

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

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства
та зварювання імені Є.О. Патона**

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2023 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

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

спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Процеси фазоутворення у шаруватих плівках Fe/Ag/Pd та
Pd/Ag/Fe при відпалі у водні»**

Виконав: студент IV курсу, групи ФМ-91

Слесаренко Олександр Юрійович _____

Керівник: к.т.н., ст. викладач Вербицька Тетяна Іванівна _____

Консультант з економічно-організаційної частини: доцент кафедри міжнародної
економіки, к.е.н., ст. викладач Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці: завідувач кафедри ОППЦБ, д.т.н.,
проф. Левченко Олег Григорович _____

Консультант з питань нормоконтролю:
доцент каф. ФМТО Бурмак Андрій Петрович _____

Рецензент: ас. каф. ВТМ та ПМ, к.т.н.
Соловійова Тетяна Олександрівна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства
та зварювання імені Є.О. Патона**

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Слесаренку Олександрю Юрійовичу

1. Тема роботи «Процеси фазоутворення у шаруватих плівках Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe при відпалі у водні», керівник роботи старший викладач Вербицька Тетяна Іванівна, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від 01.06.2023 р. № 2122
2. Термін подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи: нанорозмірні плівки Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe, результати переддипломної практики.
4. Зміст роботи:
 - а) аналіз літературних джерел що стосуються тематики роботи; обґрунтування вибору матеріалів; опис процесу обробки зразків; вибір та опис методів дослідження; опис та аналіз результатів дослідження; висновки за результатами роботи.

б) охорона праці: аналіз шкідливих факторів та розгляд методів їх усунення.

в) організаційно-економічна частина: розрахунок планової кошторисної вартості, оцінка всіх витрат, які виникають під час виконання науково-дослідницької роботи.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 81 сторінки, 41 рисуноків, 5 таблиць, 1 презентація.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Левченко О.Г., професор, д.т.н		
Економічно-організаційний розділ	Нараєвський С. В., доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення та узгодження теми ДР	17.04.2023	
2	Проведення літературного огляду	18.04.2023 – 08.05.2023	
3	Розробка методики експериментів	18.04.2023 – 08.05.2023	
4	Підготовка першого та другого розділів	18.04.2023 – 08.05.2023	
5	Проведення термічної обробки	18.04.2023 – 28.04.2023	
6	Обробка результатів та підготовка третього розділу	11.05.2023 – 19.05.2023	
7	Підготовка четвертого і п'ятого розділів та оформлення ДР	29.05.2023 – 09.06.2023	
8	Попередній захист	14.06.2023	
9	Захист на засіданні ЕК	22.06.2023	

Студент

Олександр СЛЕСАРЕНКО

Керівник

Тетяна ВЕРБИЦЬКА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 81 с., 41 рис., 5 табл., 45 джерел.

ВПОРЯДКОВАНА ФАЗА, ВІДПАЛ; КОЕРЦИТИВНА СИЛА, ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, АТМОСФЕРА ВОДНЮ

Об'єкт дослідження – структурні і фазові перетворення, процес впорядкування плівок Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe при термічній обробці у водні.

Мета роботи – дослідження процесів формування фазового складу та структури у шаруватих плівках Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe на підкладках SiO₂(100 нм)/Si(001) при відпалі у водні.

Методи дослідження – рентгеноструктурний фазовий аналіз, SQUID – магнітометрія, атомно силова мікроскопія.

Отримані нові знання про процеси формування фазового складу у шаруватих плівках Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe при відпалі у середовищі водню.

В результаті досліджень зроблені наступні висновки:

- 1 Літературний огляд показав перспективність застосування плівок на основі FePd для створення носіїв інформації з надвисокою щільністю магнітного запису.
- 2 Показано, що у шаруватих плівкових композиціях Pd/Ag/Fe незалежно від товщини прошарка Ag(0,2; 0,4 нм) під час термічної обробки в атмосфері водню формується неупорядкована фаза A1 FePd з ГЦК структурою.
- 3 Встановлено, що у плівці Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) з верхнім шаром Pd після відпалу у водні за температури 600 °C починає формуватися магнітно- тверда фаза L1₀ з коерцитивною силою 137 Е. Підвищення температури відпалу до 650 °C призводить до втрати магнітно-твердих властивостей.

ABSTRACT

Diploma work: 81 pages, 41 figures, 5 tables, 45 sources.

ORDERED PHASE, ANNEALING, COERCIVITY, PHASE TRANSFORMATIONS, HYDROGEN ATMOSPHERE.

The object of research is structural and phase transformations, the process of ordering Fe/Ag/Pd and Pd/Ag/Fe films during heat treatment in hydrogen.

The purpose of the work is to study the processes of phase composition and structure formation in Fe/Ag/Pd and Pd/Ag/Fe layered films on SiO₂(100 nm)/Si(001) substrates during annealing in hydrogen.

Methods of research – X-ray structural phase analysis, SQUID – magnetometry and Atomic Force Microscopy.

New knowledge was obtained about the processes of phase composition formation in layered Fe/Ag/Pd and Pd/Ag/Fe films during annealing in a hydrogen environment.

As a result of the research, the following conclusions were made:

1. The literature review showed the promising application of films based on FePd for the creation of information carriers with ultra-high density magnetic recording.

2. It is shown that in layered Pd/Ag/Fe film compositions, regardless of the thickness of the Ag interlayer (0.2; 0.4 nm), during heat treatment in a hydrogen atmosphere, a disordered A1 FePd phase with an fcc structure is formed.

3. It was established that in a Pd(15 nm)/Ag(10 nm)/Fe(15 nm) film with a top Pd layer, after annealing in hydrogen at a temperature of 600 °C, a hard magnetic $L1_0$ phase with a coercivity of 137 E begins to form. Annealing temperature rise up to 650 °C leads to loss of the hard magnetic properties.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1 Принципи запису і зчитування інформації на магнітних носіях.....	12
1.2 Розвиток технологій магнітного запису.....	12
1.2.1 Повздожній магнітний запис.....	14
1.2.2 Перпендикулярний магнітний запис.....	15
1.2.3 Технологія термічно активованого магнітного запису.....	17
1.3 Вплив зміни товщини плівок на властивості магнітних матеріалів.....	18
1.4 Магнітно-тверді наноматеріали	22
1.5 Діаграми фазової рівноваги Fe-Pd, Fe-Ag та Pd-Ag.....	25
1.6 Використання плівок на основі FePd в якості середовища магнітного запису.....	28
1.7 Висновки до розділу 1.....	31
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	32
2.1 Об'єкти дослідження.....	32
2.2 Метод магнетронного осадження.....	32
2.3 Фізико-технологічні параметри термічної обробки зразків.....	34
2.4 Рентгеноструктурний фазовий аналіз.....	34
2.5 SQUID-магнітометрія.....	37
2.6 Атомно-силова мікроскопія.....	39
2.7 Висновки до розділу 2.....	41
3 ЗМІНА СТРУКТУРИ ТА МАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАРУВАТИХ НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВОК Pd/Ag/Fe та Fe/Ag/Pd.....	42
3.1 Фазові перетворення та магнітні властивості плівкових композицій Pd(6 нм)/Ag(0,2; 0,4 нм)/Fe(4,6 нм).....	42
3.2 Фазові перетворення та магнітні властивості плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм).....	46

3.2.1 Зміна морфології поверхні плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм)	50
3.3 Висновки до розділу 3.....	53
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	54
4.1 Науково-технічна актуальність.....	54
4.2 Розрахунок собівартості роботи	54
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	54
4.2.2 Відрахування до єдиного соціального внеску.....	56
4.2.3 Витрати на матеріали для досліджень	57
4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання та приладдя.....	57
4.2.5 Витрати на послуги сторонніх організацій.....	57
4.2.6 Витрати на службові відрядження.....	57
4.2.7 Енергоносії для проведення досліджень.....	57
4.2.8 Інші прямі невраховані витрати.....	58
4.2.9 Накладні витрати.....	58
4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми.....	58
4.3 Науково-технічна ефективність НДР	60
4.4 Висновки до розділу 4	63
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	64
5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виконанні ДР	64
5.1.1 Дослідження мікроклімату в робочій зоні приміщення.....	65
5.1.2 Небезпечні чинники при роботі з установкою ВУП-5М.....	69
5.1.3 Виявлення і аналіз наявності шуму та вібрації	70
5.1.4 Аналіз освітленості приміщення	70
5.1.5 Електробезпека	71
5.1.6 Пожежна безпека.....	72
5.1.7 Алгоритм дії у випадку повітряної тривоги.....	73
5.2 Висновки до розділу 5	74
ВИСНОВКИ.....	76
CONCLUSIONS.....	77

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
---------------------------------	----

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТАМЗ – термічно активований магнітний запис;

ГЦК – гранецентрована кубічна гратка;

ГЦТ, $L1_0$ – гранецентрована тетрагональна гратка;

a, c – параметри кристалічної гратки;

hkl – індекси Міллера;

d_{hkl} – міжплощинні відстані;

L – середній розмір кристалітів;

ОКР- області когерентного розсіювання

d – товщина окремого шару;

МО – магнітоопір;

АСМ – атомно-силова мікроскопія;

ПМА – перпендикулярна магнітна анізотропія;

H_C – коерцитивна сила;

K_u – магнітокристалічна анізотропія;

M_s – намагніченість насичення.

ВСТУП

На сьогоднішній день велика кількість експериментальних і теоретичних робіт була присвячена вивченню магнітної анізотропії, процесів перемагнічування, кінетичних і магнітооптичних властивостей нанорозмірних плівок. Це обумовлено тим, що в цих зразках було виявлено ряд нових явищ (величезний електроопір, осцилююча магнітна взаємодія між феромагнітними шарами через немагнітний шар, квантові розмірні ефекти) результати дослідження яких виявились надзвичайно корисними для рішення ряду проблем фізики магнітних явищ. Так, наприклад, суттєво розширились уявлення про вплив насамперед підкладки зразка на магнітні властивості плівок, а також вплив границі розділу між магнітною плівкою та підкладкою (а також між магнітними та немагнітними шарами) на формування кінетичних, магнітних та магнітооптичних властивостей плівок. Разом з тим заслуговує уваги проблема вивчення впливу товщини та складу магнітних та немагнітних шарів на вказані властивості нанорозмірних плівок. Необхідно зауважити, що результати цих досліджень мають ще й прикладне значення, так як вони можуть використовуватись при розробці нових тонкоплівкових систем для сучасної спінової мікроелектроніки. Перший крок для коректного рішення цієї проблеми має бути присвячений вивченню дво- та тришарових зразків, які представляють собою по чергове розташування магнітних і немагнітних шарів.

На жаль, розпилені частинки FePd мають неупорядковану ГЦК структуру (фаза $A1$), яка має надзвичайно малу магнітно-кристалічну анізотропію, магнітно-м'які властивості. Тому для одержання магнітно-твердих плівок з ГЦТ структурою (фаза $L1_0$) плівки FePd необхідно піддавати термічній обробці.

Внаслідок вище зазначеного, тема роботи є актуальною і потребує подальшого дослідження. У зв'язку з цим **метою роботи** є дослідження

процесів формування фазового складу та структури у шаруватих плівках Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe на підкладках SiO₂(100 нм)/Si(001) при відпалі у водні.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлено наступні задачі:

- виконати аналітичне дослідження стану питання в галузі одержання та застосування тонких магнітних плівок на монокристалічному кремнії;
- визначити методику одержання тонких плівок;
- визначити комплекс методів дослідження властивостей матеріалів;
- дослідити зміну фазового складу, структури, магнітні властивості, та морфології поверхні шаруватих плівок Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe;
- виконати експериментальні дослідження;
- проаналізувати результати та виявити закономірності фазового складу, структури та зміни магнітних властивостей;
- зробити висновки та рекомендації по роботі.

Об'єкт дослідження – структурні і фазові перетворення, процес впорядкування плівок Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe при термічній обробці у водні.

Предмет дослідження – нанорозмірні шаруваті плівки Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe на підкладках SiO₂(100 нм)/Si(001), отримані магнетронним напиленням.

Методи дослідження - рентгеноструктурний фазовий аналіз, SQUID-магнітометрія, атомно-силова мікроскопія

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Принципи запису і зчитування інформації на магнітних носіях

У процесі запису інформації на жорсткі магнітні диски голівка дисководу з осердям з магнітно-м'якого матеріалу (матеріалу з малою коерцитивною силою) переміщується уздовж магнітного шару магнітно-твердого носія (матеріалу з великою коерцитивною силою). На магнітну голівку надходять послідовності електричних імпульсів (послідовності логічних одиниць і нулів), які створюють в голівці магнітне поле. У результаті послідовно намагнічуються (логічна одиниця) або розмагнічуються (логічний нуль) елементи поверхні носія. При зчитуванні інформації під час руху магнітної голівки над поверхнею носія його намагнічені ділянки викликають виникнення в ній імпульсів струму (явище електромагнітної індукції). Послідовності таких імпульсів передаються по магістралі в оперативну пам'ять комп'ютера [1,2].

1.2 Розвиток технологій магнітного запису

Технологія запису інформації на магнітні носії з'явилася порівняно недавно - приблизно в середині 20-го століття (40-ті - 50-і роки). Але вже кілька десятиліть потому - 60-ті - 70-ті роки - це технологія стала дуже поширеною в усьому світі. Сьогодення вимагає створення носіїв запису інформації з високою щільністю магнітного запису. Для створення таких носіїв інформації необхідні матеріали з мінімальними розмірами магнітних гранул. Але при зменшенні розмірів гранул знижується бар'єр переходу частинок в суперпарамагнітний стан, який являється дестабілізуючим фактором в носіях магнітного запису з високою щільністю. Проти таких явищ мають стійкість магнетики з великою енергією магнітокристалічної анізотропії (K_u) і слабкою взаємодією між магнітними частинками. Велику

зацікавленість викликають однодомні наночастинки FePt гранецентрованої тетрагональної (ГЦТ) структури фази $L1_0$, яка має велике значення $K_u \approx 7 \cdot 10^7 \text{ ерг/см}^3$ (що більш ніж на два порядки вище, ніж у носіях магнітного запису, які використовуються), коерцитивною силою і намагніченістю насичення, високою хімічною і антикорозійною стійкістю. Розміри гранул FePt фази $L1_0$ можуть досягати $\approx 3,5 \text{ нм}$ [3].

Технологія магнітного запису на жорсткі носії відіграє важливу роль в сучасній техніці. Ємність, продуктивність, розмір і доступність жорстких накопичувачів зазнали істотного прогресу з моменту створення компанією ІВМ першого комерційного накопичувача RAMAC у 1956 році, який мав щільність запису 2 Кбіт/дюйм^2 . Суттєвого прогресу в технології жорстких дисків досягнуто завдяки постійному збільшенню щільності магнітного запису, яка згідно закону Мура подвоюється кожні півтора роки (рис. 1.1). Цей емпіричний закон виконується впродовж десятиріч, але для його підтримання необхідна розробка новітніх технологій і матеріалів [3].

