку текстури зерен фази $L1_0$ -FePt [111], яка є більш вираженою у плівках із більш товстим шаром Au (рис. 1.8, б). Слід зазначити, що водневий відпал призводить до більш вираженої текстури [111] як Au, так і FePt (рис. 1.6 в, г).

Впорядкування плівок, відпалених у вакуумі та водні в інтервалі температур 500 °C - 800 °C, викликає зміну параметрів ґратки фази $L1_0$ -FePt. Більш висока температура відпалу зменшує параметр c та співвідношення c/a , що свідчить про збільшення тетрагональності та ступеня впорядкування фази $L1_0$ -FePt (рис. 1.9, рис. 1.10, а). Після відпалу в атмосфері водню за температури 800 °C параметр c збільшується, а тетрагональність зменшується (рис. 1.9). Ймовірно, це пов'язано із проникненням атомів водню в октаедричні та тетраедричні порожнечі кристалічної ґратки. Коли температура відпалу у вакуумі зростає до 900 °C, а товщина проміжного шару Au до 30 нм, фаза $L1_0$ -FePt стає більш упорядкованою (рис. 1.8, б, г; рис. 1.10, а), про що свідчить більша інтенсивність рефлексів (001) та (002). В результаті відпалу у водні зерна $L1_0$ -FePt майже не ростуть у напрямку [001], перпендикулярному площині плівки, оскільки атоми водню проникають у решітку $L1_0$ -FePt. Про це свідчать менші співвідношення інтенсивності рефлексів (001) і (111) порівняно з відпалом у вакуумі (рис. 1.10, б). Результати добре узгоджуються з даними, представленими в роботі [43], які засвідчили, що вміст кисню/водню в атмосфері термічної обробки мав вирішальне значення для контролю кристалографічної орієнтації в процесі відпалу. Введення атомів водню в плівку в результаті відпалу в суміші Ar + 3%N₂ пригнічує ріст зерен в напрямку, перпендикулярному площині плівки.



а – параметр c , б – співвідношення c/a

Рисунок 1.9 – Залежності параметрів фази $L1_0$ -FePt від температури відпалу для плівки $Fe_{50}Pt_{50}/Au/Fe_{50}Pt_{50}$ [43]



а – рефлекси (001)/(111), б – рефлекси (001)/(002)

Рисунок 1.10 – Залежності відношення інтенсивності рефлексів від температури відпалу у водні і вакуумі [43]

Структурні та фазові зміни суттєво впливають на магнітні властивості композитних плівок $Fe_{50}Pt_{50}(15 \text{ nm})/Au(7,5, 30 \text{ nm})/Fe_{50}Pt_{50}(15 \text{ nm})$ (рис. 1.11). Швидше за все, в результаті дифузії Au у шари FePt утворюються діамагнітні стінки вздовж меж зерен, зменшуючи тим самим магнітний обмін між ними та збільшуючи коерцитивну силу. Відпал у водні прискорює процес впорядкування. Введення атомів водню у порожнечі кристалічної ґратки $L1_0$ -FePt та додаткові

напруження також сприяють підвищенню коерцитивної сили. Максимальна коерцитивна сила (27,3 кЕ) у плівці з проміжним шаром Au товщиною 30 нм, що спостерігається після відпалу у вакуумі за температури 900 °С, може бути досягнута за допомогою відпалу у водні за температури 700 °С (рис. 1.11).

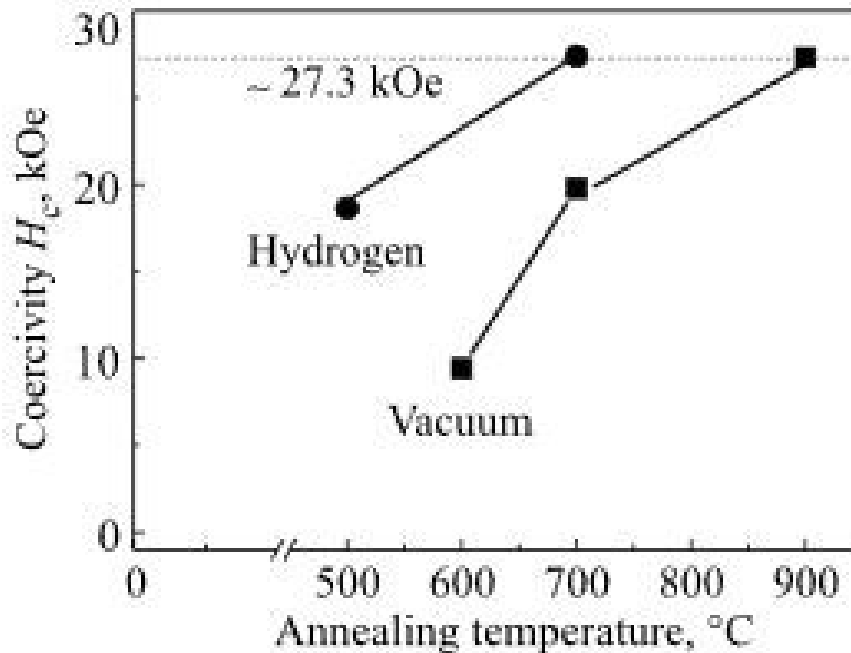


Рисунок 1.11 – Залежність коерцитивної сили плівкової композиції від температури відпалу у вакуумі та водні [44]

Можна зробити висновок, що неупорядкована фаза $Al-FePt$ утворюється в процесі осадження плівки. Впорядкована фаза $L1_0-FePt$ з'являється у плівці з проміжним шаром Au (7,5 нм) в результаті відпалу у вакуумі за температури 650 °С. Коли товщина шару Au збільшується до 30 нм, температура впорядкування знижується до 600 °С через збільшення напружень стиску в плівках. Впорядкування фази $L1_0-FePt$ стає більш вираженим із збільшенням температури відпалу до 900 °С. Незалежно від товщини проміжного шару Au, впорядкована фаза $L1_0-FePt$ починає формуватися у плівках $Fe_{50}Pt_{50}(15\text{ нм})/Au(7,5; 30\text{ нм})/Fe_{50}Pt_{50}(15\text{ нм})$ за нижчої температури (500 °С) внаслідок відпалу у водні. В процесі термічної обробки з'являються текстури зерен Au та FePt в напрямку [111]. Відпал у вакуумі сприяє орієнтованому зростанню зерен $L1_0-FePt$ у напрямку [001]. Процес впорядкування

прискорюється, а магнітні властивості композитних плівок покращуються під час відпалу, що робить їх доцільними для використання у електронних пристроях із щільним магнітним записом, а також матеріалом для наступних досліджень з метою покращення характеристик.

1.4 Висновки до розділу

1. Сплави на основі FePt характеризуються високою магнітострикцією, коерцетивною силою, магнітною анізотропією та інварним ефектом, що робить їх доцільними для застосування у пристроях пам'яті із надщільним магнітним записом. Для досягнення необхідних характеристик потрібно сформувати хімічно-впорядковану фазу $L1_0$ -FePt, що є можливим за допомогою відпалу або осадження плівкових композицій на нагріту підкладку.

2. Температуру впорядкування плівок на основі Fe/Pt можливо контролювати шляхом введення додаткових шарів Au, Ag або Cu, положення яких в нанорозмірних плівкових композиціях має суттєвий вплив на закономірності термічно-індукованих процесів структурно-фазових перетворень.

3. Вплив положення додаткового шару Au на температуру впорядкування тонкоплівкових композицій Pt/Fe вивчено недостатньо, що обумовлює актуальність даного дослідження.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Метод магнетронного осадження тонких металевих шарів

Магнетронне осадження являє собою технологію нанесення покриттів на підкладинку за допомогою бомбардуючих прискорених позитивних іонів, що потрапляють на мішень та вибивають з неї частинки матеріалу (рис. 2.1). Основними елементами магнетронної системи розпорошення є катод, анод та магнітна система, призначена для локалізації плазми біля поверхні катода.

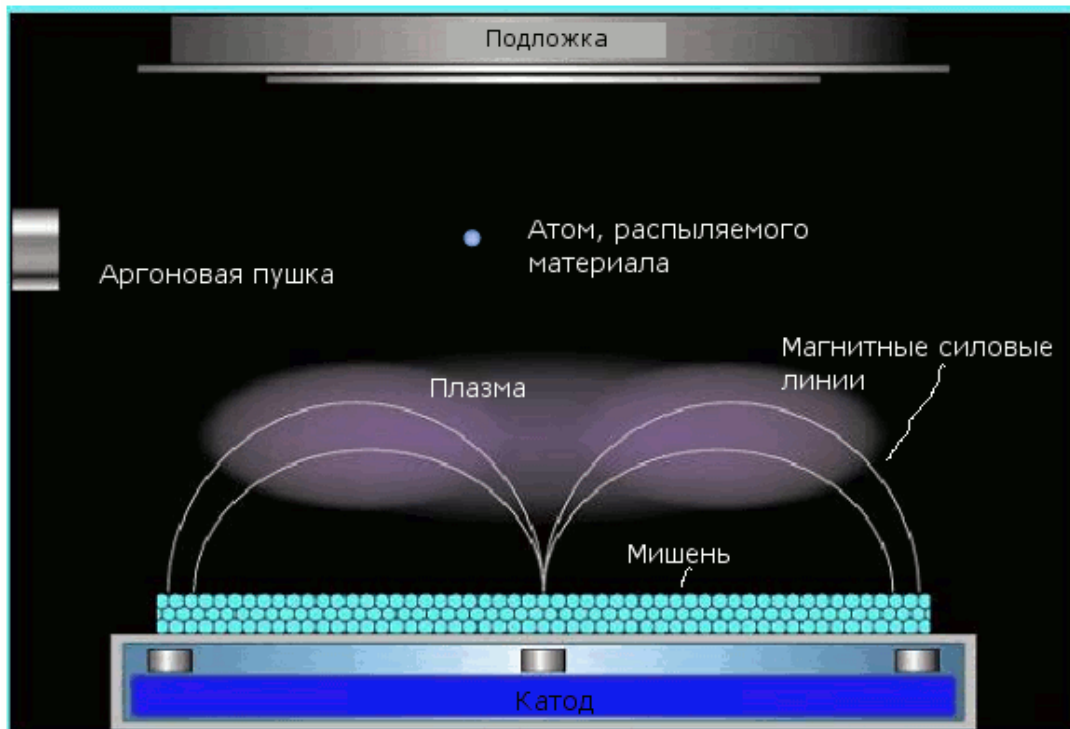


Рисунок 2.1 – Принцип роботи магнетрону [43]

Матеріалами покриттів можуть бути метали, сплави, напівпровідники, діелектрики тощо. Завдяки електричному та магнітному полям, концентрація плазми зосереджена біля катода, що забезпечує високу швидкість розпорошення та збільшення густини іонного струму за менших робочих тисків [43]. Вибиті частинки катода частково розпорошуються на підкладинку із утворенням плівки, менша ж частина осаджується на стінках вакуумної камери. Перевагами методу є висока швидкість нанесення плівок та можливість збереження стехіометрії розпорошеного матеріалу. Розпорошення проводять, як правило, у середовищі

інертного газу, наприклад аргону. Для осадження більш складних сполук таких як оксиди і нітриди до аргону додають реактивний газ (азот, кисень).

У даній роботі методом магнетронного осадження отримано плівкові композиції Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/ Fe(24 нм)/ Au(6 нм)/Pt(15,7 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм) на підкладинки термічно-окисленого монокристалічного кремнію SiO₂/Si (001).