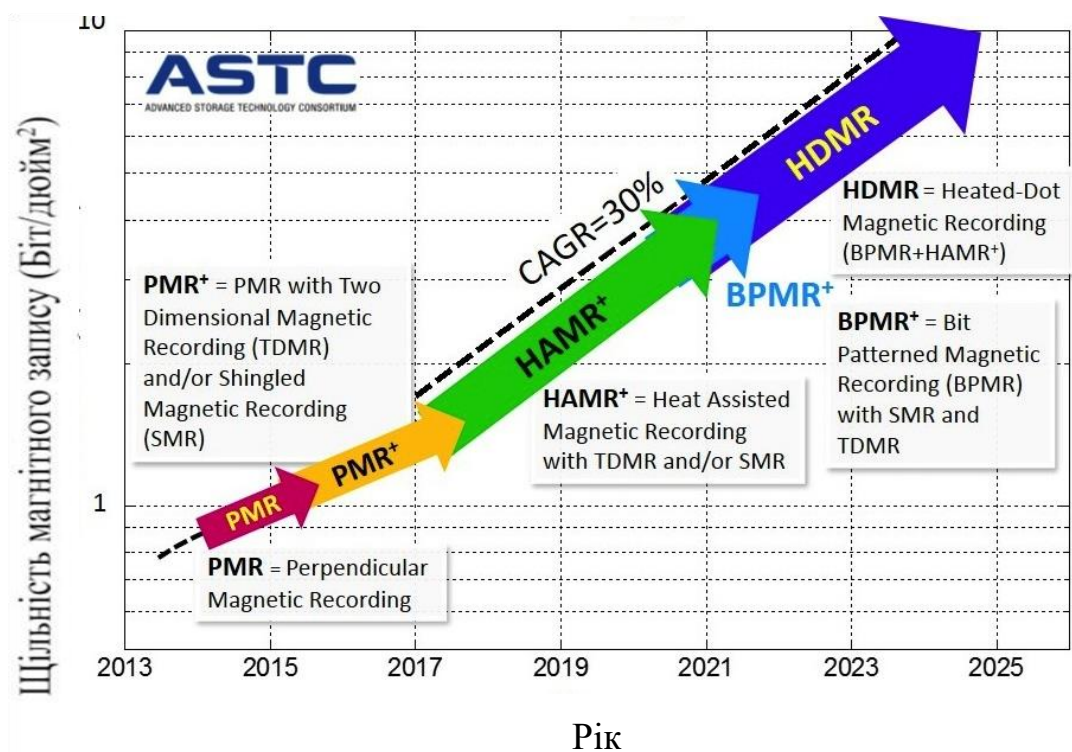


Рисунок 1.1 - Закон Мура, застосований до магнітних накопичувачів [4]

Магнітний запис базується на феромагнітних властивостях речовин, що

здатні зберігати намагнічений стан за відсутності зовнішнього магнітного поля. Для запобігання самовільного розмагнічування матеріали повинні мати достатньо високу енергію кристалічної магнітної анізотропії порівняно з енергією термічних флуктуацій:

$$E = K_u V \gg K_B T, \quad (1.1)$$

де K_u – енергія одновісної кристалічної магнітної анізотропії;

V – об'єм магнітного зерна;

K_B – стала Больцмана;

T – абсолютна температура.

Для збільшення щільності магнітного запису необхідне зменшення середнього розміру зерен матеріалу. Однак це призводить до зменшення об'єму зерна і, як наслідок, до зменшення добутку $K_u V$ при сталій енергії анізотропії. При малих значеннях енергетичного бар'єру носій може зазнавати термічної нестабільності через теплову енергію коливання атомів ($K_B T$). Явище самовільної зміни намагніченості носія без прикладення зовнішнього магнітного поля називається суперпарамагнітним ефектом. Суперпарамагнітний ефект став серйозною перешкодою для підтримання тенденції збільшення щільності магнітного запису інформації.

Тому подальшим кроком у вирішенні проблеми збільшення щільності запису стало створення та використання нових технологій магнітного запису. До 2005 року найбільш розповсюдженою була технологія повздовжнього магнітного запису, в даний час домінуючою є технологія перпендикулярного запису, а майбутній розвиток даної галузі вчені пов'язують з технологією термічно активованого запису.

1.2.1 Повздовжній магнітний запис

Дані записуються на диск, покритий магнітним шаром, що має доменну структуру. Принцип запису інформації на жорсткі диски полягає в подачі змінного електричного струму на котушку голівки, відносно якої рухається

робоча поверхня диску. В результаті виникає змінне магнітне поле, що діє на ферромагнетик і в залежності від сигналу задає напрям вектора намагніченості доменів. При зчитуванні переміщення доменів біля зазору голівки призводить до зміни магнітного потоку в магнітопроводі голівки, що в свою чергу призводить до виникнення змінного електричного сигналу в котушці за рахунок електромагнітної індукції.

Впродовж майже 50 років промисловість дискових накопичувачів була зосереджена на методі повздовжнього магнітного запису. Дана технологія полягає в орієнтації магнітних доменів в тонкоплівковому шарі паралельно до площини носія (рис. 1.2). Для покращення орієнтації осей легкого намагнічування можуть використовуватися додаткові нижні або проміжні шари. Зерна, орієнтовані в напрямку (110) будуть мати осі легкого намагнічування паралельні до поверхні магнітного шару (наприклад, осадження магнітного шару Co на шар Cr з орієнтацією (200) створює необхідну текстуру). Бажану орієнтацію отримують також використовуючи проміжні шари з близькими до магнітного матеріалу значеннями параметрів кристалічної ґратки. Орієнтація осі легкого намагнічування буде тим кращою, чим меншою буде різниця в періодах.

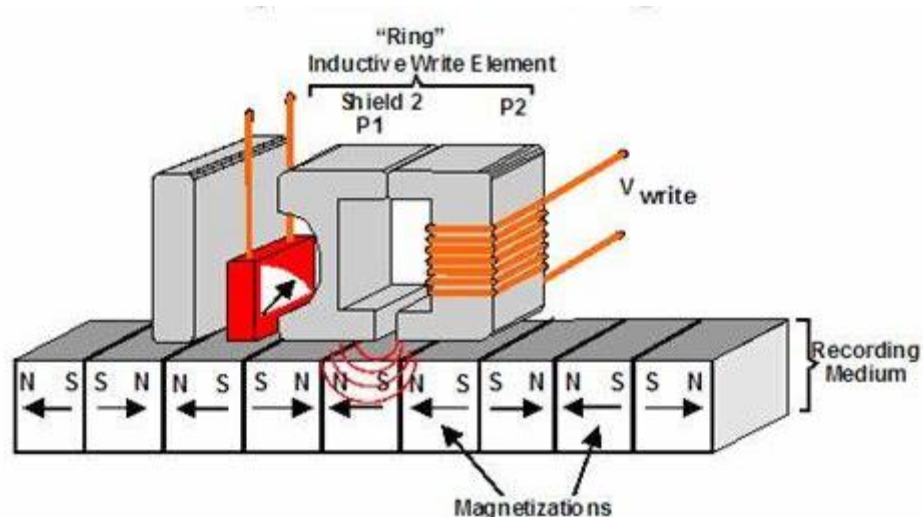


Рисунок 1.2 – Схема повздовжнього магнітного запису інформації на магнітні накопичувачі [5]

Один біт інформації записується на окрему область (комірку), яка

включає десятки доменів (70-100). Якщо напрямок сумарного магнітного моменту такої області співпадає з напрямком руху магнітної голівки – такий стан відповідає логічному «0», а протилежний напрямок – логічній «1».

Однак якщо сусідні області мають протилежний напрямок магнітних моментів, то домени, розташовані між ними і дотичні однойменними полюсами, відштовхуватимуться один від одного і, прагнучи досягти енергетично стійкого положення, змінять напрямок магнітних моментів непередбачуваним чином. В результаті утвориться зона невизначеності, що зменшує рівень корисного сигналу при зчитуванні. Рівень шумів при цьому збільшується.

Щільність запису за допомогою поздовжнього методу має межу 40 Гбіт/см² [6-9].

1.2.2 Перпендикулярний магнітний запис

При технології перпендикулярного магнітного запису в магнітному шарі домени орієнтуються перпендикулярно до площини плівкового матеріалу, що дозволяє отримати більші значення щільності магнітного запису в порівнянні з повздовжньою технологією (рис. 1.3). Причина вищої щільності перпендикулярного запису пояснюється не внутрішніми характеристиками окремого домену, а силами взаємодії між сусідніми.



Рисунок 1.3 – Схема перпендикулярного запису інформації на магнітні накопичувачі [10]

При використанні технології повздовжнього запису виникають сили магнітної взаємодії між сусідніми доменами, що впливають на магнітні поля

кожної з цих часток. Перпендикулярне розташування доменів істотно зменшує їх взаємний вплив.

Технічна реалізація технології перпендикулярного запису була пов'язана з рядом складнощів, обумовлених принципово іншим способом розташування магнітних доменів. Перпендикулярний запис вимагає наявності спеціальної додаткової підкладки (магнітно-м'якого шару) під шаром матеріалу запису, а також принципово інших, «двосторонніх», голівок, здатних генерувати сильніше магнітне поле. Щоб забезпечити достатній рівень сигналу, силові лінії магнітного поля повинні, проходячи через реєструючий шар, замикатись на осерді голівки. Для цього слугує магнітно-м'який шар.

За оцінками експертів сучасна технологія перпендикулярного запису має фізичну межу щільності в 60 Гбіт/см². Таким чином, використання даного типу запису дозволить довести ємність 3,5-дюймових вінчестерів до декількох терабайт [10, 11].

1.2.3 Технологія термічно активованого магнітного запису

Як одна з ключових технологій «після» перпендикулярного запису розглядається так званий термічно активований магнітний запис (ТАМЗ) (рис. 1.4).

В основу даного методу покладена залежність магнітних властивостей робочого шару від температури. Запис інформації здійснюється шляхом прогріву локальної області робочої поверхні, що знаходиться в магнітному полі голівки запису. Для нагріву використовують лазерний промінь. Магнітне поле підбирають таким чином, щоб за відсутності нагріву його напруженість була недостатньою для перемагнічування. При підвищенні температури зони робочого шару спостерігається істотна зміна його магнітних властивостей – коерцитивна сила при нагріві до температури Кюрі падає до нуля, після чого ділянка охолоджується. Перемагнічування проводять доки коерцитивна сила не досягла початкового значення.

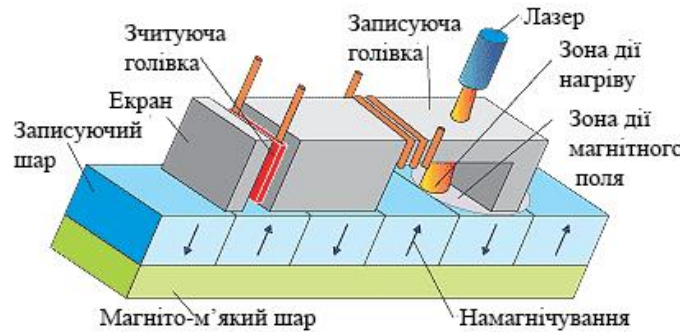


Рисунок 1.4 – Схема термічно активованого магнітного запису [12]

Для термічно активованого магнітного запису використовують матеріали з високою коерцитивною силою, яка забезпечує стабільність записаних ділянок. Мінімальні розміри області, що відповідає одному біту інформації визначаються діаметром сфокусованого лазерного променя.

За оцінками експертів, дана технологія дозволяє збільшити щільність запису в порівнянні з перпендикулярною технологією приблизно вдесятеро, тобто її перспективи оцінюються в десять терабіт на квадратний дюйм це в десятки разів вище, ніж у існуючих аналогів. Прогнозується, що ТАМЗ дозволить забезпечити стрімке зростання щільності магнітного запису до 2020 року [12].

1.3 Вплив зміни товщини плівок на властивості магнітних матеріалів

Розмір і форма кристалітів, які формують магнітний матеріал може суттєво змінювати магнітні властивості матеріалів.

Магнітна анізотропія - це явище переважної орієнтації спонтанної намагніченості феромагнетика вздовж особливих, характерних для даного магнетика кристалічних осей. Іншими словами, це явище зміни внутрішньої енергії феромагнетика в залежності від орієнтації спонтанної намагніченості в кристалі. Існує ряд причин, що викликають магнітну анізотропію. Це може бути, наприклад, термообробка або деформація. Коли цих факторів немає,

внутрішня енергія магнетика відображає симетрію кристала. Таку магнітну анізотропію називають магнітокристалічною.

У простому випадку магнітокристалічна анізотропія є одноосною. Як приклад можна взяти кобальт. У цих матеріалах при кімнатній температурі орієнтація намагніченості по осі c (вісь симетрії третього порядку) стійка, а відповідний цієї орієнтації стан характеризується мінімумом внутрішньої енергії. Напрями стійкої спонтанної намагніченості називаються осями легкого намагнічування або ж просто легкими осями. Нестійкі напрямки намагніченості називаються осями важкого намагнічування або ж просто важкими осями.

Крім магнітокристалічної анізотропії існує анізотропія, обумовлена формою частинок матеріалу, що виникає за рахунок того, що елементарні магнітні моменти мають тенденцію до вибудовування в напрямку меншого розмагнічуючого фактора. Даний вид анізотропії характерний для однодоменних частинок [13].

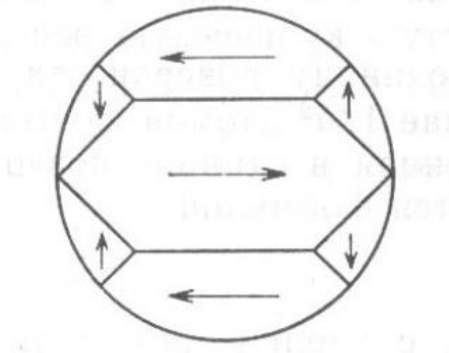


Рисунок 1.5 – Розбиття магнетика на домени [13]

Як відомо, феромагнетик розбитий на безліч магнітних доменів (рис. 1.5), напрям спонтанної намагніченості в яких змінюється від домену до домену. Рушійною силою розбиття магнітного матеріалу на домени є мінімізація магнітостатистичної енергії - енергії обумовленої магнітним диполь-дипольною взаємодією полюсів, що виникають на поверхні зразка.

На межі двох доменів спини поступово змінюють свою орієнтацію від напрямку, паралельного вектору намагніченості першого домену, до напрямку паралельного вектору намагніченості другого. Такий перехідний шар, де змінюється напрям спінів, називається доменної стінкою (рис. 1.6).

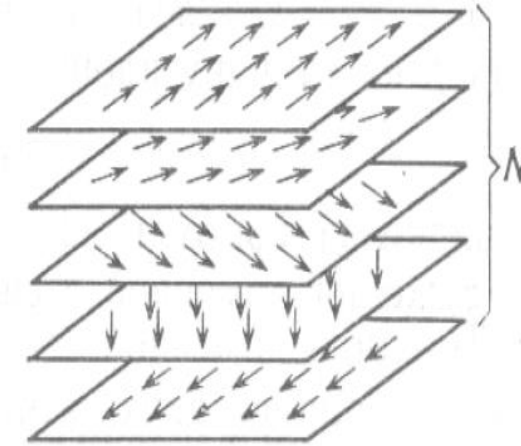


Рисунок 1.6 – Поворот спінів в доменній стінці [13]

Для доменів магнітостатична енергія поверхневих полюсів пропорційна розміру доменів, тому, чим менше цей розмір, тим нижче магнітостатична енергія. Разом з тим при дробленні доменів зростає загальна площа доменних стінок, що приводить до збільшення їх повної енергії. Тому реальний розмір доменів визначається умовою мінімуму суми цих двох енергій. Критичний діаметр однодоменної сферичної частинки для кобальту - (70) нм, нікелю - (30-50) нм, заліза - (15-30) нм.

При зменшенні розмірів однодоменних частинок починає зростати вірогідність теплових флуктуацій в напрямках магнітного моменту частинок, і вони переходять у так званий **суперпарамагнітний стан**, при цьому намагніченість перестає бути пов'язаною з певним кристалографічним напрямком. Магнітні моменти частинок ведуть себе по відношенню до зовнішнього магнітного поля подібно парамагнітному газу атомів або молекул з тією лише різницею, що в газі змінюють положення і просторову орієнтацію самі магнітно-активні атоми, тоді як суперпарамагнітні частинки залишаються нерухомими. Для суперпарамагнітного матеріалу характерне

явище насичення кривої намагніченості у відносно невеликих полях - близько 1 кЕ. У парамагнетиків величина поля насичення вище в тисячі разів.

Перехід феромагнетика в суперпарамагнітний стан відбувається якщо теплова енергія стає порівняно або більшою енергії анізотропії $K_{\text{eff}}V$ (де K_{eff} відображає всі можливі вклади в анізотропію). Розрахунки показують, що для спонтанного перемагнічування величина $K_{\text{eff}}V$ повинна складати близько $25kT$, де k -постійна Больцмана, а T - температура.

Коли вклад в енергію анізотропії буде вносити тільки магнітокристалічна анізотропія, тоді для спонтанного перемагнічування частинок потрібне виконання умови $25k_a \times T = K_{1a} \times V$, де K_1 - константа одноосної магнітно-кристалічної анізотропії. Підставляючи $T = 293$ К та $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж/К, отримуємо $V = 3.06 \times 10^{-25}$ м³. Обсяг дорівнює $4/3\pi R^3$, де R - радіус частинки.

Найважливішою характеристикою матеріалів є **коерцитивна сила** - розмагнічуюче магнітне поле, яке необхідно докласти до матеріалу, попередньо намагніченого до насичення, щоб довести до нуля його намагніченість (рис. 1.7). Коерцитивна сила матеріалу залежить від розмірів створюючих його частинок [14].

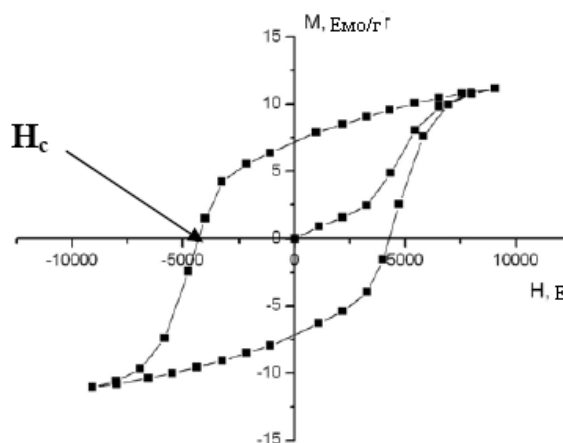


Рисунок 1.7 – Крива магнітного гістерезису феромагнетика. Значення коерцитивної сили вказано стрілкою [14]

На рис.1.7 зображена принципова залежність коерцитивної сили від розміру частинки. При зменшенні розмірів частинки роль міждоменних границь в процесах перемагнічування становиться менш помітною, тому коерцитивна сила росте та проходить через максимум при досягненні однодоменних розмірів. При послідовному зменшенні розмірів збільшується роль теплових флуктуацій, і коерцитивна сила падає. Починаючи з певного розміру, коли частинка переходить в суперпарамагнітний стан, коерцитивна сила дорівнює нулю. Для часток, розмір яких лежить в інтервалі від критичного значення одного домену до розміру, при якому вони переходять в суперпарамагнітний стан, вводиться характеристична величина, відсутня у масивного матеріалу – температура блокування. Нижче температури блокування магнітний момент частинки зберігає свою орієнтацію в просторі, а ансамбль часток демонструє магнітний гістерезис. При перевищенні температури блокування частинка переходить в суперпарамагнітний стан [14].

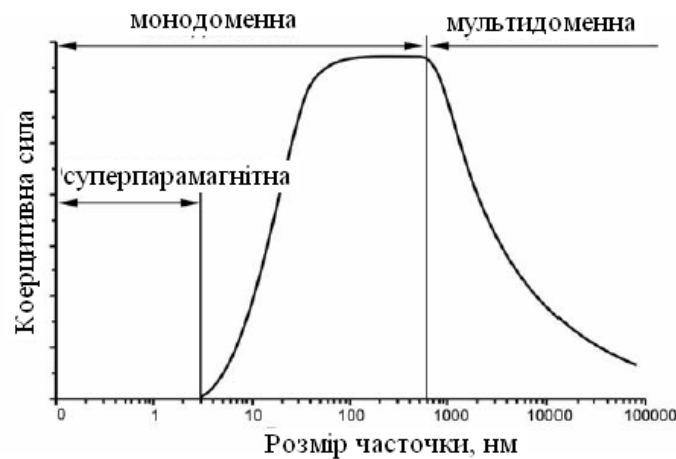


Рисунок 1.8 – Принципова залежність коерцитивної сили від розміру часточки [14]

1.4 Магнітно-тверді наноматеріали

Феромагнетики, що характеризуються коерцитивною силою більше 126 Е, відносяться до магнітотвердих матеріалів. Магнітотверді матеріали

звичайно використовуються для виробництва постійних магнітів. Важливою характеристикою останніх є максимальна магнітна енергія, що характеризує потужність магніту – доданок $(B \cdot H)_{\max}$, де B – індукція магнітного поля в магніті, а H – напруженість магнітного поля.

Для створення сучасних пристроїв з надвисокою щільністю запису інформації вимагається використання магнітних наноматеріалів. З моменту появи перших накопичувачів на жорстких магнітних дисках в 1956 році щільність інформації в них виросла з 2 кбіт/дюйм² до 100 Гбіт/дюйм². Іншими словами, щільність запису збільшилась в 50 мільйонів раз (рис. 1.9). Без неперервного збільшення щільності інформації на жорстких дисках світ інформаційної техніки, яким ми знаємо його сьогодні, завтра опиниться в глухому куті. Все більш мініатюрні та місткі носії знаходять все нові й нові сфери застосування та сприяють розвитку абсолютно нових галузей виробництва. Для багатьох сучасних додатків навіть потужні процесори не настільки важливі, як жорсткі диски великої ємності. В найближчий час жорсткими дисками будуть оснащені телефони, відеокамери та інші. Такий прогрес вимагає виробників бути більш спритними, бо створення жорстких дисків для бортових автомобільних комп'ютерів, мобільних телефонів та промислових станцій потребує різних підходів .

По першому методу вчені знайшли спосіб нанесення магнітної маски на поверхню диска. Для цього під дуже великим тиском полімер припечатується на основу з оксиду кремнію і далі складним чином обробляється. У останньому випадку ідея полягає в створенні носія, чия структура задавалася б властивостями самоорганізації матеріалу. В основному працюють із сплавом FePt, що дозволяє отримувати ідеально рівну комірчасту структуру з розміром вічка в декілька нанометрів [15].

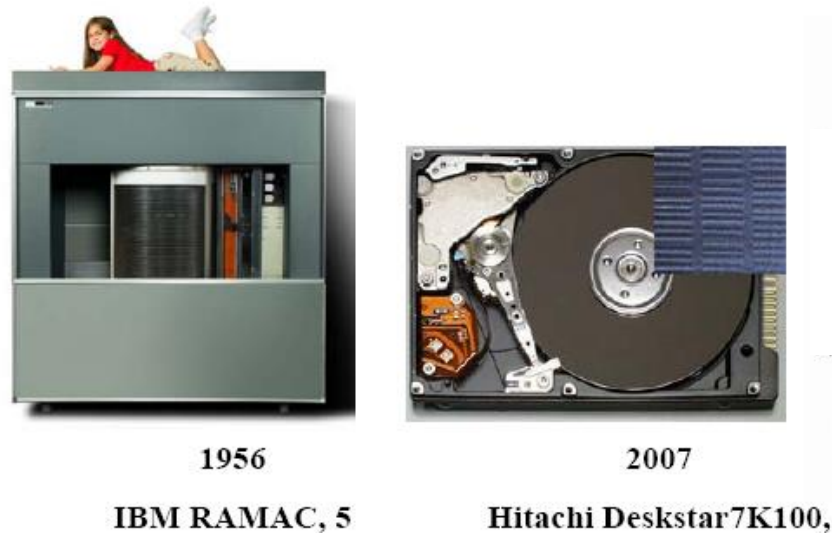


Рисунок 1.9 – Прогрес у створенні накопичувачів на жорстких магнітних дисках та збільшення щільності запису інформації [16]

1.5 Діаграми фазової рівноваги Fe-Pd, Fe-Ag та Pd-Ag

При дослідженні фазових перетворень у двокомпонентній плівковій системі Fe/Pd, що являє собою багатошарові композиції з чергуванням шарів Fe та Pd, або тонкоплівкові сплави, було виявлено, що в ній присутня упорядкована структура з фазою $L1_0$ (з чергуванням шарів феромагнітного і парамагнітного матеріалів уздовж напрямку (001)). Аналогічні результати спостерігаються в магнітнупорядкованих системах Fe/Pt, Co/Pt. Таким системам характерні високі значення магнітокристалічної анізотропії ($K_u = 1,8\text{--}6,6 \text{ МДж/м}^3$) та стійкість до окиснення і, завдяки перпендикулярній магнітній анізотропії (ПМА), є перспективними для формування носіїв надщільного магнітного запису інформації.

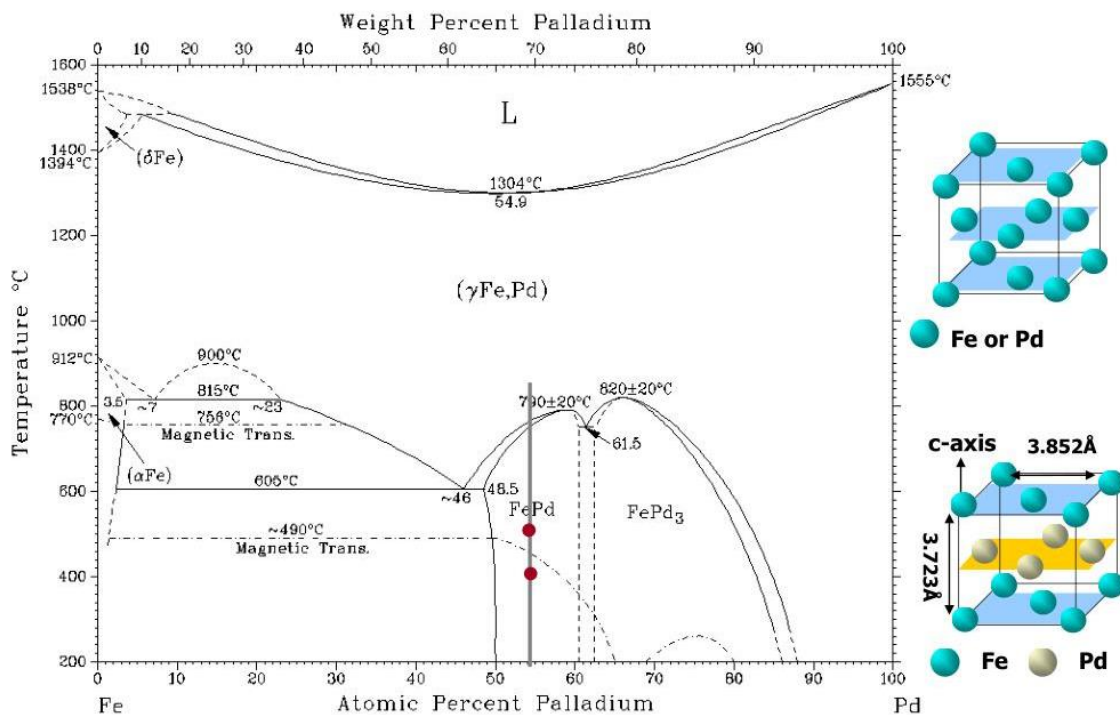


Рисунок 1.10 – Діаграма стану Fe-Pd [17]

У самому загальному вигляді, кристалічна структура двокомпонентної системи на основі Fe і Pd представляє собою ряд твердих розчинів з двома впорядкованими фазами – $L1_0$ і $L1_2$. Pd і Fe мають необмежену розчинність у рідкому стані, а при охолодженні кристалізуються з утворенням ГЦК т.р. (γ -Fe, Pd). У твердому стані в т.р. відбувається фазовий перехід, пов'язаний із поліморфними переходами β -Fe \rightarrow γ -Fe із утворенням інтерметалідів FePd типу AuCu ($L1_0$) з параметрами ґратки $a = (0,3860 - 0,3855)$ нм і $c = (0,3730 - 0,3720)$ нм та FePd₃ з ГЦК ґраткою типу AuCu₃ ($L1_2$) $a = (0,3853 - 0,3848)$ нм.