2.2 Відпал у вакуумі

Відпал плівок у даній роботі проводився у вакуумній установці типу ВУП-5М (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Вакуумно-універсальний пост ВУП-5М

Термічна обробка досліджуваних тонкоплівкових композицій проводилася у температурному інтервалі 400 °С - 450 °С протягом 30 хвилин, 60 хвилин та 120 хвилин. Контроль температури відбувався за допомогою підведеної до нагрівальної поверхні термомпари.

2.3 Рентгеноструктурний аналіз

Для визначення фазового складу досліджуваних плівок використовувався метод рентгеноструктурного аналізу за допомогою дифрактометра Rigaku

ULTIMA IV. Основою методу є явище дифракції рентгенівського випромінювання у вузлах кристалічних ґраток, що можливе при розсіянні рентгенівських променів на періодично розташованих частинках із дальнім порядком. Результуючі дифраговані промені мають різну довжину ходу, що залежить від міжплощинної відстані кристалу та кута, під яким на нього падає рентгенівський промінь (формула 2.1).

$$2d \sin \theta = n\lambda, \quad (2.1)$$

де: d – міжплощинна відстань;

θ – брегівський кут;

λ – довжина хвилі випромінювання;

n – порядок відбиття.

Тобто при різниці ходу в $n\lambda$ (n – ціле число) завдяки інтерференції хвилі будуть посилюватися, що у результаті дає максимуми інтенсивності на дифракційній картині. Так як відомою є довжина хвилі випромінювання можливий розрахунок міжплощинної відстані за формулою 2.1. Порівняння цих розрахункових даних з попередньо відомими табличними даними забезпечує можливість визначення фазового складу досліджуваних плівок.

2.4 Визначення пошарового розподілу компонентів методом вторинно-іонної мас-спектрометрії

Мас-спектрометрія вторинних іонів (ВІМС) – це метод хімічного аналізу поверхні, при якому зразок опромінюється пучком первинних іонів енергією від 100 еВ до декількох кеВ. Бомбардуючі іони вибивають із поверхні атоми та іони досліджуваної речовини. В якості первинних іонів можуть застосовувати іони інертних газів (Ar^+ , Xe^+), кисню (O^{2+} , O^-), металів (Cs^+ , In^+ , Ga^+ , Bi^+ та ін.). Утворений в результаті опромінювання пучок вторинних іонів аналізується за допомогою мас-аналізатора для визначення елементного, ізотопного або молекулярного складу поверхні [45]. В результаті отримуються графіки

залежності інтенсивності виходу вторинних іонів від часу розпорошення, тобто розподіл іонів по глибині зразка.

2.5 Висновки до розділу

Підібраний комплекс новітніх методів отримання, обробки і дослідження нанорозмірних матеріалів має забезпечити можливість виявлення впливу положення додаткового шару Au на закономірності формування структурно-фазових станів композицій на основі Fe/Pt і достовірність отримання експериментальних результатів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив положення додаткового шару Au на фазові перетворення у нанорозмірних плівкових композиціях на основі Pt/Fe

Для визначення впливу положення додаткового шару Au на дифузійні процеси та утворення впорядкованої фази $L1_0$ -FePt нанорозмірні плівкові композиції Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(24 нм)/Au(6 нм)/Pt(15,7 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм) піддавалися відпалу у вакуумі за температур 400 °C та 450 °C впродовж 30 хвилин, 60 хвилин та 120 хвилин.

Результати рентгеноструктурного фазового аналізу досліджуваних плівкових композицій після відпалу у вакуумі за температури 400 °C протягом 30 хвилин показані на рисунку 3.1.

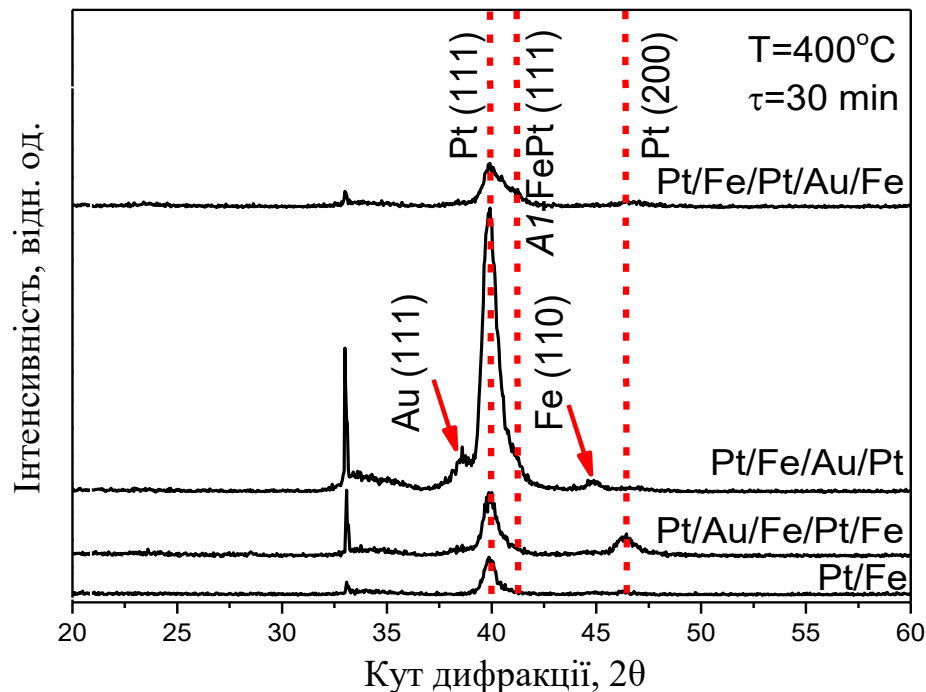


Рисунок 3.1 – Дифрактограми плівкових композицій після відпалу впродовж 30 хвилин за температури 400 °C

На дифрактограмі плівки Pt/Fe спостерігаються рефлекси Pt(111) та Pt(200) малої інтенсивності, інтенсивність і ширина цих рефлексів збільшується на дифрактограмі плівкової композиції Pt/Au/Fe/Pt/Fe, що свідчить про початок

формування неупорядкованої фази Al -FePt. Поява нових рефлексів Au(111) та Fe(110) спостерігається на дифрактограмі шаруватої структури Pt/Fe/Au/Pt, на якій також помітно збільшення ширини та інтенсивності дифракційних максимумів Pt.

Незначні зміни структурно-фазового стану досліджуваних відбуваються в результаті збільшення тривалості відпалу до 60 хвилин (рис. 3.2).

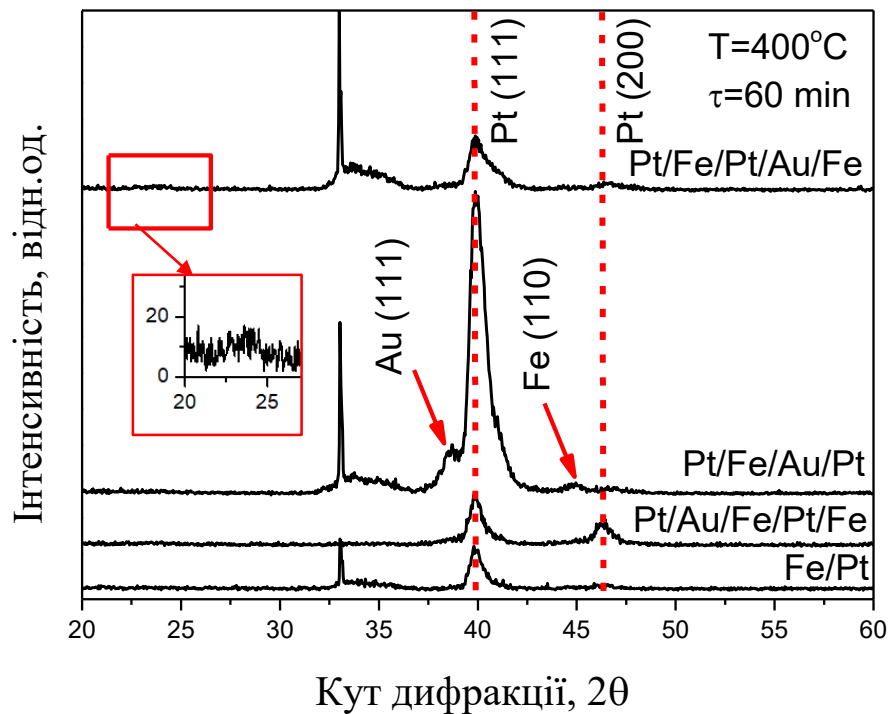


Рисунок 3.2 – Дифрактограми плівкових композицій після відпалу впродовж 60 хвилин за температури 400 °С

Спостерігається пік невеликої інтенсивності на малих дифракційних кутах $2\theta = 24^\circ$. Після відпалу за температури 400 °С впродовж 120 хвилин спостерігаються суттєві зміни фазового складу плівок із додатковим шаром Au (рис. 3.3).

Дифракційна картина підтверджує існування неупорядкованої фази Al -FePt у зразках із додатковим шаром Au. Початок формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePt стає більш очевидним у плівках Pt/Fe/Pt/Au/Fe та Pt/Au/Fe/Pt/Fe, про що свідчить висока інтенсивність дифракційного максимуму $L1_0$ -FePt(200). Також

спостерігається незначний рефлекс $L1_0$ -FePt(001) на невеликих кутах $2\theta = 24^\circ$ у плівках із додатковим шаром Au.

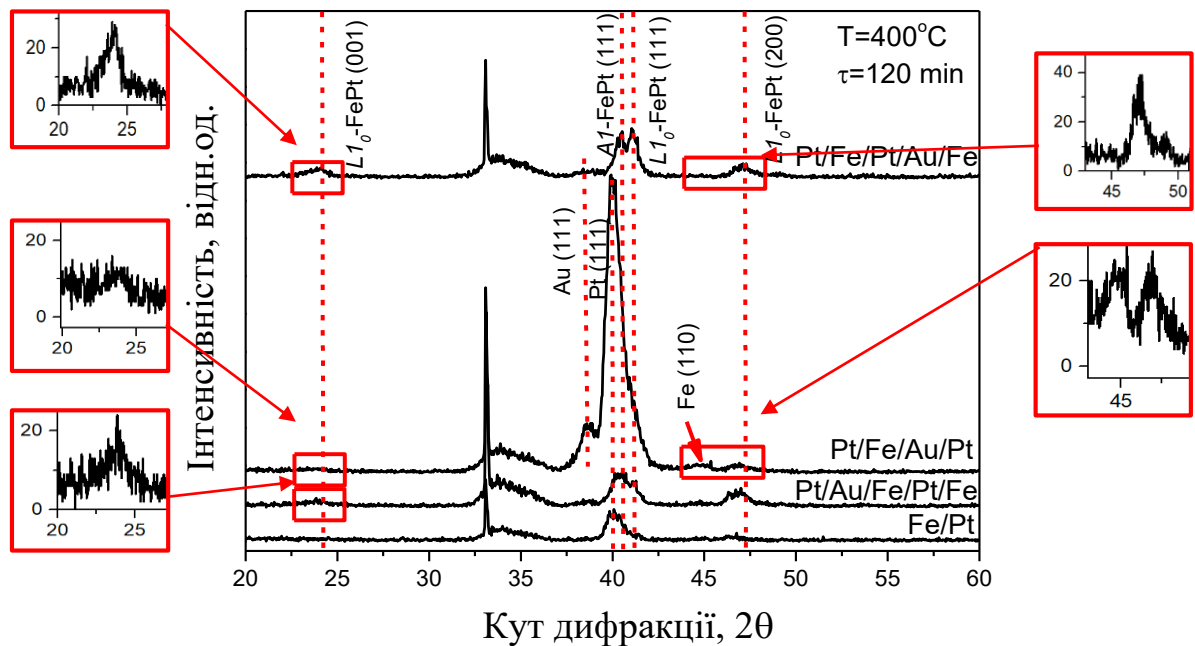


Рисунок 3.3 – Дифрактограми плівкових композицій після відпалу впродовж 120 хвилин за температури 400°C