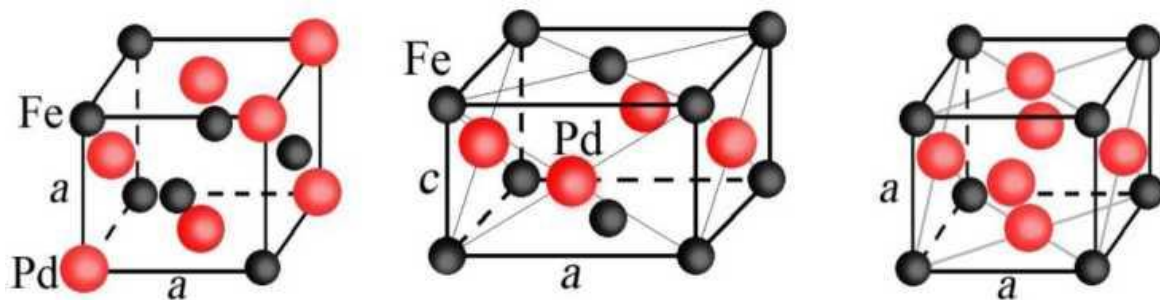


Рисунок 1.11 – Кристалічні ґратки неупорядкованої ГЦК (а) впорядкованих ГЦТ ($L1_0$) (б) і ГЦК ($L1_2$) (в) фаз сплаву FePd [19]

Формування фаз відбувається при певній концентрації окремих компонент системи: фаза $L1_0$ – при концентрації паладію $c_{Pd} = (48-60)$ ат. %; фаза $L1_2$ – при $c_{Pd} = (67 - 86)$ ат. %; у вузькому діапазоні концентрацій від (60 до 62) ат. % одночасно співіснують обидві фази $L1_0$ і $L1_2$. В роботі [12], відмічається, що із збільшенням вмісту Pd на 10 ат. % в порівнянні із $Fe_{50}Pd_{50}$, для повного переходу системи із ГЦК–FePd у $L1_0$ фазу потрібно прикласти вищі температури, подібні результати відмічаються і для систем FePt, CoPt. Окрім структурно-фазового складу, співвідношення концентрацій Fe і Pd впливає на величину параметра кристалічної ґратки. Згідно з [12], від концентрації Pd в системі залежить об'єм комірки фази $L1_0$, який для плівкових систем $Fe_{50}Pd_{50}$, $Fe_{47}Pd_{53}$ і $Fe_{40}Pd_{60}$ має величину 5,57; 5,58 і 5,68 нм, відповідно. Не дивлячись на незначну відміну між параметрами a і c відношення $c/a \cong 1,0$, фази $L1_0$ і $L1_2$ мають відмінні магнітні характеристики і, зокрема, температуру Кюрі (T_C). Встановлено, що для фази $L1_2$: $T_C = 484$ °C і 350 °C (при $c_{Fe} = 40$ ат.%); для фази $L1_0$: $T_C = 450$ °C (при $c_{Fe} = 50$ ат.%) і 320 °C (при $c_{Fe} = 40$ ат.%).

Відмітимо, що у загальному вигляді фаза $L1_0$ – це надґратка, в якій пошарово чергуються феромагнітні перехідні $3d$ (Fe, Co, Ni) і немагнітні $4d/5d$ (Pd, Pt) метали уздовж осі легкого намагнічування (001), що є віссю, вздовж якої при ПМА орієнтуються магнітні моменти.

Фаза $L1_2$ характеризується магнітно-м'якими властивостями – слабкою магнітною анізотропією, малими розмірами кристалітів, сильною взаємною дифузією і слабкою упорядкованістю в системах FePt та CoPt. Плівкова система FePd має обмежений діапазон взаємної дифузії, тому при концентраціях паладію (від 35 до 45) ат. % одночасно з упорядкованою фазою може співіснувати фаза ОЦК-Fe. Фаза $L1_2$ відповідає Fe_3Pd або Pd_3Fe в залежності від співвідношення концентрації окремих компонент системи.

Фазовий склад більшості конденсованих зразків (одночасне випарування із двох випарників) відповідає невпорядкованому ГЦК-FePd інтерметаліду $T_{en} = (217 - 247)$ °C, причому, температура фазового переходу із

хімічно неупорядкованої до упорядкованої (точка Курнакова) системи складає 347 – 450 °С. Фазовий склад плівкової системи FePd у значній мірі визначається її загальною товщиною.

На рисунку 1.12 наведено фазові діаграми розчинності систем Ag-Fe, Ag-Pd [21].

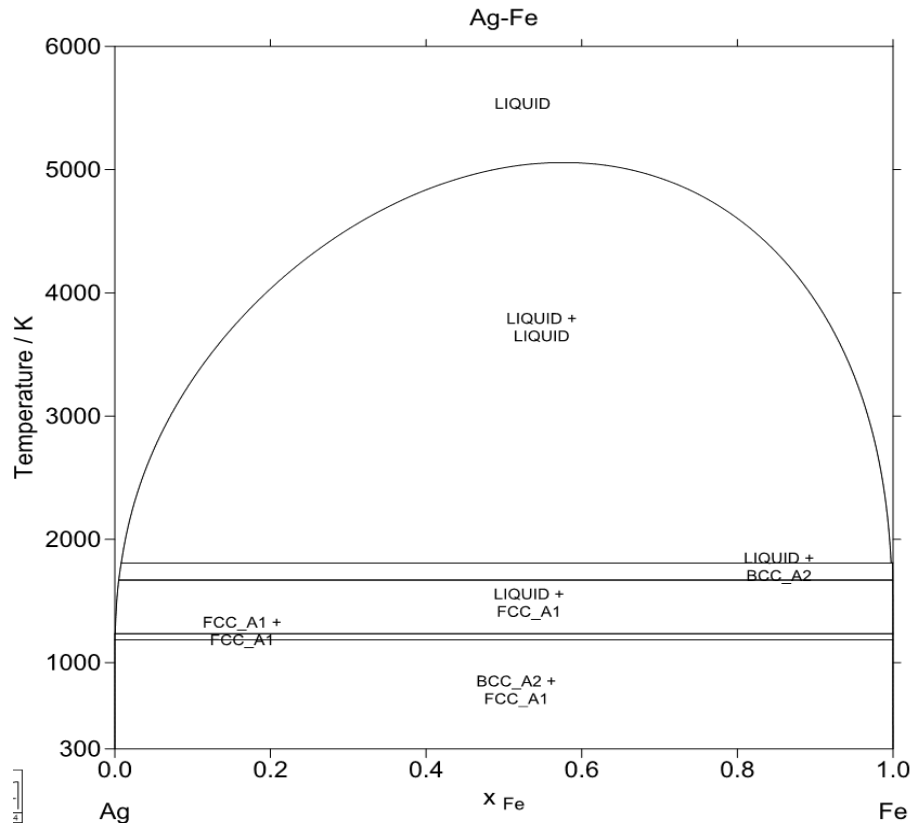


Рисунок 1.12 – Фазова діаграма системи Ag-Fe [21]

Можна бачити, що срібло не розчиняється в залізі і має необмежену розчинність в платині в тому температурному інтервалі, який досліджувався в роботі. Відповідно до фазових діаграм Fe і Ag нерозчинні, а Ag і Pd необмежено розчинні.

Водень практично нерозчинний у Fe, тоді як Pd може поглинати водень навіть при кімнатній температурі.

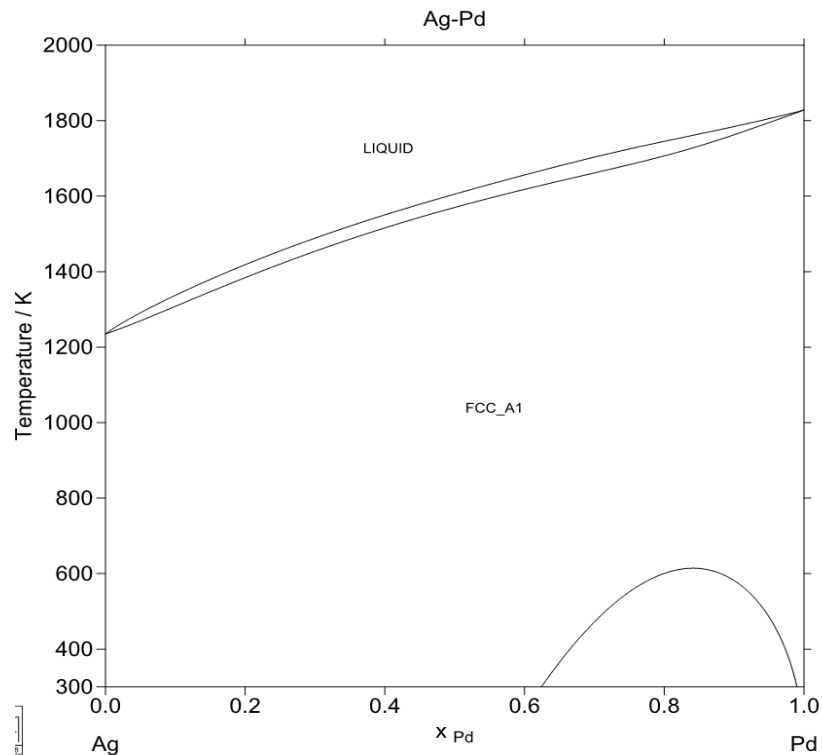


Рисунок 1.13 – Фазова діаграма системи Ag-Pd [24]

1.6 Використання плівок на основі FePd в якості середовища магнітного запису

Перспективним кандидатом для магнітного запису є нанорозмірні плівки на основі FePd з хімічно впорядкованою структурою. Даний матеріал за своєю структурою та властивостями є подібним до FePt, однак має свої особливості, які заслуговують докладного вивчення. Фазовий склад більшості конденсованих зразків (при одночасному випаруванні із двох випарників) відповідає неупорядкованій ГЦК-FePd фазі при температурах підкладки $T_n = (217-247)^\circ\text{C}$, причому, температура фазового переходу із неупорядкованої до упорядкованої (точка Курнакова) системи становить $(347-450)^\circ\text{C}$ [24-31].

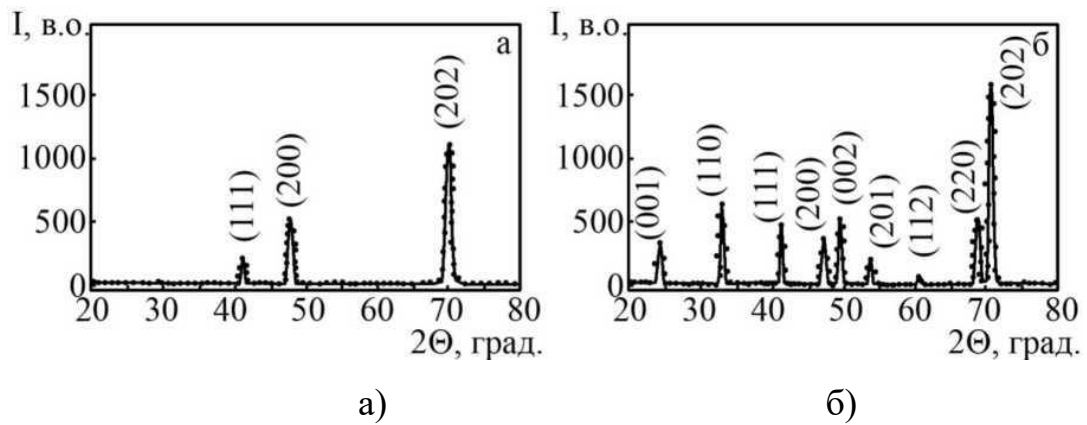


Рисунок 1.14 – Рентгенограма від $\text{Fe}_{50}\text{Pd}_{50}$ із ГЦК-FePd (а) та $L1_0$ (б) фазами [25]

Фазовий склад плівкової системи FePd у значній мірі визначається її загальною товщиною. Так, при товщині зразка порядку (20–30) нм при епітаксійному вирощуванні завжди спостерігається утворення фази $L1_0$.

Вплив температури підкладки на формування впорядкованої фази досліджено у роботах [38, 39]. Авторами показано, що при $T_n = 27^\circ\text{C}$ і 100°C [38] формується неупорядкована ГЦК – FePd фаза і витримка зразка при температурах від 400°C до 600°C протягом 1 - 2 годин не приводить до зміни його фазового стану. Найбільш впорядкована структура спостерігається у зразку $\text{Fe}_{52}\text{Pd}_{48}$ в інтервалі концентрацій Fe (від 38 до 58) ат.%. За даними роботи максимальне впорядкування спостерігається при $T_n = 447^\circ\text{C}$ (табл. 1.1).

Фазовий склад залежить від типу підкладки. Авторами [40] встановлено, що в плівках $\text{Fe}_{50}\text{Pd}_{50}$, сконденсованих на підкладку $\text{MgO}(100)$ при $T_n = 500^\circ\text{C}$ спостерігається упорядкована $L1_0$ фаза, тоді як при конденсації вищевказаної системи на підкладку MgO із кремнієвими наносферами ознаки упорядкованості не спостерігаються.

Упорядкований сплав можна отримати різними методами (одночасним випаруванням, пошаровою конденсацією та ін.), але основним важливим фактором залишається температура відпалу. В роботі [24-31] детально описаний один із методів отримання сплаву з упорядкованою фазою $L1_0$, при

якому досліджувани зразки були отримані шляхом витончення фольг Fe і Pd товщиною (0,4 – 0,5) мм до нанометрових товщин (42 – 76) нм та наступним відпалюванням при температурі 600 °С протягом двох годин у магнітному полі 19 Тл.

Авторами роботи [24-31] в мультишарах Fe/Pd, отриманих методом електрохімічного осадження, для конденсованих зразків була зафіксована неупорядкована ГЦК–FePd фаза (рефлекс(111)). Встановлено, що при термообробці таких зразків, починаючи з 500 °С, відбувається формування упорядкованої фази. При збільшенні температури від 400 °С до 600 °С спостерігається збільшення розміру зерен від 100 до 500 нм. Автори вказують також на той факт, що в процесі відпалювання виникають додаткові напруження і структурні дефекти та відбувається викривлення кристалічної ґратки матеріалу. На рисунку 1.15 показано як змінюється коерцитивна сила плівкової композиції FePd зі зміною концентрації атомів Pd [27].

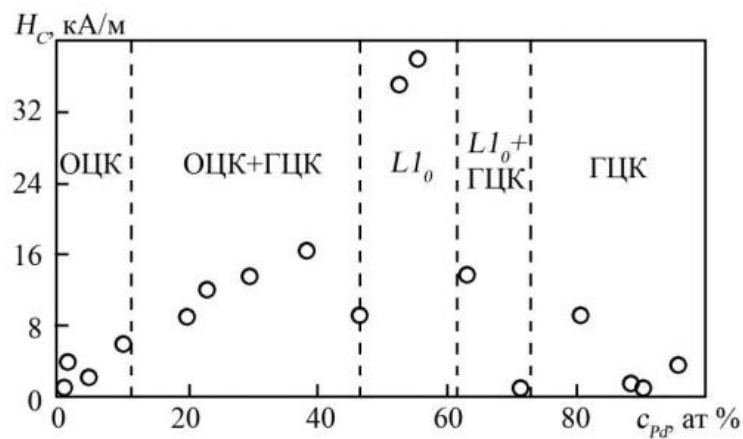


Рисунок 1.15 – Залежність коерцитивної сили плівкової композиції FePd від концентрації атомів Pd [27]

1.7 Висновки до розділу 1

1. Аналіз літературних даних свідчить про перспективність використання тонких плівок для створення носіїв інформації з високою щільністю запису. Кількість праць, присвячених цьому питанню постійно збільшується.
2. Властивості нанорозмірних магнітних плівок залежать від структурно-фазового складу, що визначає властивості та експлуатаційні характеристики приладів.
3. Плівка FePd, є перспективним кандидатом для підвищення щільності магнітного запису завдяки великим магнітокристалічній анізотропії та коерцитивній сил

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкти дослідження

В якості об'єктів дослідження використано нанорозмірні шаруваті плівки Pd(6 нм)/Ag(0,2; 0,4 нм)/Fe(4,6 нм), Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Fe(15 нм)/Ag(10 нм) (рис. 2.1). Плівки отримані методом магнетронного осадження на підкладки термічно окисненого з шаром SiO₂(100 нм) монокристалічного кремнію за кімнатної температури.

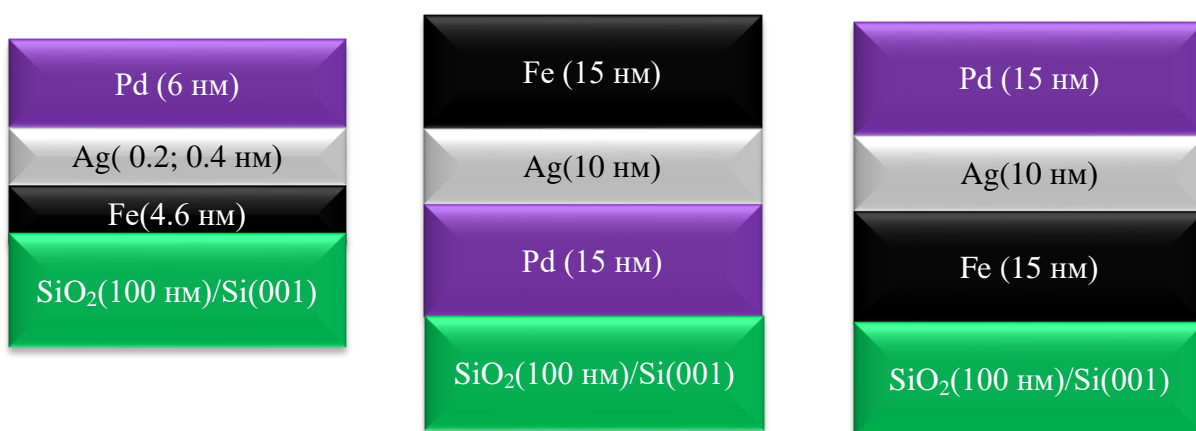


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення плівок Pd/Ag/Fe та Fe/Ag/Pd на підкладках SiO₂/Si(001)

2.2 Метод магнетронного осадження

Зразки, досліджені в даній роботі, були отримані методом магнетронного осадження шарів відповідних металів та сплавів на термічно окиснену кремнієву підкладку з орієнтацією (001) за кімнатної температури.

Суть процесу магнетронного осадження плівок у вакуумі полягає в розпорошенні твердої мішені матеріалу іонами інертного газу Ar, що утворюються в плазмі аномального тліючого розряду при прикладенні до неї магнітного поля.

Основними елементами магнетрона є катод – мішень, анод і магнітна

система (рис. 2.2). Відмінною особливістю магнетронного розпилювача є наявність двох схрещених полів – електричного і магнітного. Силкові лінії магнітного поля замикаються між полюсами магнітної системи. Поверхня мішені, розташована між системами входу і виходу силових ліній магнітного поля, інтенсивно розпорошується і має вид замкнутої доріжки, геометрія якої визначається формою полюсів магнітної системи. При подачі постійної напруги між мішенню (негативний потенціал) і анодом (позитивний потенціал) виникає неоднорідне електричне поле і збуджується тліючий розряд [32].

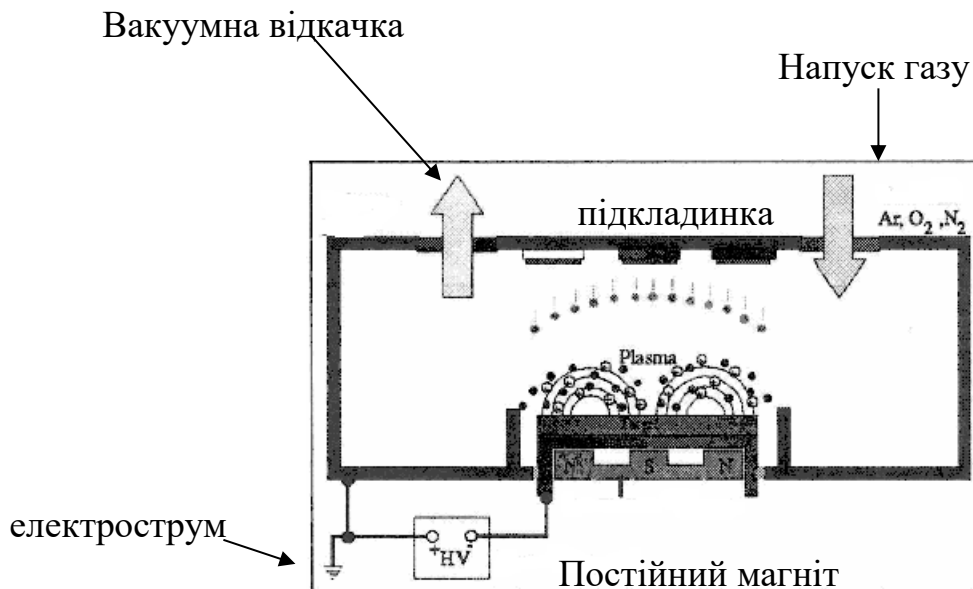


Рисунок 2.2 – Принципова схема методу магнетронного осадження [32]

Наявність замкненого магнітного поля до поверхні мішені, що розпорошується, дозволяє локалізувати плазму розряду безпосередньо в мішені. Якщо з мішені-катода буде випущено електрон (за рахунок вторинної електронної емісії), то траєкторія його руху буде визначатися дією на нього магнітного та електричного полів.

Під впливом електричного поля електрон почне рухатися до анода. Дія магнітного поля на рухомий заряд призведе до виникнення сили Лоренца, спрямованої перпендикулярно напрямку швидкості руху електрона. Сумарна дія цих сил призведе до того, що в результаті електрон буде рухатися

паралельно поверхні мішені за складною замкнутою траєкторією, близькою до циклоїди.

Важливим тут є те, що траєкторія руху замкнута. Електрон буде рухатися по ній до тих пір, поки не відбудеться кілька зіткнень його з атомами робочого газу, в результаті яких відбудеться їх іонізація, а сам електрон, втративши швидкість, переміститься за рахунок дифузії до аноду. Таким чином, велика частина енергії електрона, перш ніж він попадає на анод, використовується на іонізацію і збудження, що значно збільшує ефективність процесу іонізації і призводить до зростання концентрації позитивних іонів близько поверхні мішені. Це, у свою чергу, призводить до збільшення інтенсивності іонного бомбардування мішені і значного росту швидкості осадження плівки.

Товщина, одержаних магнетронним методом плівок, визначалась, виходячи зі швидкості розпорошення кожної мішені при осадженні, а також контролювалась за допомогою кварцового резонатору і профілометричного аналізу. Вказаний спектр методів забезпечував точність вимірювання товщини осаджених плівок на рівні $\pm 0,1$ нм [32].

2.3 Фізико-технологічні параметри термічної обробки

Термічну обробку плівок було проведено в середовищі проточного водню в муфельній печі марки Siemens-Plama Berlin-Lichtenberg в інтервалі температур 600 °С – 700 °С. Зразки Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe витримувалися при відповідній температурі протягом 1 год зі швидкістю нагріву порядку 1 К/с.

2.4 Рентгеноструктурний фазовий аналіз

Метою рентгеноструктурного аналізу є встановлення відповідності між атомною структурою досліджуваного зразка та просторовим розподіленням рентгенівського випромінювання, розсіяного зразком. Якісний фазовий

аналіз використовують для встановлення фаз, присутніх в зразку.

Рентгеноструктурний фазовий аналіз проводився на установці Rigaku Ultima IV з використанням сцинтиляційного лічильника у випромінюванні $\lambda_{K\alpha}$ -Cu. Дифрактометричні дослідження з використанням сцинтиляційних лічильників проведено у фокусуєчій геометрії за Брегом-Брентано (рис. 2.3). Плоский зразок P розміщують так, щоб його поверхня знаходилась на осі обертання O гоніометра. Умовою фокусування є розміщення фокусу трубки F, поверхні зразка та щілини лічильника S на одному колі радіусом $r = R/2 \sin \theta$, де R – радіус гоніометра.

Особливістю фокусування за Брегом-Брентано є розміщення зерен полікристалічного зразка у відбиваючому положенні (кут Θ).

При зміні положення детектора на певний кут, зразок обертається на кут вдвічі менший.

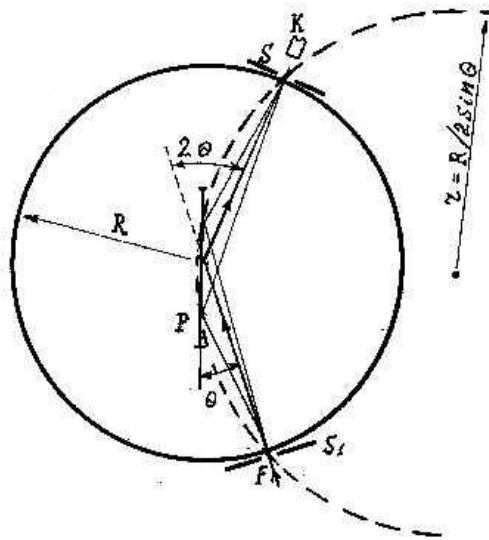


Рисунок 2.3 – Схема фокусуєчої геометрії за Брегом-Брентано [33]

Умовою дифракції рентгенівських променів на кристалічній ґратці є умова Вульфа–Брегга:

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

де d – міжплощинна відстань, властива даній фазі, Å

θ – кут дифракції;

λ – довжина хвилі випромінення;

n – порядок дифракційного максимуму (ціле число).

Інтенсивність рефлексу залежить від режиму роботи рентгенівського апарату: струму через трубку; напруги на трубці; розміру щілин, режиму роботи лічильника квантів рентгенівського випромінювання. Інтенсивність рефлексу визначається кількістю даної фази. Якщо досліджуваний об'єкт складається з декількох фаз, то кожній фазі відповідатиме своя власна дифракційна картина. В цьому випадку дифрактограма є накладенням дифрактограм всіх наявних в досліджуваному зразку фаз [33,34].

Мірою чутливості рентгенівського фазового аналізу служить мінімальна кількість речовини в суміші, що дає достатній для визначення наявності цієї фази в зразку набір її характерних рефлексів. Для різних фаз і різних сумішей фаз чутливість різна. Вона тим більша, чим вища «відбивна» здатність атомної площини фази, присутність якої треба виявити, і чим слабкіше фон дифрактограми. Важливим є і співвідношення коефіцієнтів поглинання всієї суміші і визначуваної фази. Речовини, які сильно розсіюють рентгенівське випромінювання, легко виявити в слабо розсіюючій суміші. Сполуки легких елементів в поєднанні із сполуками важких елементів можна виявити лише при їх великому вмісті.

Якщо лінії визначуваної фази розмиті через наявність мікронапружень, або дисперсності зразка, або неоднорідності його за складом, або, якщо утворюється твердий розчин, то чутливість рентгенівського фазового аналізу різко знижується.

Чутливість фазового аналізу підвищується при наявності текстури (кристали мають переважну орієнтацію якогось певного кристалографічного напрямку) в фазі, яку треба виявити. Останнє призводить до того, що деякі лінії на дифрактограмі посилюються, а деякі, навпаки, зникають. Наявність сильних ліній і дозволяє виявити меншу, ніж у відсутності текстури, кількість фази [33,34].

Ідентифікацію фаз проведено за картотекою ASTM шляхом порівняння кутового положення (міжплощинних відстаней) та інтенсивності рефлексів .

Параметри гранецентрованої кубічної ґратки розраховуються за формулою:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2.2)$$

Параметри гранецентрованої тетрагональної ґратки розраховувались за формулою [34]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.3)$$

Розмір областей когерентного розсіювання (розмір зерен) в нанорозмірних плівках розраховувався за формулою Дебая-Шерера. Припускається, що в даному випадку розмір областей когерентного розсіювання співпадає з розміром нано-зерен:

$$d = (0,9\lambda) / (B \cos\theta), \quad (2.4)$$

де d – розмір зерна;

λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання;

B – ширина дифракційного рефлексу на половині висоти;

θ – кутове положення дифракційного рефлексу.

2.5 SQUID магнітометрія

Дослідження магнітних характеристик тонких плівок проведено на кафедрі експериментальної фізики університету Аугсбургу, Німеччина.

SQUID – «надпровідний квантовий інтерференційний пристрій», надчутливий магнітометр, що використовується для вимірювання слабких магнітних полів і дослідження магнітних властивостей нанорозмірних плівок.

В даній роботі використовувався магнітометр MPMS SQUID VSM (рис. 2.4) виробництва Quantum Design, який має чутливість $<8 \cdot 10^{-8}$ емо при максимальному прикладеному полі 70 кЕ. Магнітні дослідження можуть проводитися при температурах від (-271 до 127) °С при стандартному налаштуванні і до 737 °С при наявності додаткової високотемпературної приставки. В даній роботі всі виміри проведені за кімнатної температури.

Простіший квантовий магнітометр-SQUID являє собою надпровідне кільце з двома джозефсонівськими тунельними контактами, який є аналогом оптичного ефекту з інтерференцією від двох щілин (тільки в даному випадку інтерферують не світлові хвилі, а два джозефсонівських струми). Істотним для розуміння роботи SQUID - магнітометра є наявність хвильових властивостей електрона. Хвиля електронів поділяється на дві, кожна з яких проходить свій тунельний контакт, а потім обидві хвилі з'єднують разом. У випадку відсутності зовнішнього поля обидві гілки будуть еквівалентні – різниця фаз відсутня. Але за наявності магнітного поля в контурі виникає різниця фаз і при з'єднанні хвиль електронів буде спостерігатися явище інтерференції [35].

Магнітні сигнали, що реєструються SQUID – магнітометром звичайно складаються з внесків від магнітного шару, підкладки і тримача зразків. Так як внески від підкладки і тримача звичайно мають лінійну залежність від прикладеного поля, то їх значення визначались і віднімалися за допомогою виміру магнітних кривих при полях, вищих за поле насичення магнітного шару [35].

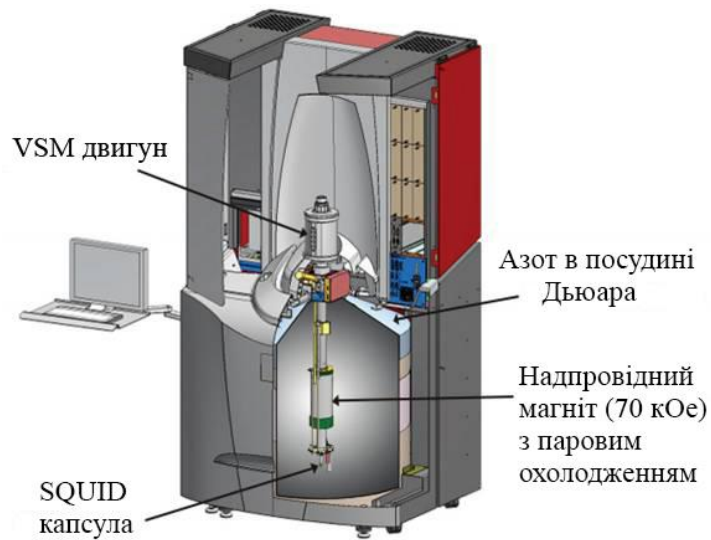


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд приладу MPMS SQUID VSM

2.6 Атомно-силова мікроскопія

Поверхневу шорсткість плівкових композицій досліджено на атомно-силовому мікроскопі Digital Instruments Dimension 3000.