При збільшенні температури відпалу до 450°C спостерігається існування неупорядкованої $A1$ -FePt(111) фази на рівні з попереднім режимом відпалу (рис. 3.4). Формування впорядкованої $L1_0$ -FePt фази стає більш вираженим, але інтенсивність дифракційного максимуму $L1_0$ -FePt(111) не досягає рівня інтенсивності (111) рефлексу неупорядкованої фази для плівок із додатковим шаром золота. При збільшенні часу відпалу до 60 хвилин дифракційні максимуми фаз $A1$ -FePt та $L1_0$ -FePt мають майже однакову інтенсивність на дифрактограмах плівок Fe/Pt та Pt/Fe/Au/Pt (рис. 3.5). Також присутній дифракційний максимум $L1_0$ -FePt(001) у всіх зразках із додатковим шаром Au. Для дифрактограм плівок Pt/Au/Fe/Pt/Fe та Pt/Fe/Pt/Au/Fe інтенсивність піку впорядкованої фази $L1_0$ -FePt(111) значно перевищує інтенсивність рефлексу від неупорядкованої фази.

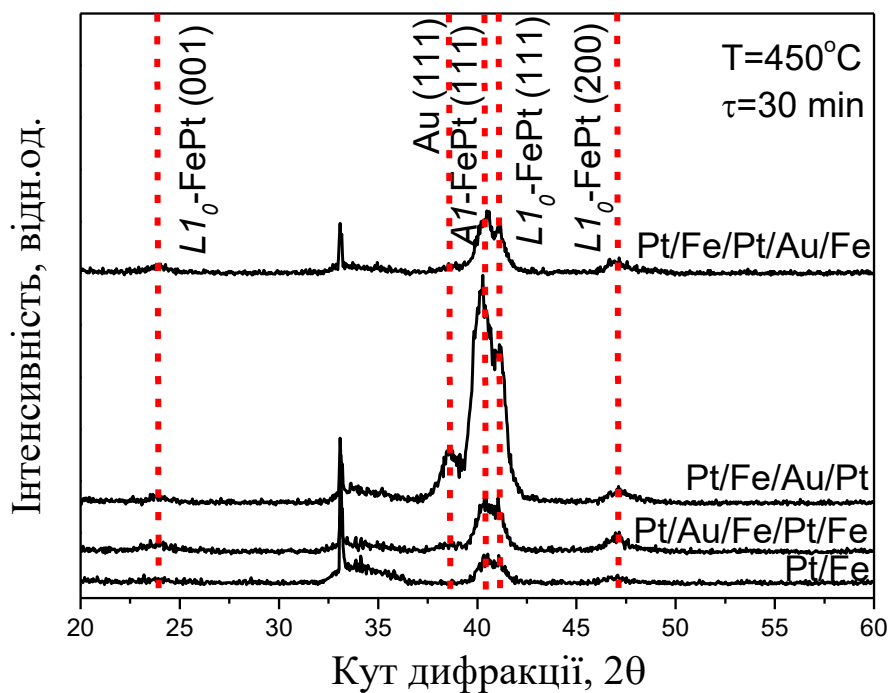


Рисунок 3.4 – Дифрактограми плівкових композицій після відпалу впродовж 30 хвилин за температури 450°C

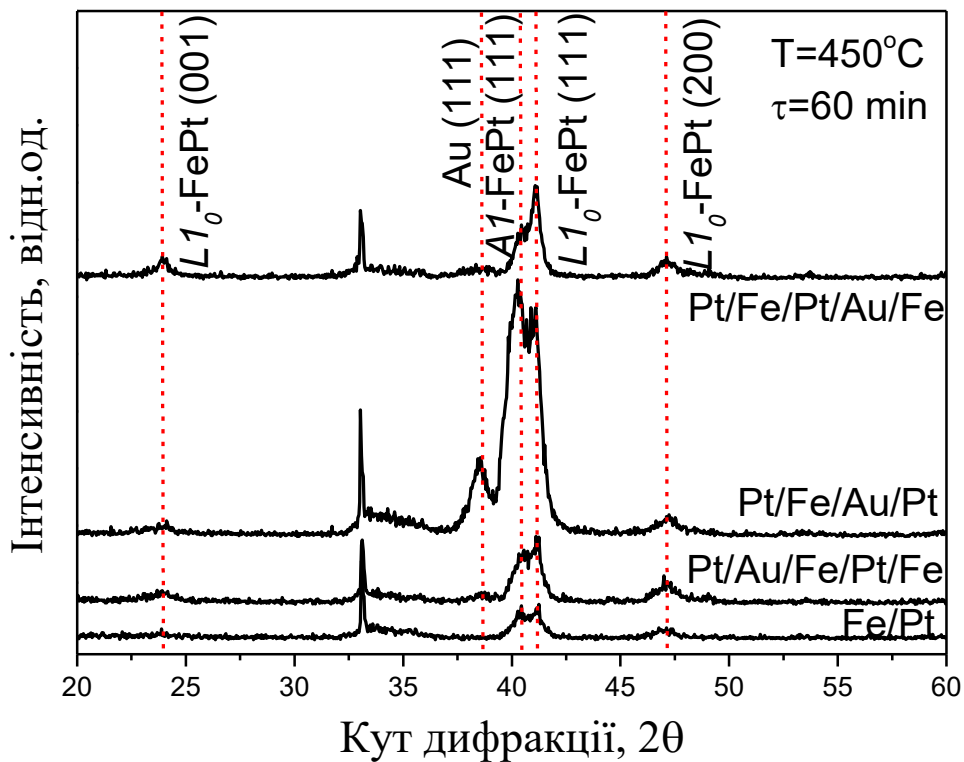


Рисунок 3.5 – Дифрактограми плівкових композицій після відпалу впродовж 60 хвилин за температури 450°C

При збільшенні часу відпалу до 120 хвилин за температури 450 °C інтенсивність дифракційних максимумів $Al-FePt(111)$ та $L1_0-FePt(111)$ на дифрактограмі півки Fe/Pt вирівнюється до однакової. У той час як у зразках із додатковим шаром золота інтенсивність дифракційних максимумів фази $L1_0-FePt(111)$ переважає над неупорядкованою фазою $Al-FePt(111)$ (рис. 3.6). Тобто додавання проміжних шарів Au сприяє прискоренню процесу впорядкування кристалічної будови плівкових матеріалів на основі Fe/Pt.

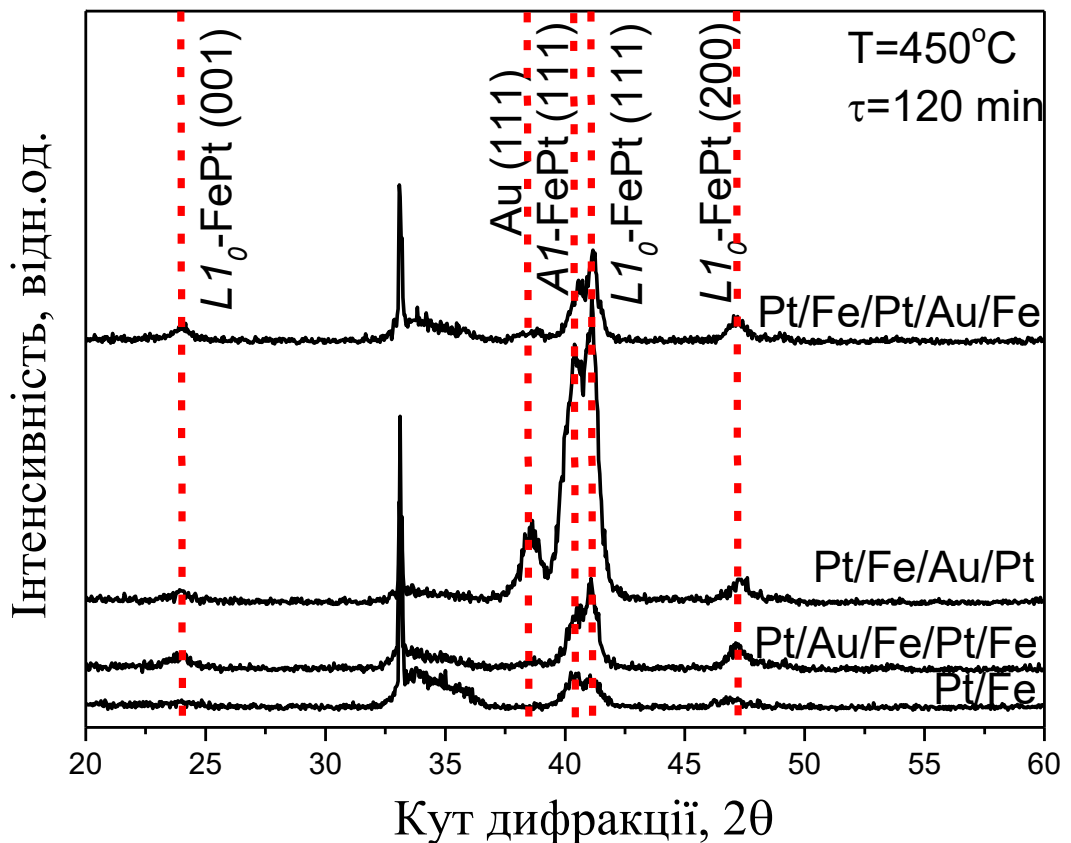


Рисунок 3.6 – Дифрактограми плівкових композицій після відпалу впродовж 120 хвилин за температури 450 °C

Особливості сформованого фазового складу досліджуваних тонкоплівкових композицій після відпалу за різних температур з різною тривалістю відображені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Співвідношення фазового розподілу в залежності від температури та часу відпалу

	Температурний режим, °C					
	400			450		
	Час відпалу, хв					
Плівка	30	60	120	30	60	120
Pt/Fe	Pt/Fe	Pt/Fe	Pt/Fe	$Al+Ll_0$ - FePt	Ll_0 - FePt+Al	Ll_0 - FePt+Al
Pt/Au/Fe/Pt/Fe	Pt/Fe	Pt/Fe	$Al+Ll_0$ - FePt	$Al+Ll_0$ - FePt	Ll_0 - FePt>Al	Ll_0 - FePt>Al
Pt/Fe/Au/Pt	Au+Pt/Fe	Au+Pt/Fe	$Al+Ll_0$ - FePt	$Al+Ll_0$ - FePt	Ll_0 - FePt>Al	Ll_0 - FePt>>Al
Pt/Fe/Pt/Au/Fe	Pt+Al- FePt	Pt+Al- FePt	$Al+Ll_0$ - FePt	$Al+Ll_0$ - FePt	Ll_0 - FePt>Al	Ll_0 - FePt>>Al

За температури відпалу 400 °C впродовж 120 хвилин спостерігається початок формування впорядкованої фази Ll_0 -FePt, проте інтенсивність рефлексів від цієї фази є значно меншою, ніж від неупорядкованої структури Al -FePt. Із подальшим збільшенням температури відпалу до 450 °C спостерігається збільшення кількості і ступеню впорядкування фази Ll_0 -FePt. Після відпалу за температури 450 °C впродовж 60 хвилин всі досліджувані плівкові композиції мали двофазну структуру з більшою кількістю впорядкованої Ll_0 -FePt структури в порівнянні з фазою Al -FePt. Співвідношення кількості цих фаз залежить від положення додаткового шару Au та фізико-технологічних параметрів термічної обробки.

3.2 Особливості розподілу хімічних елементів за товщиною нанорозмірних композицій на основі Pt/Fe

Результати пошарового хімічного аналізу методом вторинно-іонної мас-спектрометрії досліджуваних тонкоплівкових композицій Pt/Fe, Pt/Au/Fe/Pt/Fe,

Pt/Fe/Au/Pt, Pt/Fe/Pt/Au/Fe після відпалу за температури 450 °С впродовж 30 хвилин представлено на рисунку 3.7. Введення додаткового шару Au призводить до прискорення взаємної дифузії між шарами Fe та Pt у досліджуваних плівкових композиціях порівняно із плівкою Fe/Pt (рис. 3.7, а).

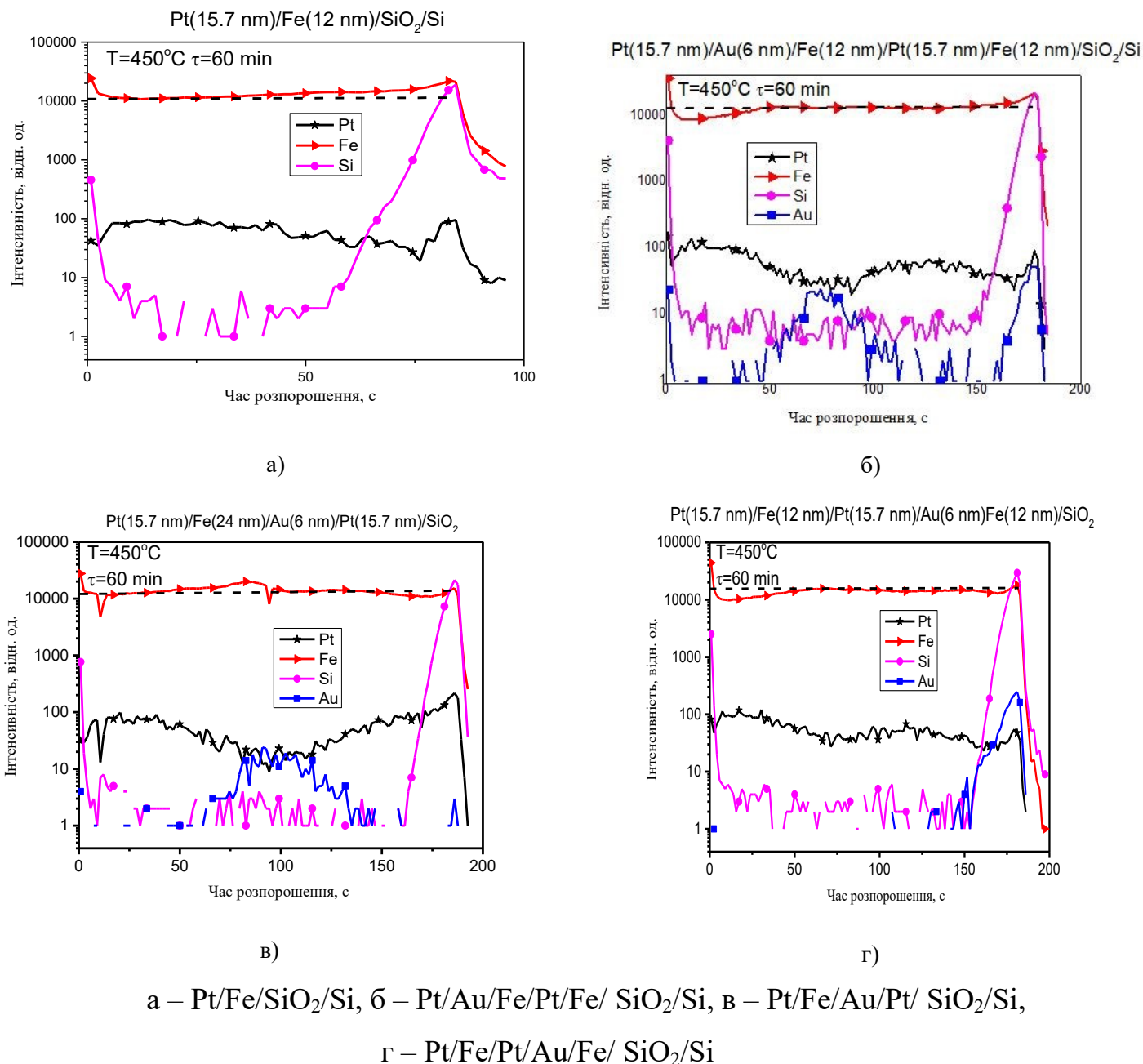


Рисунок 3.7 – Пошаровий розподіл хімічних елементів плівкових композицій при відпалі за температури 450 °С впродовж 60 хвилин

Більш рівномірний розподіл хімічних елементів у плівці Pt/Fe/Pt/Au/Fe може свідчити про початок зародження хімічного впорядкування з утворенням фази $L1_0$ -FePt у структурі даної композиції (рис. 3.7, г).

Підвищення температури відпалу до 450 °C призводить до майже повної гомогенізації всіх досліджуваних тонкоплівкових композицій (рис. 3.7).

3.3 Висновки до розділу

1. Встановлено, що після відпалу за температури 400 °C протягом 30 хвилин введення додаткового шару Au призводить до прискорення взаємної дифузії між шарами Fe та Pt у всіх розглянутих плівкових композиціях порівняно із плівкою Pt/Fe. Більше того, в плівці Pt/Fe/Pt/Au/Fe спостерігається початок процесу хімічного впорядкування, тоді як для інших досліджуваних плівок для цього потрібне підвищення температури або тривалості відпалу.

2. Починаючи з відпалу за температури 450 °C протягом 60 хвилин, усі досліджувані плівки мають двофазну структуру – спостерігається спільне існування фаз $A1$ і $L1_0$, концентраційне співвідношення яких залежить від вихідного положення додаткового шару Au.

3. Особливості гомогенізації хімічного складу за товщиною композицій відпалених за температури 400 °C мають виражену залежність від початкового положення додаткового шару Au, тоді як підвищення температури відпалу до 450 °C призводить до майже повної гомогенізації всіх досліджуваних плівкових композицій. Після остаточного відпалу за температури 450 °C протягом 120 хвилин всі плівки з додатковим шаром Au в своєму складі мають більшу кількість впорядкованої фази $L1_0$ -FePt порівняно з фазою $A1$ -FePt.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Важливою частиною організації виробничого процесу на підприємствах є охорона праці.

Основним завданням охорони праці є розробка методів і засобів захисту робітників від можливих загроз та небезпек на робочому місці, а також запобігання аваріям та ліквідації їх наслідків на виробництві.

В Україні право людей на безпечні умови праці гарантує Конституція, Закон України «Про охорону праці» та законодавчі і нормативно-технічні акти. В Національному Технічному Університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за дотримання норм охорони праці відповідає відділ охорони праці, яким керує Е.Г. Луцик.

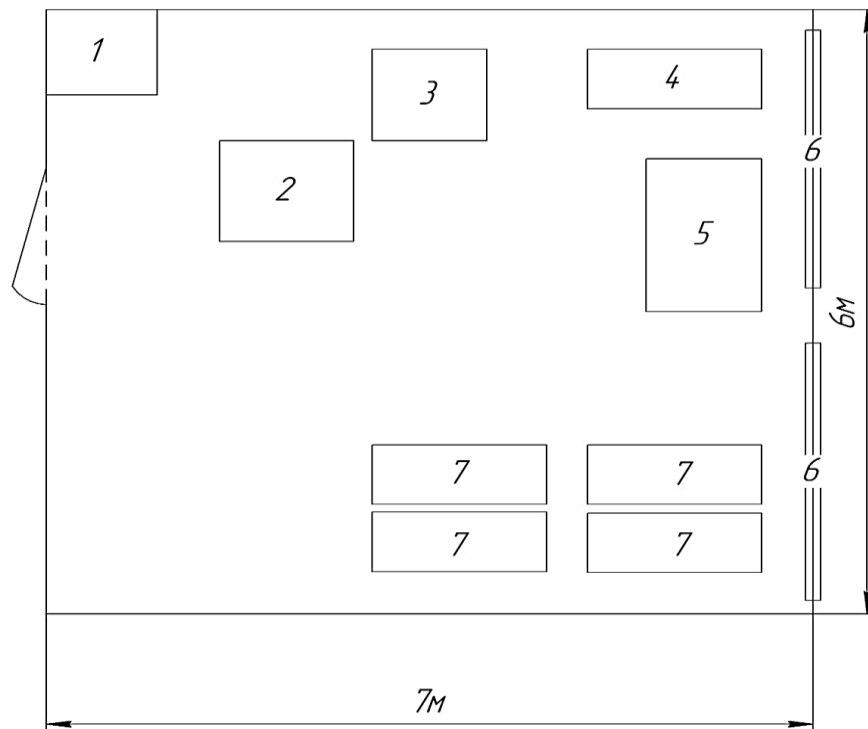
Метою даного розділу є аналіз умов праці при виконанні науково-дослідної роботи, аналіз шкідливих та небезпечних факторів за яких виникає небезпека ураження організму, можливих загроз та шкідливих чинників, а також розробка способів їх ліквідації та нейтралізації.

У даній науково-дослідній роботі вивчається вплив положення додаткового шару Au та параметрів термічної обробки на закономірності формування структурно-фазових станів тонкоплівкових композицій Pt/Fe, Pt/Au/Fe/Pt/Fe, Pt/Fe/Au/Pt, Pt/Fe/Pt/Au/Fe. Термічна обробка проводилась у вакуумному універсальному пості типу ВУП-5М в температурному інтервалі 400 °С - 450 °С.

4.1 Аналіз параметрів приміщення

Науково-дослідна робота виконувалась в лабораторії вакуумно-термічної обробки (кімната 506, 9 корпус рис. 4.1).

Приміщення лабораторії має наступні параметри: розміри кімнати 6×7 метрів, висота стелі – 2,7 метри, площа приміщення складає 42 м², об'єм приміщення складає 113,4 м³.



1 – шафа; 2 – установка ВУП-5М (робоче місце); 3 – комп'ютер; 4 – шафа для зразків; 5 – стіл для підготовки зразків; 6 – вікно; 7 – робочий стіл

Рисунок 4.1 – Схема лабораторії вакуумно-термічної обробки

У лабораторії працює дві людини, тому на кожного працівника припадає 21 м^2 площі та $56,7 \text{ м}^3$ об'єму, що відповідає санітарним нормам згідно ДсанПіН 3.32-007-98 [46].