Атомний силовий мікроскоп — високотехнологічний науковий прилад, що дозволяє отримувати зображення поверхні зразків із роздільною здатністю порядку кількох нанометрів та маніпулювати наноскопічними об'єктами, наприклад, окремими молекулами.

В атомному силовому мікроскопі поверхню сканує тонкий щуп, розташований на кінці консольної балки, яку називають кантилевером. Високоточне переміщення поверхні під щупом забезпечують п'єзоелектричні елементи, які змінюють свою довжину в залежності від прикладеної напруги. Рухаючись над нерівною поверхнею, щуп підіймається і опускається, і ці дуже малі вертикальні переміщення відображаються за допомогою лазерного променя, який падає на верхню поверхню консольної балки з прикріпленою до нього дзеркальною поверхнею. Отриманий сигнал аналізується за допомогою електроніки й перетворюється в зображення поверхні. Для забезпечення постійної сили між поверхнею та щупом і запобігання пошкоджень, використовується

електронний механізм зворотного зв'язку. Зразок при скануванні переміщується за допомогою прецизійних пьезодвигунів, які регулюються комп'ютером. По завершенню сканування двомірне (тримірне) зображення морфології поверхні зразка виводиться на екран комп'ютера [36].

Схематично принцип дії атомно-силового мікроскопу представлено на рис. 2.5.

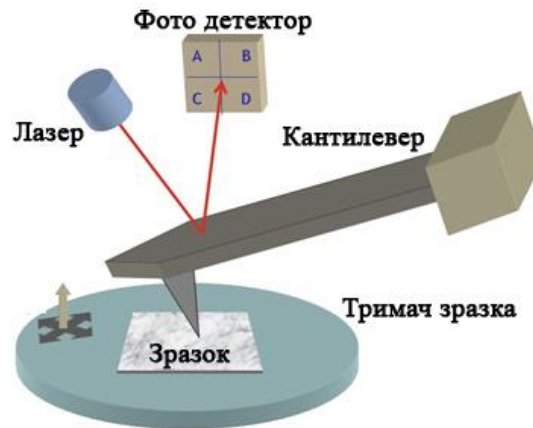


Рисунок 2.5 – Схема роботи атомно-силового мікроскопу

Існує три основних режими роботи атомно-силового мікроскопу: контактний, безконтактний та вібраційний. Найбільш високу роздільну здатність забезпечує контактний метод, при якому голка торкається поверхні зразка під час його сканування. В безконтактному режимі вістря голки коливається над поверхнею зразка з частотою 100 КГц – 1 МГц. Цей режим підвищує чутливість атомно-силового мікроскопу, в результаті чого можуть бути зафіксовані навіть Ван-дер-Ваальсові та електростатичні сили. Недоліком цього режиму роботи є виникаючий високий тиск, який може викликати пошкодження зразка і вістря голки. Вібраційний режим поєднує в собі елементи контактного та безконтактного режимів. В вібраційному режимі кантилевер коливається з більшою амплітудою і вістря голки дотикається до поверхні зразка на короткі проміжки часу, внаслідок чого роздільна здатність є такою ж як при контактному режимі, а пошкодження зразка чи голки відсутні.

2.7 Висновки до розділу 2

Для дослідження змін структурно-фазового стану та магнітних властивостей нанорозмірних плівок Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe, отриманих за допомогою магнетронного методу осадження, використано комплекс сучасних матеріалознавчих методик, зокрема, рентгеноструктурний фазовий аналіз, SQUID-магнітометрію, атомно-силову мікроскопію.

3 ЗМІНА СТРУКТУРИ ТА МАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАРУВАТИХ НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВОК Pd/Ag/Fe та Fe/Ag/Pd

У розділі показано вплив проміжного шару Ag та загальної товщини плівок на зміну структури та магнітних властивостей у шаруватих нанорозмірних плівках Pd/Ag/Fe та Fe/Ag/Pd при термічній обробці у водні

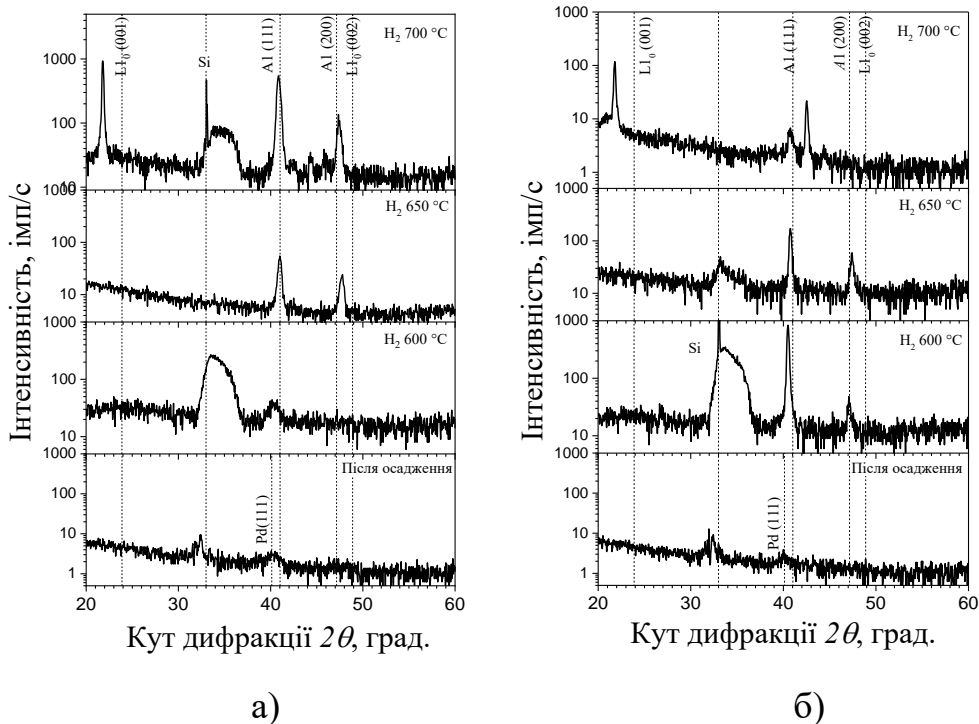
3.1 Фазові перетворення та магнітні властивості у плівках Pd(6 нм)/Ag(0,2; 0,4 нм)/Fe(4,6 нм)

Після осадження в плівці Pd(6 нм)/Ag(0,2 нм)/Fe(4,6 нм) спостерігаємо рефлекс Pd(111) (рис. 3.1, а). При відпалі у водні за температури 600 °C починається взаємна дифузія поміж шарами Pd та Fe, внаслідок чого рефлекс Pd(111) зміщується в бік більших кутів (рис. 3.1, а).

Збільшення товщини проміжного шару Ag до 0,4 нм активізує процеси взаємної дифузії поміж шарами. Після відпалу у водні за температури 600 °C рефлекс (111) ще більше змістився у бік більших кутів та з'явився рефлекс (200) (рис. 3.1, б).

При підвищенні температури відпалу до 650 °C на дифрактограмах обох плівок спостерігаємо рефлекси (111) та (200) від неупорядкованої фази A1-FePd (рис. 3.1).

Відпал за температури 700 °C призводить до появи нових рефлексів на дифрактограмах обох плівок на кутах $2\theta = 21,8; 42,52; \text{ та } 44,36^\circ$, що можуть належати гідридам паладію та заліза, або навіть потрійному гідриду з тетрагональною ґраткою (рис. 3.1).



а) Pd(6 нм)/Ag(0,2 нм)/Fe(4,6 нм); б) Pd(6 нм)/Ag(0,4 нм)/Fe(4,6 нм)
 Рисунок 3.1 – Дифрактограми нанорозмірних плівок Pd(6 нм)/
 Ag(0,2 нм)/Fe(4,6 нм) та Pd(6 нм)/Ag(0,4 нм)/Fe(4,6 нм) після термічної
 обробки у водні, випромінювання Cu K_α

При підвищенні температури відпалу у водні від 600 °C до 650 °C параметр ґратки a FePd у нанорозмірних плівкових композиціях Pd(6 нм)/Ag(0,2 нм)/Fe(4,6 нм) та Pd(6 нм)/Ag(0,4 нм)/Fe(4,6 нм) зменшується, що свідчить про початок процесів упорядкування (рис. 3.2, рис. 3.3).

При відпалі у водні розмір ОКР збільшується у плівковій композиції Pd(6 нм)/Ag(0,2 нм)/Fe(4,6 нм) з температурою відпалу (рис. 3.4).

У композиції з більшою товщиною проміжного шару срібла (0,4 нм) розмір ОКР зменшується. Більша кількість срібла на межах зерен обмежує їх зростання (рис. 3.5).

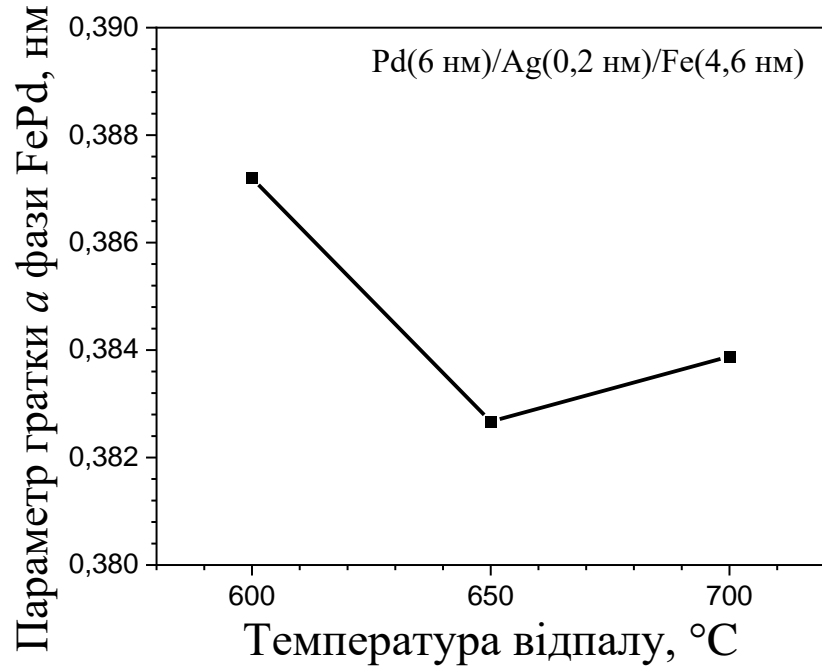


Рисунок 3.2 – Зміна параметру ґратки a фази FePd у плівці Pd(6 нм)/Ag(0,2 нм)/Fe(4,6 нм) при відпалі у водні

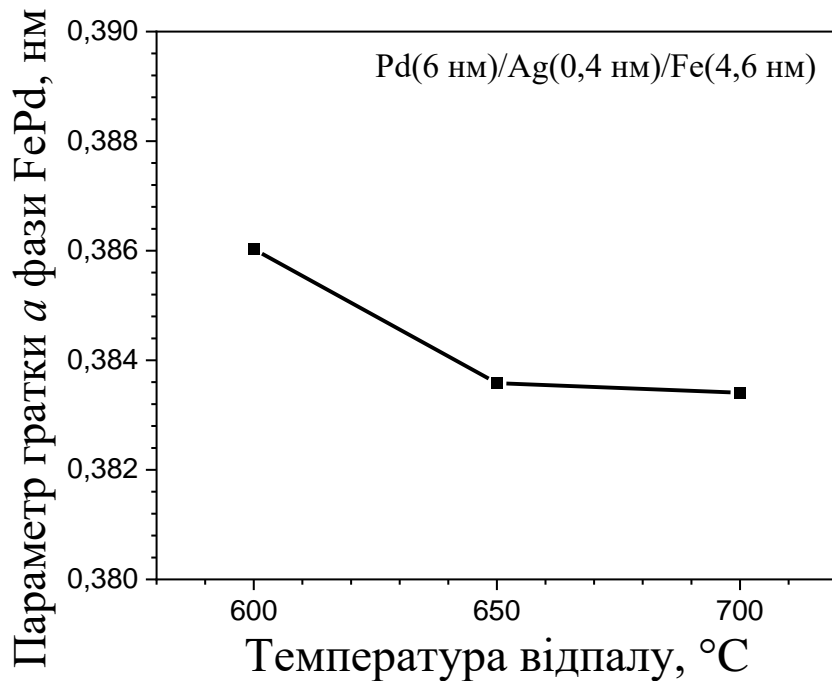


Рисунок 3.3 – Залежність параметру ґратки a фази FePd у нанорозмірній плівковій композиції Pd(6 нм)/Ag(0,4 нм)/Fe(4,6 нм) від режиму термічної обробки

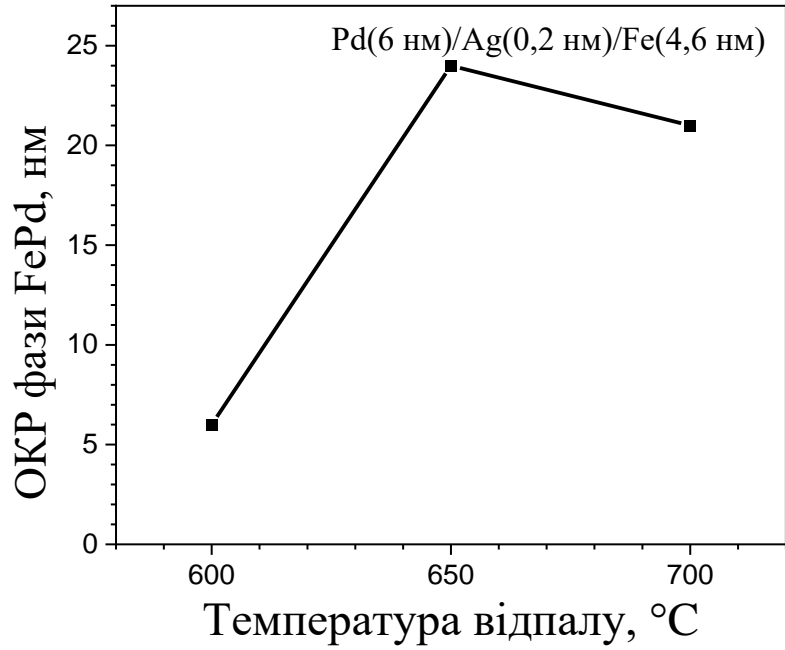


Рисунок 3.4 – Залежність розміру ОКР фази FePd у нанорозмірній плівковій композиції Pd(6 нм)/Ag(0,2 нм)/Fe(4,6 нм) від режиму термічної обробки