4.2 Мікроклімат робочої зони

Повітря робочої зони є важливою частиною робочого середовища, від якої залежить самопочуття та продуктивність праці робітників. Якість повітря може бути головною причиною захворювань та значною мірою впливати на самопочуття людини. Тому стан повітря в робочому просторі має бути постійно контрольованим та перевіреним. Для цього визначають мікрокліматичні умови та вміст шкідливих речовин.

Мікрокліматичні умови – сукупність параметрів, якими визначають стан повітря робочої зони. До параметрів мікроклімату відносять [47]:

- температуру повітря ($^{\circ}\text{C}$),

- відносну вологість повітря (%),
- швидкість руху повітря (м/с),
- інтенсивність інфрачервоного (теплого) випромінювання (Вт/м²) від поверхні обладнання та активних зон технологічних процесів.

Всі роботи, які виконуються на підприємствах чи у лабораторіях поділяються на категорії, які залежать від енерговитрат організму для виконання даної роботи. Для кожної категорії встановлено свої допустимі мікрокліматичні вимоги згідно ДСН 3.3.6.042-99 [47].

Дослідження, що проводилося у приміщенні даної лабораторії відноситься до категорії робіт середньої важкості – Па. Ця робота пов'язана з ходінням та переміщенням невеликих виробів (до 1 кг), предметів у положенні сидячи або стоячи, що не потребують значного фізичного напруження. За такого навантаження енерговитрати організму людини становлять 160 ккал/год – 210 ккал/год [47].

Параметри мікроклімату лабораторії наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату [48]

Категорія робіт середньої важкості Па			
Період року	Температура, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	18 - 20	40 - 60	0,2
Данні вимірювань	18	60	0,2
Теплий	21 - 23	40 - 60	0,3
Данні вимірювань	22	60	0,2
Висновки	Задовольняє вимогам	Задовольняє вимогам	Задовольняє вимогам

Згідно результатів вимірювання мікроклімату, лабораторія відповідає оптимальним санітарним нормам та є безпечною для виконання робіт.

4.3 Аналіз освітлення в приміщенні лабораторії

Важливим чинником для забезпечення комфортних умов праці є освітлення робочого приміщення. Правильність його розташування позитивно впливає на нервову систему робітників, що дозволяє бути більш сконцентрованим та уважним.

У лабораторії застосовано суміщене освітлення, за якого природне освітлення доповнюється штучним. Природне освітлення забезпечується бічними віконними прорізами, а штучне освітлення створюють люмінесцентні лампи ЛБ-40. Категорія робіт, які виконуються у лабораторії, відноситься до середньої точності (четвертий розряд зорових робіт).

4.3.1 Розрахунок характеристик природнього освітлення

Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природнього освітлення (КПО). КПО для виробничих та лабораторних приміщень визначається найменшим розміром об'єкта розрізнення, характеристикою зорової роботи та розрядом зорової роботи.

Нормоване значення КПО (e_n) для робочого приміщення можна розрахувати за формулою:

$$e_n = e_n \cdot m_n, \quad (4.1)$$

де e_n – значення КПО для робіт середньої точності,

m_n – коефіцієнт світлового клімату [48].

Природне світло потрапляє в приміщення через вікна, які розташовані на південній стороні кімнати. Для південної орієнтації m_n становить 0,85, а значення КПО для робіт середньої точності складає 1,5 %. Підставляючи коефіцієнти у формулу 4.1, отримуємо значення КПО для лабораторії:

$$e_n = 1,5 \cdot 0,85 = 1,275.$$

Із розрахунків робимо висновок, що тривала робота за такої освітленості може стати причиною зниження зору робітників, головного болю та інших професійних захворювань. Тому природне освітлення необхідно доповнювати штучним.

4.3.2 Розрахунок параметрів штучного освітлення

Штучне освітлення створюється в лабораторії за допомогою 12 люмінесцентних ламп типу ЛБ-40. Для розрахунку параметрів освітлення існує декілька методів: метод питомої потужності, розрахунок коефіцієнта використання світлового потоку та точковий метод. В даній роботі розрахуємо коефіцієнт використання світлового потоку.

Розрахункове рівняння для визначення нормованої освітленості має наступний вигляд [49]:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n \cdot \eta}{K \cdot S \cdot Z}, \quad (4.2)$$

де F – світловий потік;

E – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

K – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Світловий потік F для ламп типу ЛБ-40 становить 3200 лм, коефіцієнт запасу складає 1,5, коефіцієнт нерівномірності – 1,1. В лабораторії знаходиться 6 світильників, у кожному по дві лампи, коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,56$. Підставляючи необхідні значення у формулу 4.2, отримаємо наступне значення нормованої освітленості:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n \cdot \eta}{K \cdot S \cdot Z} = \frac{3200 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,56}{1,5 \cdot 42 \cdot 1,1} = 310 \text{ лк.}$$

За даними ДБН В.2.5–28–2006 норма освітленості робочого приміщення становить 300 лк. Розрахована нормована освітленість відповідає нормі, тож штучне освітлення є достатнім для даної лабораторії.

4.4 Аналіз небезпечних чинників в приміщенні лабораторії

В ході виконання науково-дослідної роботи в приміщенні лабораторії виявлені фактори, що можуть становити загрозу: шум та вібрації, небезпека ураження електричним струмом, небезпека при роботі з вакуумною установкою.

Для запобігання нещасних випадків і ситуацій, які можуть призвести до травматизму, кожен працівник лабораторії проходить інструктаж з техніки безпеки.

Шкідливі фактори та можливі небезпеки, які можуть бути на місці виконання науково-дослідної роботи представлено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Шкідливі фактори при виконанні НДР

Операція	Устаткування	Потенційні небезпеки
Підготовка зразків	Алмазний різак	Травмування
Відпал зразків	Установка ВУП-5М	Ураження електричним струмом, опіки, шум, вібрації
Обробка результатів	Комп'ютер ЕОМ	Ураження електричним струмом

4.4.1 Аналіз шуму та вібрацій

Під час роботи вакуумної установки вакуум в ній підтримується завдяки роботі дифузійного та форвакуумного насосів. Саме робота цих насосів створює основний шум та вібрації. Тривалий шум чинить негативний вплив на нервову систему та може бути причиною зниження слуху, емоційного та психологічного виснаження. В залежності від рівня шуму (поріг больової чутливості $I = 120$ дБА) людина може отримати фізичні пошкодження та втратити слух.

У лабораторії вакуумно-термічної обробки рівень шуму складає 52 дБА, що є допустимим згідно ДСН 3.3.6.037-99 [51].

При роботі установки також присутні вібрації – механічні коливання обладнання, а саме дифузійного та форвакуумного насосів. Для мінімізації цих коливань насоси установлені на гумових підставках – віброізоляторах та окремому фундаменті. Такі заходи забезпечують допустимий рівень вібрації згідно санітарних норм мікроклімату [48].

4.4.2 Аналіз небезпек при роботі з установкою ВУП-5М

Робота з установкою для відпалу у вакуумі потребує певних знань та навичок. Установка має індикатори для інформування лаборанта про відсутність водопостачання, недостатню герметичність камери, датчик температуру в камері та ін.

Пошкодження системи водного охолодження може призвести до перегрівання дифузійного насосу та його згорання, до витікання масла, короткого замикання та ураження електричним струмом. Тому при відсутності або відключенні водопостачання слід негайно вимкнути установку та охолодити дифузійний насос ззовні.

При початку роботи з установкою необхідно звертати увагу на цілісність кабелів живлення, після чого можна приступати до роботи. Категорично забороняється заходити та торкатися задньої сторони установки при її роботі.

Вимкнення установки відбувається в наступній послідовності: відключення струму, завдяки якому відбувається нагрів, вимкнення форвакуумного насосу за температури зразка близько 80 °С, вимкнення дифузійного насосу, після його охолодження, вимкнення установки, відключення подачі води.

При відключенні в камері установки має залишатися вакуум для того, щоб робочі елементи не взаємодіяли з киснем повітря.

4.4.3 Безпека при роботі з електричними приладами

Електробезпека – це сукупність технічних та організаційних заходів для забезпечення захисту робітників від небезпеки ураження електричним струмом.

Електротравма – травма, що є наслідком ураження електричним струмом від неізольованих дротів, підключених до мережі чи від ураження блискавкою. Внаслідок такої травми в організмі людини відбуваються важкі зміни, які часто можуть приводити до смерті [49].

Існує три категорії приміщень в залежності від можливості ураження електричним струмом [49]: приміщення без підвищеної небезпеки; приміщення з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні приміщення.

Для особливо небезпечних приміщень характерні такі умови: висока відносна вологість повітря (близько 100 %), хімічно або біологічно активне середовище. Такі фактори негативно впливають на частини устаткування, такі як ізолюючі конструкції та ті, що проводять струм.

Приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки за однієї з наступних умов: протягом тривалого часу відносна вологість є вищою за 75 % або температура робочої зони вищою за 35 °С, в приміщенні струмопровідна підлога або є можливість випадково доторкнутися до металевих частин устаткування, які заземлені і частин, що можуть бути під напругою [49].

В лабораторії вакуумно-термічної обробки безпеку ураження електричним струмом несуть комп'ютери для обробки результатів експериментів та установка ВУП-5М. Дана лабораторія є приміщенням підвищеної небезпеки, оскільки є можливість одночасно торкнутися металевих частин конструкції будівлі, які з'єднані з землею та до тильної сторони установки. При вході в лабораторію знаходиться щиток для відключення електрики у разі нещасного випадку.

Всі електричні прилади та установка ВУП-5М у нормальному робочому режимі ізолювані, що забезпечує захист від ураження електричним струмом. Робочі місця в лабораторії розташовані таким чином, щоб запобігти

одночасному доторканню до корпусу установки та інших електричних приладів.

4.4.4 Електромагнітне випромінювання

Дані про виробничі випромінювання нормуються документом "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)" [50].

Вакуумно-термічна обробка зразків передбачає обробку результатів досліджень за допомогою комп'ютера. При роботі з електронно-обчислювальною технікою на організм людини може впливати ультрафіолетове випромінювання, електростатичне поле та рентгенівське випромінювання. Робота за комп'ютером передбачає також велике навантаження на очі.

Для запобігання наслідків впливу випромінювання від побутової апаратури встановлені норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання не більше, ніж 100 мкР/год згідно з ДСП 6.177 - 2005-09 – 02 [51].

Оскільки обробка даних з експериментів передбачає тривалий час роботи за комп'ютером, бажано, щоб загальний час роботи за монітором не перевищував 4 годин за зміну.

4.5 Організація робочого місця

Організація праці на робочому місці – система заходів, які забезпечують ефективне використання знарядь та предметів праці для трудового процесу [47].

Робоче місце – це простір, в якому відбувається трудова діяльність працівників. Для максимальної ефективності роботи працівників та збереження їх здоров'я на виробництвах дотримуються норм організації праці на робочому місці згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 та НПАОП 0.00-1.28-10.

За цими нормами обирається робоча поза (вільна, стоячи або сидячи). Відповідно до обраної робочої пози складається оптимальний графік праці та відпочинку робітників, організовується робочий простір.

Для виконання даної науково-дослідної роботи обрана робоча поза сидячи, оскільки основна частина роботи виконується за допомогою комп'ютера. Під час роботи з ПК робоче місце повинно мати наступні характеристики (рис. 4.2): висота столу 800 мм – 900 мм, ширина столу 1000 мм – 1400 мм, глибина столу 800 мм – 1000 мм, місце для ніг: висота – 600 мм, ширина – 500 мм, глибина (на рівні колін) – 450 мм, глибина (на рівні витягнутої ноги) – 650 мм, відстань від екрана ПК до очей користувача – 600 мм, клавіатура на відстані 300 мм від краю столу, коефіцієнт відбиття поверхні робочого столу – 0,6 [52].