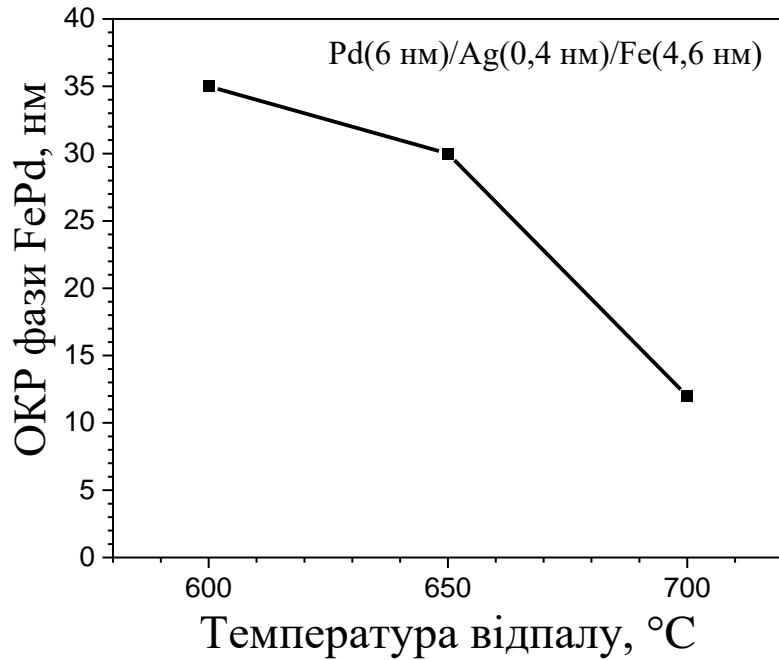


Рисунок 3.5 – Зміна розміру ОКР фази FePd у нанорозмірній плівковій композиції Pd(6 нм)/Ag(0,4 нм)/Fe(4,6 нм) з температурою відпалу

На рисунку 3.6 представлено криві намагнічування плівкових композицій Pd(6 нм)/Ag(0,2; 0,4 нм)/Fe(4,6 нм) після відпалу в атмосфері водню. Намагніченість насичення після відпалу у водні при 650 °C збільшується від 130,3 емо/см³ до 240 емо/см³ при збільшенні товщини прошарку Ag від 0,2 нм до 0,4 нм. Коерцитивна сила при цьому також більш ніж у 2,5 рази більше у плівці Pd(6 нм)/Ag(0,4 нм)/Fe(4,6 нм) і складає 82 Е. При збільшенні кількості Ag на межах зерен FePd зменшується обмінна взаємодія між ними, що сприяє збільшенню коерцитивної сили.

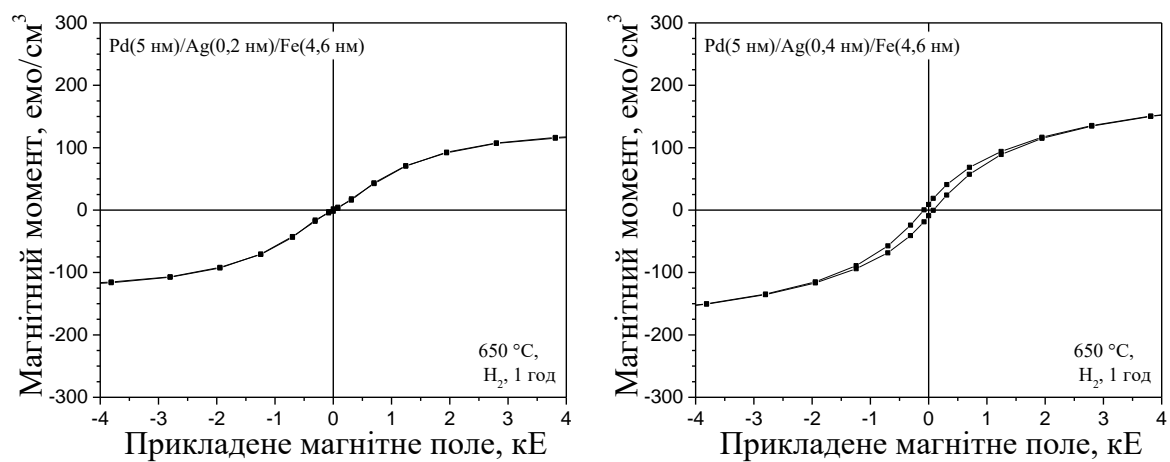
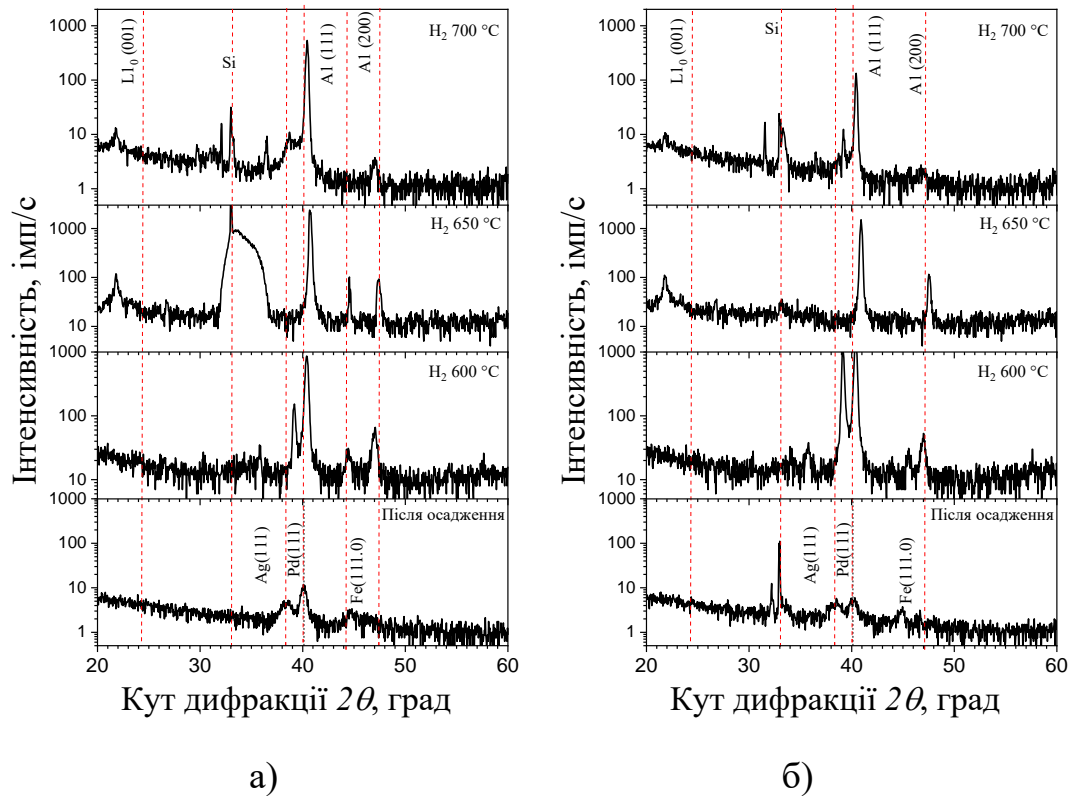


Рисунок 3.6 – Криві намагнічування плівкових композицій Pd(6 нм)/Ag(0,2; 0,4 нм)/Fe(4,6 нм) після відпалу в атмосфері водню за температури 650 °C тривалістю 1 год

3.2 Фазові перетворення та магнітні властивості плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм)

Дифрактограми нанорозмірних плівкових композицій Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) після термічної обробки у водні представлено на рисунку 3.7.

Після осадження на дифрактограмах спостерігаються структурні рефлекси від Pd, Ag та Fe.



а) Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм); б) Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм)

Рисунок 3.7 – Дифрактограми нанорозмірних плівкових композицій Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) після термічної обробки у водні, випромінювання $\text{Cu K}\alpha$

Після відпалу у водні за температури 600 °C, незалежно від розташування верхнього шару - Fe (або Pd), на дифрактограмі спостерігаються рефлекси (111) та (200) від твердого розчину Ag(Pd). Вони зникають при підвищенні температури відпалу у водні до 650 °C внаслідок того, що відбулися дифузійні процеси по всій товщині плівкової композиції.

Після відпалу при 700 °C на дифрактограмах збільшується кількість рефлексів від гідридів.

Період ґратки a фази Al-FePd у плівкових композиціях Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) зменшується зі збільшенням температури відпалу у водні до 650 °C (рис 3.8).

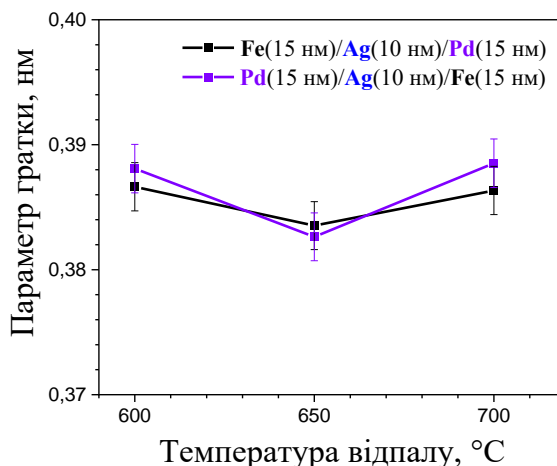


Рисунок 3.8 – Зміна параметру ґратки a фази $A1\text{-FePd}$ у плівкових композиціях $\text{Fe}(15 \text{ нм})/\text{Ag}(10 \text{ нм})/\text{Pd}(15 \text{ нм})$ та $\text{Pd}(15 \text{ нм})/\text{Ag}(10 \text{ нм})/\text{Fe}(15 \text{ нм})$ при відпалі у водні

Розмір областей когерентного розсіювання більше у плівковій композиції $\text{Pd}(15 \text{ нм})/\text{Ag}(10 \text{ нм})/\text{Fe}(15 \text{ нм})$ з верхнім шаром Pd. Зі збільшенням температури відпалу до до $650 \text{ }^\circ\text{C}$ зерна FePd зростають до 35 нм та 38 нм у плівкових композиціях $\text{Fe}(15 \text{ нм})/\text{Ag}(10 \text{ нм})/\text{Pd}(15 \text{ нм})$ та $\text{Pd}(15 \text{ нм})/\text{Ag}(10 \text{ нм})/\text{Fe}(15 \text{ нм})$, відповідно (рис. 3.9).

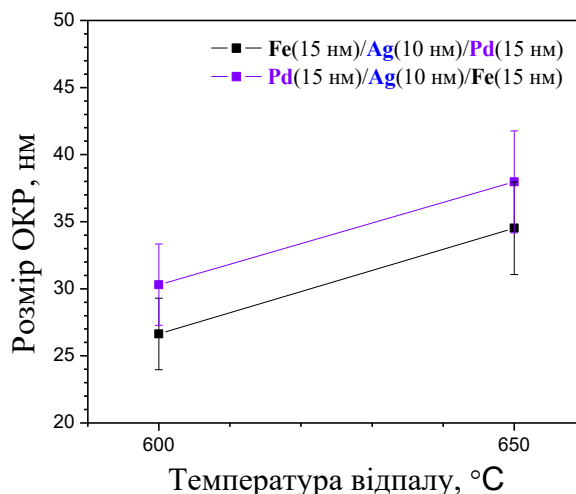
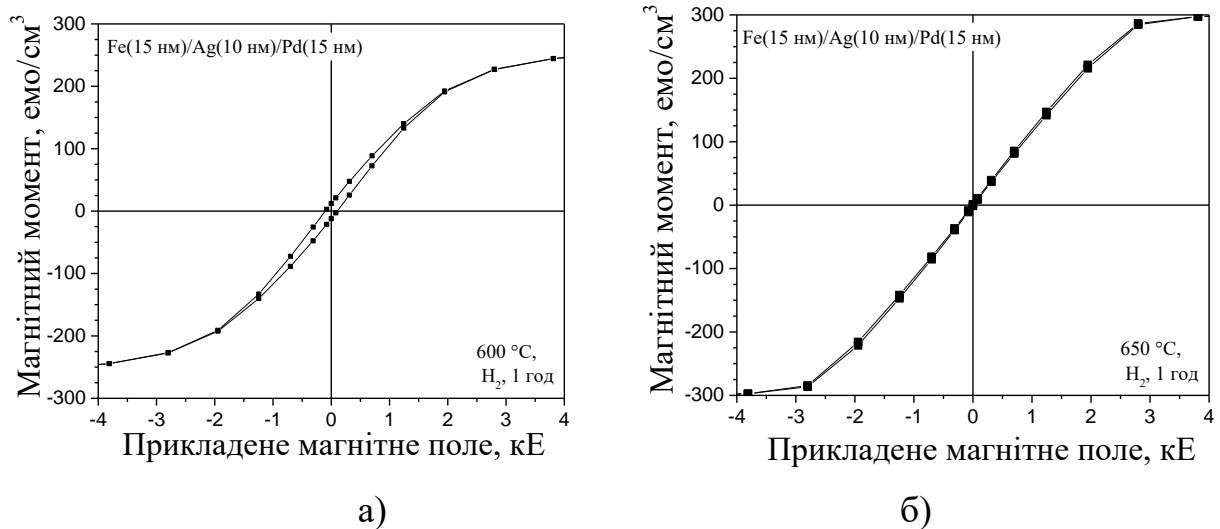


Рисунок 3.9 – Зміна розміру ОКР фази $A1\text{-FePd}$ у плівкових композиціях $\text{Fe}(15 \text{ нм})/\text{Ag}(10 \text{ нм})/\text{Pd}(15 \text{ нм})$ та $\text{Pd}(15 \text{ нм})/\text{Ag}(10 \text{ нм})/\text{Fe}(15 \text{ нм})$ при відпалі у водні

На рисунку 3.10 представлено криві намагнічування плівкових композицій Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) після відпалу в атмосфері водню за температур 600 °С та 650 °С тривалістю 1 год. Незалежно від розташування (верхній шар Fe (або Pd)) плівки залишаються магнітно-м'якими. При цьому намагніченість насичення майже не змінюється. Проте у плівці з верхнім шаром Pd після відпалу у водні за температури 600 °С починає формуватися магнітно-тверда фаза $L1_0$ з коерцитивною силою 137 Е (рис. 3.11).