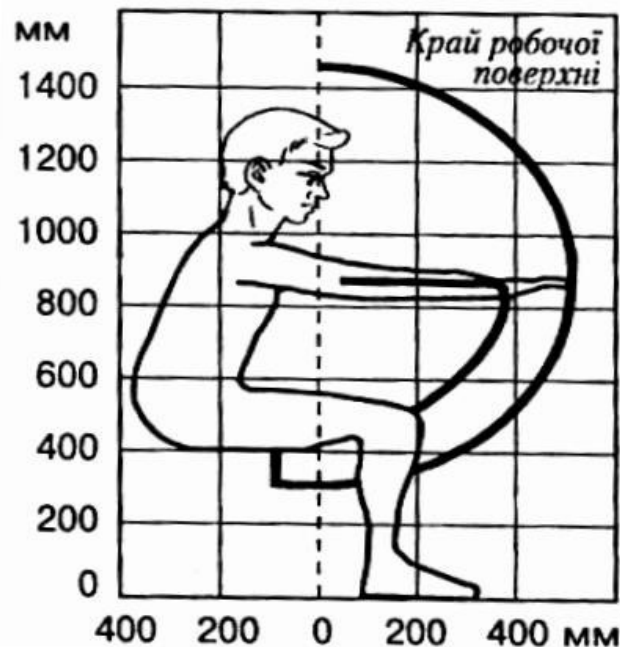


Рисунок 4.2 – Робоча зона працівника [52]

Організація робочих місць у лабораторії вакуумно-термічної обробки відповідає санітарним нормам і забезпечує комфортні умови для працівників.

4.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях

На виробництві завжди існує ризик виникнення надзвичайних ситуацій, таких як пожежа, вибух, пошкодження обладнання, витік шкідливих речовин тощо. Тому перед початком роботи на виробництві проводиться аналіз потенційно можливих надзвичайних ситуацій та розробляються плани їхньої

ліквідації. Під час аналізу враховуються особливості обладнання та технологічних блоків, властивості речовин і матеріалів, які використовуються на виробництві та особливості виробничих процесів [53].

Найбільш імовірна надзвичайна ситуація, яка може статися в лабораторії вакуумно-термічної обробки – це пожежа.

4.6.1 Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [47] лабораторія належить до категорії «Г», в лабораторії присутні негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному стані, при обробці яких виділяється теплота. Виникнення пожежі в лабораторії може відбутися лише на електроустановці. Пожежі, які виникають на електроустановках відносяться до класу «Е». При виникненні на працюючій установці пожежі, її необхідно гасити галоїдовуглеводним або вуглекислотним вогнегасником [56].

Для забезпечення пожежної безпеки у лабораторії є система пожежної сигналізації, а співробітників можна оповістити скориставшись внутрішнім зв'язком, всі небезпечні частини обладнання ізолювані, а горючі речовини знаходяться у герметичних ємностях.

У разі виникнення пожежі всі співробітники мають покинути приміщення шляхами, визначеними планом евакуації (рис. 4.3).

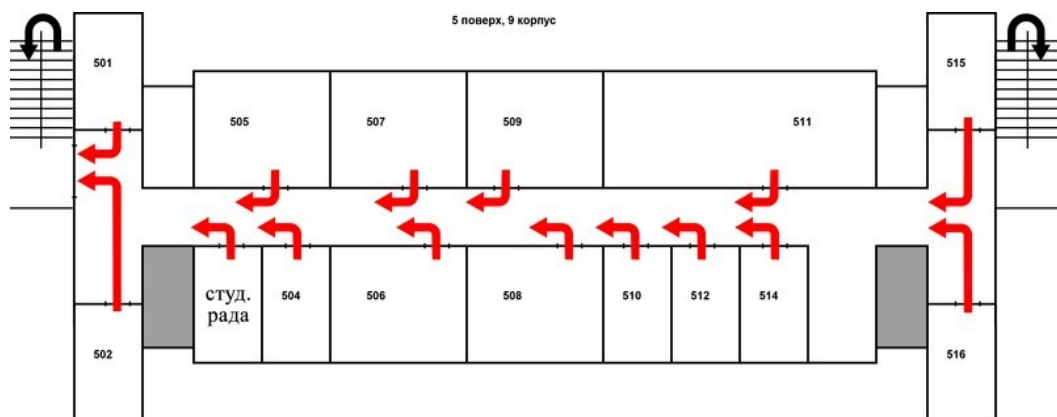


Рисунок 4.3 – План евакуації

Для попередження виникнення пожеж необхідно проводити регулярні перевірки засобів гасіння та перевірки обладнання, перевіряти справність електричної проводки та системи пожежної сигналізації, а також проводити навчання для співробітників, як поводитися у надзвичайних ситуаціях.

4.6.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Якщо відбудеться пробій електричної напруги на корпус установки, необхідно відключити подачу струму за допомогою вимикача при вході в лабораторію та повідомити відповідального майстра. При ураженні працівника струмом слід викликати швидку та надати першу допомогу потерпілому.

При займанні установки необхідно відключити струм в лабораторії та почати ліквідацію пожежі за допомогою вуглекислотного вогнегасника або піску, викликати пожежників та повідомити відповідального за охорону праці на кафедрі. У випадку травмування співробітників слід звернутися до лікарні, за необхідності надати першу допомогу та викликати швидку.

4.7 Висновки до розділу 4

1. Проведено аналіз потенційних небезпек, які можуть виникнути під час роботи в лабораторії вакуумно-термічної обробки. Робота з установкою ВУП-5М потребує належної підготовки працівників та знань щодо уникнення можливих аварійних ситуацій та наслідків від них.

2. Визначено, що рівень природного освітлення не є достатнім для створення комфортних умов праці, тому додатково застосовано штучне освітлення.

3. Виявлено, що рівень шуму та вібрацій, мікроклімат та організація робочого місця при проведенні досліджень плівкових композицій на основі FePt відповідають санітарним нормам.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

В основі проекту лежить ідея створення нових плівкових матеріалів для магнітного запису інформації та для використання їх в якості матеріалів для приладів спінтроники.

Товаром для даного стартап проекту є тонкоплівкові композиції Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм), Pt(15,7 нм)/ Fe(24 нм)/Au(6 нм)/Pt(15,7 нм), Pt(15,7 нм)/Fe(12 нм)/Pt(15,7 нм)/Au(6 нм)/Fe(12 нм), які були осадженні методом магнетронного розпорошення на підкладки термічно-окисленого монокристалічного кремнію SiO₂/Si (001) та відпалені у вакуумі (рис. 5.1).

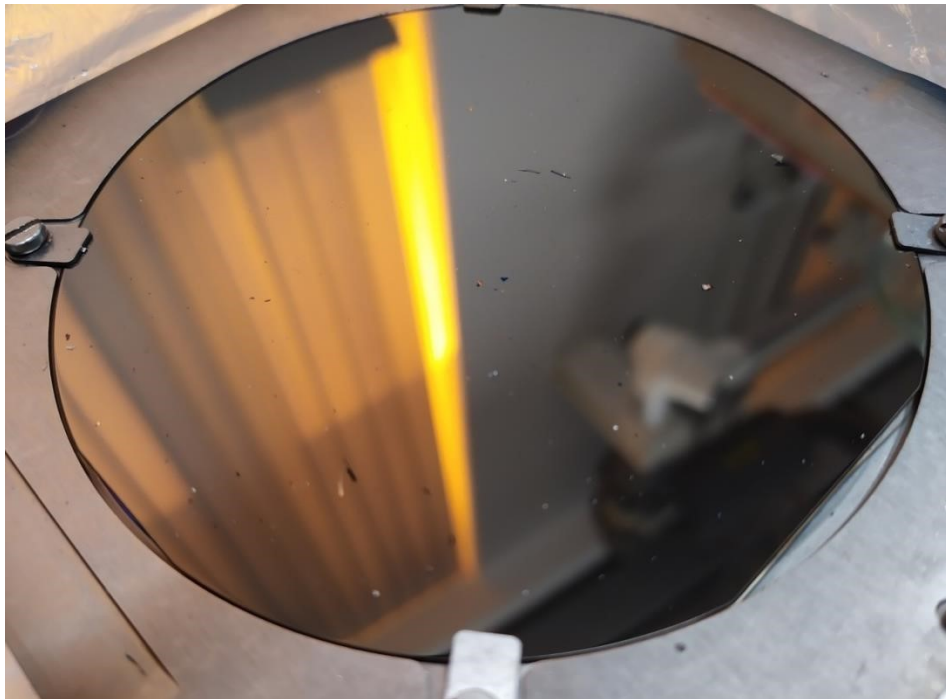


Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд тонких плівок

Оскільки фазовий склад та властивості плівок досі вивчаються, оцінка ринкової спроможності продукту проведена не в повному обсязі. У перспективі використання даних плівок, як складових елементів носіїв для запису інформації може знизити їх собівартість, шляхом збільшення щільності магнітного запису (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Розробка тонкоплівкових композицій для використання в якості носіїв магнітного запису з надвисокою щільністю та приладів спінтроники	1. Інформаційно-комп'ютерні технології	Зменшення розмірів носіїв запису інформації. Збільшення об'єму інформації, яка зберігається. Збільшення стабільності та терміну зберігання.
	2. Технології магнітного запису	
	3. Прилади спінтроники	

В таблиці 5.2 представлено визначення сильних, слабких та нейтральних сторін проєкту розробки нових тонкоплівкових матеріалів для магнітного запису інформації в порівнянні з основними конкурентами. В якості основних конкурентів обрано провідні компанії, які виготовляють носії запису та зберігання інформації: Samsung, Western Digital, Hitachi.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проєкту

№	Техніко- економічні характеристики ідеї	Наш проєкт	Samsung	Western Digital	Hitachi
1	Собівартість плівкової композиції	дешевший	дорожчий	дорожчий	дорожчий
		S	W	W	W

Продовження до таблиці 5.2

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Наш проєкт	Samsung	Western Digital	Hitachi
2	Вартість обслуговування установки для осадження	Висока	Висока	Висока	Висока
		N	N	N	W
3	Витратні матеріали під час осадження	Необхідні	Необхідні	Необхідні	Необхідні
		N	N	N	N
4	Вартість експлуатації (споживання енергії)	Стандартна	Стандартна	Стандартна	Стандартна
		N	N	N	N
5	Екологічність (обсяг відходів)	Витратні матеріали	Витратні матеріали	Витратні матеріали	Витратні матеріали
		W	W	W	W

* *W (слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона)*

5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

При розробці нової ідеї та втіленні її у промисловості необхідно проаналізувати існуючі технології для реалізації та доступність цих технологій (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Аналіз технологій для реалізації проєкту

Технологія	Наявність технології	Доступність технології
Магнетронне осадження плівок	Технологія існує	Доступна
Відпал у вакуумі	Технологія існує	Доступна
Визначення фазового складу зразків	Технологія існує	Доступна
Перпендикулярний магнітний запис інформації	Технологія існує	Доступна

За результатами аналізу технологій можна зробити висновок, що для реалізації проєкту доступні всі необхідні технології. Проте, об'єкт дослідження – це тільки частина носія для запису інформації, тому необхідно провести додаткові дослідження, а саме спробувати записати інформацію на прототип, виготовлений на основі плівкових композицій Pt/Fe, Pt/Au/Fe/Pt/Fe, Pt/ Fe/Au/Pt, Pt/Fe/Pt/Au/Fe.

5.3 Ринкові можливості запуску проєкту

Для планування напрямків розвитку проєкту необхідно враховувати ринкове середовище, визначити ринкові можливості та загрози реалізації проєкту. Сьогодні основні гравці на ринку носіїв запису інформації це Samsung, Western Digital та Hitachi. Проте за даними аналітичної компанії Trendfocus попит на жорсткі диски значно зменшився, вони поступаються місцем SSD дискам.

Нові матеріали для запису інформації можна буде застосувати як в жорстких дисках для збільшення щільності запису інформації, так і в SSD дисках.

Оцінка потенційного ринкового середовища та інформація про основних гравців представлена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Оцінка потенційного ринкового середовища

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1) Samsung, 2) Western Digital, 3) Hitachi
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од, 2019 рік	310 млн. од. (всі виробники)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	В 2021 році випуск комп'ютерних жорстких дисків впаде до 340 млн/штук.
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарт FIPS 140-2, ISO 40001, ISO 40002, ISO 13485

Характеристика та аналіз потенційних клієнтів наведено у таблиці 5.5. Окрім оцінки ринкового середовища та потенційних клієнтів, слід також враховувати фактори загроз (табл. 5.6). При аналізі цих факторів одразу визначають реакцію компанії в потенційно можливій ситуації.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів

Характеристика	Опис
Потреби, що формують ринок	Стабільність та довговічність зберігання даних Збільшення щільності запису інформації
Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Юридичні особи (компанії), які виготовляють жорсткі диски: Western digital technologies inc; Samsung; Hitachi; Toshiba; Silicon Power; Adata; Sony Computer, HP; Transcend; Seagate.
Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Стандарти, технічні характеристики, специфікації, обсяги закупок, умови експлуатації
Вимоги споживачів до товару	Розміри продукту, ємність зберігання даних, вартість, термін експлуатації, ліцензія

Таблиця 5.6 – Фактори можливих загроз проєкту

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільна ситуація на ринку (політичні або економічні кризи)	Зменшення попиту та втрата фінансування	Вдосконалення технології для зменшення собівартості, колаборація з компаніями-партнерами
		Зменшення ресурсів для роботи виробництва	Перехід на альтернативні види енергії

Врахування факторів нових можливостей наведено у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зменшення собівартості товару	Зменшення витратних матеріалів та оптимізація технології виготовлення	Збільшення обсягів виробництва
2	Збільшення щільності запису інформації	Можливість виготовлення приладів нового покоління, збільшення продуктивності вже існуючих моделей	Збільшення обсягів продажу

Комплексний аналіз (SWOT-аналіз) сильних та слабких сторін, можливостей та потенційних загроз проєкту представлено у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – SWOT-аналіз проєкту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - висока щільність запису інформації, - зменшення розміру носіїв для запису інформації, - збільшення терміну зберігання інформації, - збільшення термічної стабільності носія інформації. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проведення додаткових досліджень для створення прототипу, - необхідність корекції технології для різних моделей обладнання.
--	---

<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - співпраця з компаніями, які займаються виготовленням носіїв інформації. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - стартовий капітал для початку виробництва, - складність реалізації технології в промислових масштабах.
--	---

Охоплення цільових груп потенційних клієнтів та їх аналіз показані у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу до сегменту
1	Заводи, великі підприємства	Низька	Вище середнього	Не висока	Складна, ніхто не бажає змінювати готові рішення на неперевірені
Обрано всі можливі зацікавлені цільові групи					

Проаналізувавши потенційні групи споживачів можна визначити стратегію охоплення ринку (табл. 5.10) та базову стратегію конкурентної поведінки (табл. 5.11).

Таблиця 5.10 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентно-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Концентрування на усіх зацікавлених клієнтах	Масовий маркетинг	Збільшення об'єму та покращення зберігаючих властивостей носіїв	Стратегія диференціації

Таблиця 5.11 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія розвитку конкурентної поведінки
1	Ні	Пошук нових і охват вже існуючих	Ні, вона буде їх покращувати	Наслідування лідеру

Формування ринкової позиції на основі попередніх результатів аналізу зображено у таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту
1	Збільшений об'єм переносних носіїв даних та швидкість доступу до інформації	Стратегія диференціації	Більший об'єм носіїв та вища швидкість їх роботи	Більша щільність, швидкий доступ

Підсумовуючи попередні результати можливо сформувати маркетингову концепцію товару, що отримує споживач (таблиця 5.13) а також визначити цінові межі на потенційний товар (таблиця 5.14).

Таблиця 5.13 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед існуючими конкурентами
1	Збереження великої кількості інформації	Більша ємність носіїв	Характеристики вище у декілька разів
2	Швидкий доступ до великого обсягу інформації	Висока швидкість взаємодії	

Таблиця 5.14 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	-	Нижче	Високий	Від прибуткової до мінімально низької без втрат на виробництво

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, що показано у таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Пошук більш сучасних способів збереження та відтворення інформації	Якісно та вчасно поставляти товар	Нижче середньої	Власними силами

Спираючись на попередньо обрану основу для позиціонування та визначену специфіку поведінки клієнтів можна розробити концепцію маркетингових комунікацій (таблиця 5.16).

Таблиця 5.16 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук більш сучасних способів збереження та відтворення інформації	Соціальні мережі, мобільні додатки, пошукові системи	Швидко, якісно	«У нас більше, ніж у конкурентів»	Залучення потенційних клієнтів до більш сучасних технологій

Дослідження плівкових композицій Pt/Au/Fe/Pt/Fe, Pt/Fe/Au/Pt, Pt/Fe/Pt/Au/Fe досі тривають, тому створення маркетингової моделі товару та аналіз ринкової спроможності продукту наведений приблизно, із власних міркувань авторів. Метою науково-дослідної роботи було визначення впливу положення додаткового шару Au на особливості фазових перетворень в тонких плівках.

Сьогодні тонкі плівки на основі FePt з проміжними шарами Au використовуються лише у дослідницьких цілях, але вони є перспективними матеріалами для використання в носіях запису інформації.

5.4 Висновки до розділу 5

1. Проведено технологічний аудит ідеї проєкту, аналіз ринку, потенційних клієнтів та визначено можливості і загрози проєкту.
2. Тонкоплівкові композиції Pt/Au/Fe/Pt/Fe, Pt/Fe/Au/Pt, Pt/Fe/Pt/Au/Fe є перспективними для використання в якості матеріалів для приладів магнітного

запису та матеріалів для приладів із спінтроники. Їх використання обумовлює такі переваги: збільшення терміну експлуатації, стабільність зберігання інформації, збільшення ємності носіїв інформації.

ВИСНОВКИ

1. Нанорозмірні плівкові композиції на основі впорядкованої фази $L1_0$ -FePt викликають постійний науковий інтерес через унікальні магнітні властивості цієї фази – високі коерцетивну силу і енергію магнітно-кристалічної анізотропії, що робить ці матеріали перспективними для використання в якості функціональних елементів наноелектроніки та спінтроніки.

2. Вивчено закономірності впливу положення додаткового шару Au, а також фізико-технологічних параметрів термічної обробки у вакуумі на формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePt. Встановлено, що при відпалі за температури $450\text{ }^\circ\text{C}$ плівкові композиції Pt/Fe з додатковими шарами Au без залежності від положення цих додаткових шарів мають двофазну структуру – спостерігається співіснування фаз $A1$ -FePt та $L1_0$ -FePt, натомість концентраційне співвідношення цих фаз залежить від вихідного положення додаткового шару Au. Повна гомогенізація всіх досліджуваних плівкових композицій відбувається також при обробці за температури $450\text{ }^\circ\text{C}$ за умови збільшення тривалості відпалу до 120 хв.

3. Проведено аналіз потенційних небезпек, які можуть виникнути під час роботи, організацію робочого місця, освітлення, мікроклімату, рівня шуму та вібрацій. Робоча лабораторія вакуумно-термічної обробки відповідає всім необхідним санітарним нормам.

4. Проведено технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринку, потенційних клієнтів та визначено можливості і загрози проекту. Розроблено-стартап проект за темою науково-дослідної роботи. Показано перспективу розвитку стартап-проекту на світовому ринку засобів збереження та запису інформації.

CONCLUSIONS

1. Nanoscale film compositions based on the ordered $L1_0$ -FePt phase are of constant scientific interest due to the unique magnetic properties of this phase – high coercive force and energy of magnetic crystal anisotropy, which makes these materials promising for use as functional elements of nanoelectronics and spintronics.

2. The regularities of the influence of the position of the additional Au layer, as well as the physical and technological parameters of heat treatment in vacuum on the formation of the ordered phase $L1_0$ -FePt are studied. It was found that when annealed at 450 °C, Pt/Fe film compositions with additional Au layers, regardless of the position of these additional layers, have a two-phase structure – coexistence of $A1$ -FePt and $L1_0$ -FePt phases is observed, while the concentration ratio of these phases depends additional layer Au. Complete homogenization of all investigated film compositions also occurs during processing at a temperature of 450 °C, provided that the duration of annealing is increased to 120 minutes

3. An analysis of potential hazards that may occur during work, the organization of the workplace, lighting, microclimate, noise and vibration. The working laboratory of vacuum heat treatment meets all the necessary sanitary norms.

4. A technological audit of the project idea, analysis of the market, potential customers and identified opportunities and threats of the project. Developed a startup project on the topic of research work. The prospects of development of the startup project in the world market of means of storage and record of the information are shown.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Giant magnetostriction in an ordered Fe₃Pt single crystal exhibiting a martensitic transformation / T. Kakeshita, T. Takeuchi, T. Fukuda, M. Tsujiguchi, T. Saburi, R. Osh-ima, and S. Muto // *Appl. Phys. Lett*, 2000. – V. 77. – P. 77.
2. Kisker E. Evidence for the high-spin to low-spin state transition in ordered Fe₃Pt Invar / E. Kisker, E. F. Wassermann, and C. Carbone // *Phys. Rev. Lett*, 1987. – P. 58.
3. Kajiwara S. The reversible martensite transformation in iron-platinum alloys near Fe₃Pt / S. Kajiwara and W. S. Owen // *Metall. Mater. Trans.*, 1974. – A5. – P. 2047–2061.
4. Nahid M. A. Magnetic anisotropy of Fe₃Pt alloy thin films / M. A. Nahid and T. Suzuki // *Appl. Phys. Lett*, 2004. – P. 85.
5. Massalski T. B. Binary Alloy Phase Diagrams / T. B. Massalski // American Society of Metals, Metals Park, 1990. – P. 1752.
6. Hsiao S. N./ Dual phase transformation and resultant magnetic properties in Fe₃Pt thin films / S. N. Hsiao, S. K. Chen, S. H. Liu, H. Y. Lee // *Journal of Applied Physics* 111, 2012. – 07A313.
7. Warren B. E. X-ray Diffraction / B. E. Warren // Dover., 1990, – P. 206–246.
8. Effect of intrinsic tensile stress on (001) orientation in L10 FePt thin films on glass substrates / S. K. Chen, T. S. Chin, Y. W. Hsu, H. W. Huang, F. T. Yuan, H. Y. Lee, W. M. Liao // *Magn. Mater.*, 2009. – P. 2459.
9. Effect of initial stress/strain state on order-disorder transformation of FePt thin films / S. N. Hsiao, F. T. Yuan, H. W. Chang, H. W. Huang, S. K. Chen, H. Y. Lee // *Appl. Phys.*, 2009., *Lett.* 94, – 232505.
10. Influence of intermediate Ag layer on the structure and magnetic properties of Pt/Ag/Fe thin films / I. A. Vladymyrskyi, O. P. Pavlova, T. I. Verbitska, S. I. Sidorenko, G. L. Katona, D. L. Beke, Iu.M. Makogon // *Vacuum*, 2014. – V.101. – P. 33-37.

11. Structural and magnetic properties of annealed FePt/Ag/FePt thin films / O. P. Pavlova, T. I. Verbitska, I. A. Vladymyrskyi, S. I. Sidorenko, G. L. Katona, D. L. Beke, G. Beddies, M. Albrecht, I. M. Makogon // *Appl. Surf. Sci.*, 2013. – V. 266. – P. 100-104.
12. Reduction of ordering temperature of a FePt-ordered alloy by addition of Cu / T. Maeda, T. Kai, A. Kikitsu, T. Nagase, J. Akiyama // *Appl. Phys. Lett.*, 2002, №. 12, – P. 2147-2149.
13. Карпенков С.Х. Технические средства информационных технологий: учебное пособие / С.Х. Карпенков. – 3-е изд., испр. и доп. – М. –Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 376 с.
14. Wang J. Structural and magnetic properties of L10-FePt/Fe exchange coupled nano-composite thin films with high energy product / J. Wang // *Magn. Mater.*, 2013. – V. 345, – P. 165–170.
15. Weller D. Review article: FePt hear assisted magnetic recording media / D. Weller, G. Parker, O. Mosendz et al. // *J. Vac. Sci. Technol.*, 2016. – B 34. – 060801.
16. Hsiao S. N. Influence of pressure on (0 0 1)-preferred orientation and in-plane residual stress in rapidly annealed FePt thin films / S.N.Hsiao, C. L. Choub, S. H. Liub, S. K. Chenb, 2020, . – V. 509, – 145304.
17. Elimination of impurity phase formation in FePt magnetic thin films prepared by pulsed laser deposition / Y. Wang, R. Medwal, N. Sehdev, et al. // *Appl. Surf. Sci.*, 2014. – V. 288. – P. 381 – 391.
18. Promotion of [001]-oriented $L1_0$ -FePt by rapid thermal annealing with light absorption layer / L.W. Wang, W.C. Shih, Y.C. Wu, C.-H. Lai // *Appl. Phys. Lett.*, 2012. – V. 101. – P. 252403.
19. Interplay between structural and magnetic properties of $L1_0$ -FePt(001) thin films directly grown on MgO(001) / B. Laenens, F. M. Almeida, N. Planckaert, et al. // *J. Appl. Phys.*, 2009. – V. 105. – P. 73913 – 73919.
20. Magnetic anisotropy and order structure of $L1_0$ -FePt (001) singlecrystal films grown epitaxially on (001) planes of MgO, SrTiO₃, and MgAl₂O₄ substrates / A. Hotta, T. Ono, M. Hatayama, et al. // *J. Appl. Phys.*, 2014. – V. 115. – P. 712.

21. High coercivity $L1_0$ -FePt films with perpendicular anisotropy deposited on glass substrate at reduced temperature / J.S. Chen, B.C. Lim, J.F. Hu, et al. // *Appl. Phys. Lett.*, 2007. – V. 90. – P. 42508.
22. Granz S.D. Granular $L1_0$ -FePt (001) thin films for heat assisted magnetic recording / S.D. Granz, M.H. Kryder // *J. Magn. Magn. Mater.*, 2012. – V. 324. – P. 287.
23. Quantitative Kinetic Models of the A1 to $L1_0$ Transformation in FePt and Related Ternary Alloy Films / K. Barmak, B. Wang, A. Jesanis, et al. // *IEEE Trans. Magn.*, 2013 – 49, № 7:3284.
24. Wang B. Tuning magnetic anisotropy in (001) oriented $L1_0$ ($Fe_{1-x}Cu_x$) $_{55}Pt_{45}$ films / B. Wang and K. Barmak // *J. Appl. Phys.*, – 109, No. 12: 123916 (2011).
25. Wang B The impact of deposition temperature on $L1_0$ formation in FePt films / B. Wang and K. Barmak // *J. Appl. Phys.* – 111, No. 7: 07b718 (2012).
26. Effect of Pt and FePt Layer Thickness on Microstructure and Magnetic Properties of $L1_0$ FePt Films With Perpendicular Anisotropy / Jee-Hwan Bae, Tae Kyoung Kim, Hyeon Min Kim, et al. // *IEEE Transactions on Magnetics*. – 2019. – №99. – P. 1–6.
27. Magnetic properties and microstructure of FePt/Au multilayers with high perpendicular magnetocrystalline anisotropy / C. Feng, Q. Zhan, B. Li, J. Teng, M. Li, Y. Jiang, and G. Yu, // *Appl. Phys. Lett.*, –2008, 152513.
28. Improvement of magnetic property of $L1_0$ -FePt film by FePt/Au multilayer structure / C. Feng, B.-H. Li, Y. Liu, J. Teng, M.-H. Li, Y. Jiang, and G.-H. Ya, // *J. Appl. Phys.*, –2008.
29. Structure and magnetic properties of magnetron sputtered [(Fe/Pt/Fe)/Au] $_n$ multilayer films / Y. S. Yu, H.-B. Li, W. L. Li, M. Liu, and W. D. Fei, J. // *Magn. Mater.*, 2010. – V. 322, – P. 1770-1774.
30. Enhancement in ordering of $Fe_{50}Pt_{50}$ film caused by Cr and Cu additives / W.Y. Zhang, H. Shima, F. Takano, H. Akinaga, X.Z. Yu, T. Hara, W.Z. Zhang, K. Kimoto, Y. Matsui, and S. Nimori, // *J. Appl. Phys.* 106, 2009. – 033907.

31. L10 ordering and microstructure of FePt thin films with Cu, Ag and Au additive / C. L. Platt, K. W. Wierman, E. B. Svedberg, R. van de Veerdonk, J. K. Howard, A. G. Roy, and D.E. Laughlin, // J. Appl. Phys., 2002, No. 10, – P. 6104–6108 .
32. Ding Y. F. Epitaxial $L1_0$ FePt films on SrTiO₃(100) by sputtering / Y.F. Ding, J.S. Chen, and E. Liu, // J. Cryst. Growth 276, 2005.
33. Rapid thermal annealing of FePt thin films / M. Albrecht and C. Brombacher, // Phys. Status Solidi., 2013. – V. 210. – P. 1272-1281.
34. Dependence of ordering kinetics of FePt thin films on different substrates / C. L. Zha, S. H. He, B. Ma, Z. Z. Zhang, F. X. Gan, and Q. Y. Jin, // IEEE Trans. Magn., 2008. – V. 44. – P. 3539-3542.
35. Evolution of stress with $L1_0$ ordering in FePt and FeCuPt thin films / K. W. Wierman, C. L. Platt, J. K. Howard, and F.E. Spada // J. Appl. Phys., 2003. – 7160.
36. Early-stage ordering in in-situ annealed Fe₅₁Pt₄₉ films / S. N. Hsiao, S. K. Chen, T. S. Chin, Y. W. Hsu, H. W. Huang, F. T. Yuan, H. Y. Lee, and W. M. Liao // J. Magn. Mater., 2009. – V. 321. – P. 2459-2466.
37. Effect of initial stress/strain state on order-disorder transformation of FePt thin films / S. N. Hsiao, F. T. Yuan, H. W. Chang, H. W. Huang, S. K. Chen, and H. Y. Lee // Appl. Phys. Lett. 94, 2009. – 232505.
38. Ordering transformation of FePt thin films by initial stress/strain control / F. T. Yuan, S. H. Liu, W. M. Liao, S. N. Hsiao, S. K. Chen, and H. Y. Lee, // IEEE Trans. Magn., 2012. – V. 48. – P. 1139-1142.
39. Effect of intrinsic tensile stress on (001) orientation in $L1_0$ FePt thin films on glass substrates / S. N. Hsiao, S. H. Liu, S. K. Chen, F. T. Yuan, and H. Y. Lee, // J. Appl. Phys., 2012. – V. 111. – 07A702.
40. Dynamic stress-induced low-temperature ordering of FePt / C. H. Lai, C. H. Yang, C. C. Chiang, T. Balaji, and T. K. Tseng, // Appl. Phys. Lett., 2004. – V. 85. – 4430.

41. Effect of annealing process on residual strain/stress behaviors in FePt thin films / S. N. Hsiao, S. K. Chen, S. H. Liu, C. J. Liao, F. T. Yuan, and H. Y. Lee, // IEEE Trans. Magn., 2011. – V. 47. – P. 3637-3640.

42. Direct evidence for stress-induced (001) anisotropy of rapid-annealed FePt thin films / S. N. Hsiao, S. H. Liu, S. K. Chen, T. S. Chin, and H. Y. Lee, // Appl. Phys. Lett., 2012. – V. 100. – 261909.

43. Formation of Phases in the FePt/Au/FePt Films and their Magnetic Properties. Powder Metallurgy and Metal Ceramics / P. V. Makushko, T. A. Verbytska, M. Y. Shamis, M. N. Burmak, A. P. Berezniak, Y. A. Graivoronska, Yu. A. Makogon, // Applied Nanoscience, 2019. – V. 10. – P. 4809-4816.

44. Kim S. The effect of residual strain on (001) texture evolution in FePt thin films J. // S. Kim, Y.-M. Koo, N. Shin, // J. Appl. Phys., 2006. – V. 100. – 093909.

45. Herbert C.G. Mass spectrometry basics / C.G. Herbert // R.A.W. Johnstone – CRC Press, 2003. – P. 474 p.

46. ДСанПіН 3.3.2.007-98 – Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електроннообчислювальних машин.

47. Левченко О.Г. Охорона праці та цивільний захист [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» / О. Г. Левченко // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 26,1 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с.

48. ДСН 3.3.6.042-99. – Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

49. ДБН В.2.5-28 2006 – Інженерне обладнання будинків і споруд // Природне і штучне освітлення, затверджені наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. – 2006. – Т. 15.

50. Москальова В.М. Охорона праці: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / В.М. Москальова //– Рівне: НУВГП , 2009.

51. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

52. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В. Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 32 с.

53. НРБУ-97 – Норми радіаційної безпеки України. Розробник: Міністерство охорони здоров'я України, Комітет з питань гігієнічного регламентування, Національна комісія з радіаційного захисту населення України. Затверджено: Міністерство охорони здоров'я України, наказ від 14.07.1997 р. № 208. Введені в дію Постановою Головного державного санітарного лікаря України Першого заступника міністра охорони здоров'я України від 01.12.1997 р. № 62 з доповненням: ДГН 6.6.1- 6.5.061-2000 Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000).

54. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України ДСП 6.177-2005-09-02 – [Чинний від 2005-02-02].

55. НПАОП 0.00-1.28-10 – Правила охорони праці під час експлуатації ЕОМ.

56. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06.1999 р.

57. НАПБ Б.03.002-2007 – Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.