а) 600 °С; б) 650 °С

Рисунок 3.10 – Криві намагнічування плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) після відпалу в атмосфері водню протягом 1 год за температур

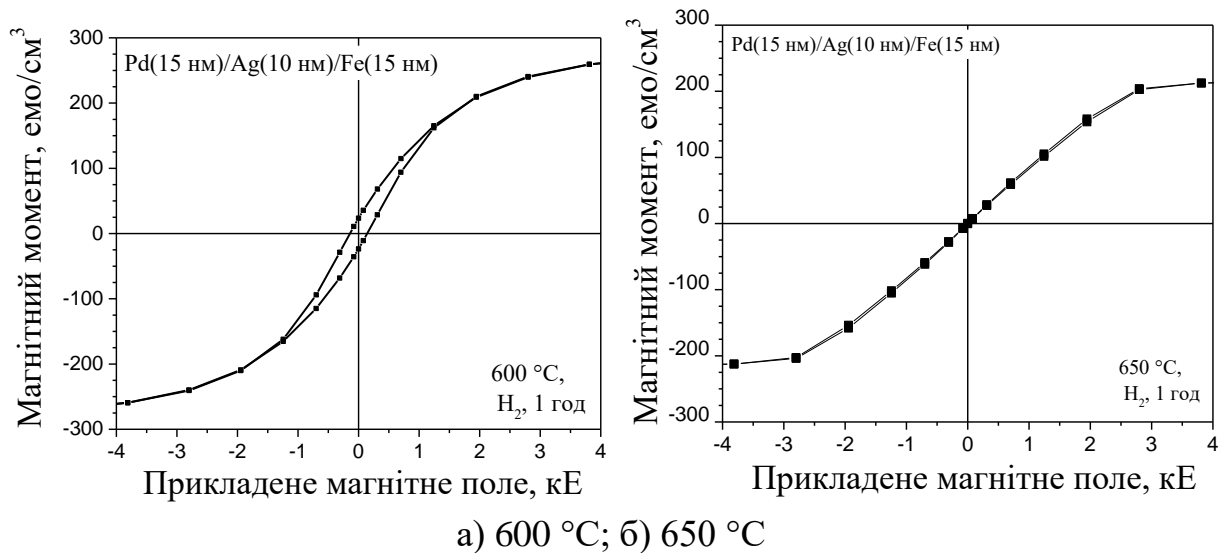


Рисунок 3.11 – Криві намагнічування плівкових композицій Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) після відпалу в атмосфері водню протягом 1 год за температур

3.2.1 Зміна морфології поверхні плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм)

Зображення поверхні плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм), які отримані методом АСМ, представлені на рисунку 3.12.

Після осадження шорсткість плівки Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15) складає 27,4 нм. Після відпалу у середовищі водню шорсткість поверхні зменшується та після відпалу за температури 700 °С має значення 25,5 нм (рис. 3.13).

Зображення поверхні плівок Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) представлені на рисунку 3.14.

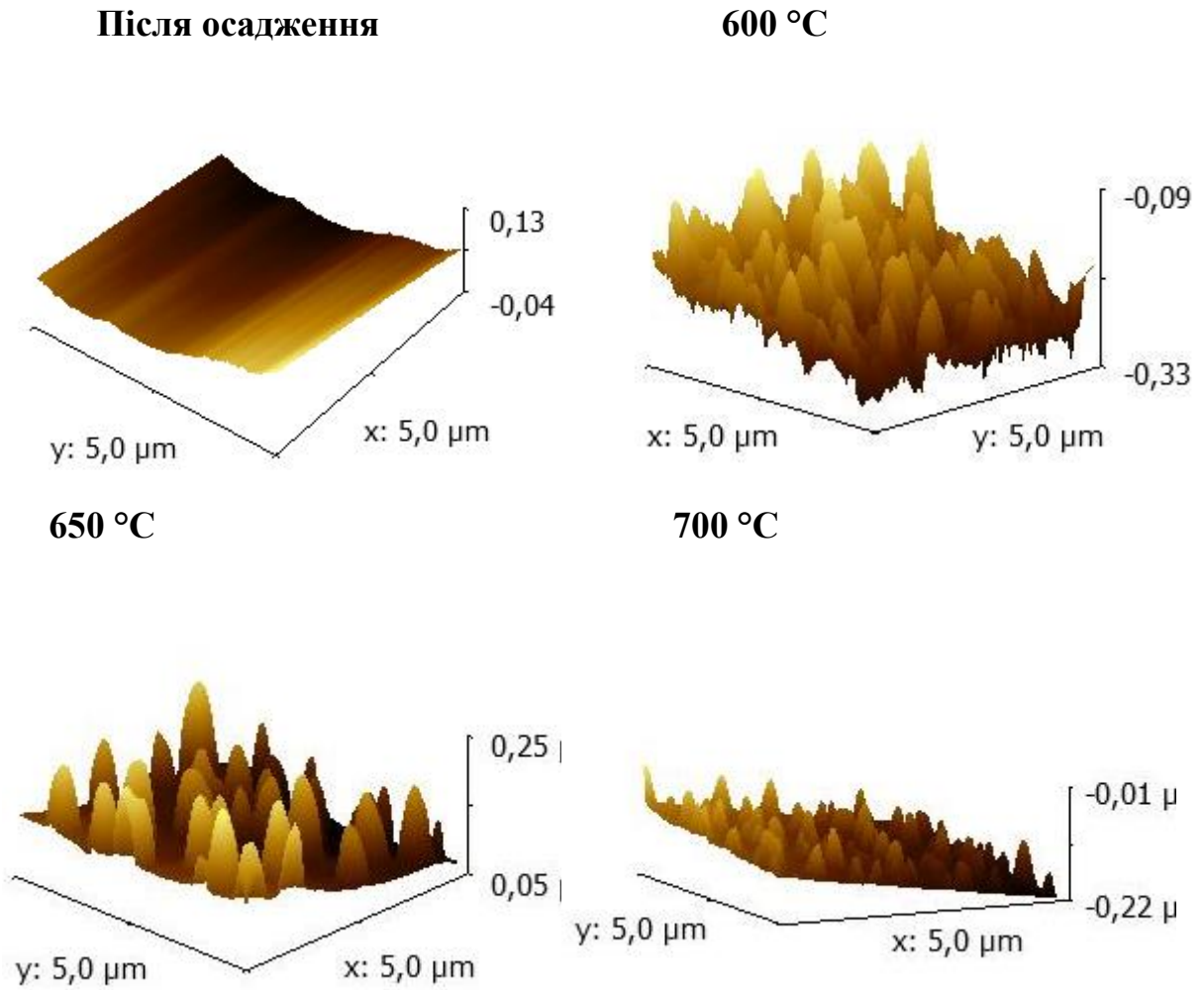


Рисунок 3.12 – Зображення поверхні плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм)

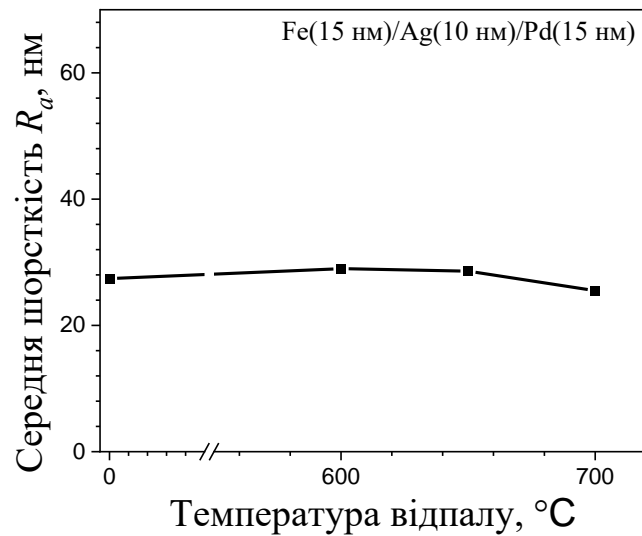


Рисунок 3.13 – Зміна середньої шорсткості поверхні плівок Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/ Pd(15 нм) з температурою відпалу

Після осадження шорсткість плівки Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/ Fe(15 нм) складає 27,4 нм, що в 4 рази менше шорсткості поверхні плівки Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм). Після відпалу у середовищі водню шорсткість поверхні зростає та після відпалу за температури 700 °С має значення 53,2 нм.

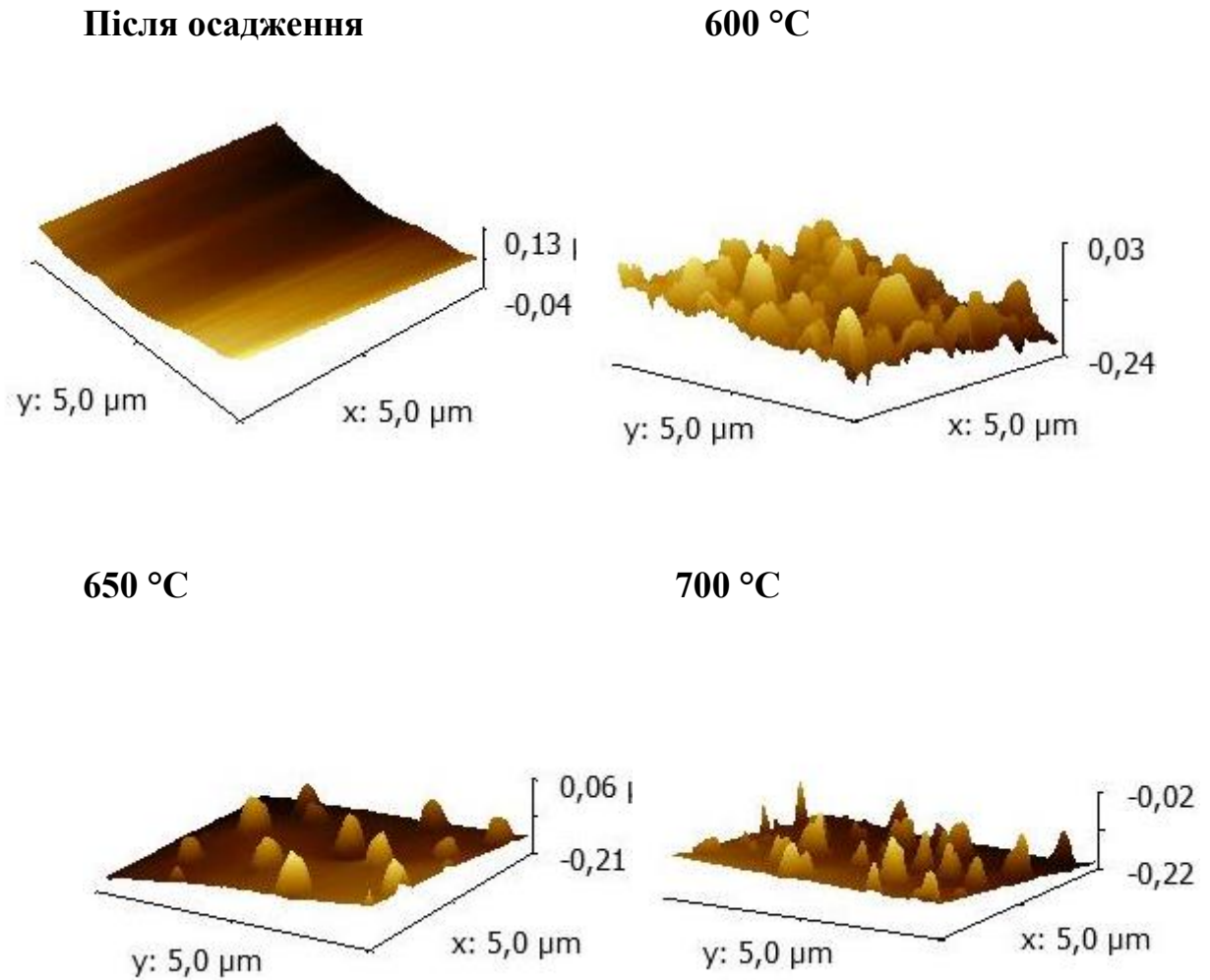


Рисунок 3.14 – Зображення поверхні плівок Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм)

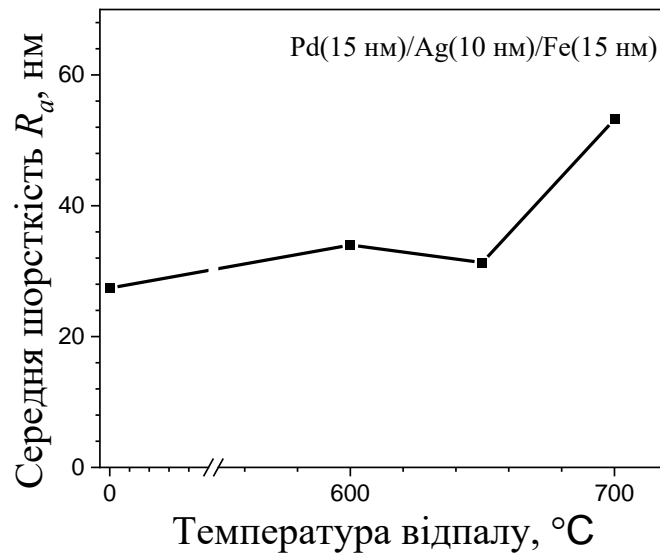


Рисунок 3.15 – Зміна середньої шорсткості поверхні плівок Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/ Fe(15 нм) з температурою відпалу

3.3 Висновки до розділу 3

1. Показано, що у шаруватих плівкових композиціях Pd(6 нм)/Ag(0,2; 0,4 нм)/Fe незалежно від товщини прошарку Ag під час термічної обробки в атмосфері водню за температури 600 °C формується неупорядкована фаза $A1$ FePd з ГЦК структурою.
2. Встановлено, що у плівці Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) з верхнім шаром Pd після відпалу у водні за температури 600 °C починає формуватися магнітно- тверда впорядкована фаза $L1_0$ з коерцитивною силою 137 Е.
3. Встановлено, що після осадження плівка з верхнім шаром заліза Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) має в чотири рази більшу шорсткість поверхні, ніж композиція з верхнім шаром паладію Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм). Відпал у водні за 700 °C призводить до зменшення шорсткості плівки Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та до зростання шорсткості у плівці Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм).

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність

Розвиток комп'ютерних технологій зазвичай потребує розробки нових носіїв інформації, з більшою щільністю та стабільністю інформації. Запис на жорсткі магнітні диски є найбільш розповсюдженим методом зберігання цифрової інформації. Необхідно розробляти нові матеріали з високою енергією магнітно-кристалічної анізотропії. Плівки на основі сплаву FePd еквіатомного складу з впорядкованою структурою $L1_0$ добре зарекомендували себе в якості такого матеріалу.

Під час осадження за кімнатної температури плівки FePd мають у своїй структурі невпорядковану фазу $A1$ FePd, яка проявляє магнітно-м'які властивості та не може використовуватись в якості носія магнітного запису. Для отримання впорядкованої фази необхідно проводити наступну термічну обробку (відпал) або осаджувати на нагріту підкладку $\text{SiO}_2(100 \text{ нм})/\text{Si}(001)$.

4.2 Розрахунок собівартості роботи

Сума, необхідна для здійснення досліджень з розробки та аналізу властивостей тонкопліткових композицій, визначається наступними складовими витратами: витрати на оплату праці, відрахування на соціальні заходи, матеріальні витрати на дослідження, інші безпосередні витрати, а також інші загальні витрати.

4.2.1 Витрати на оплату праці

Зарплатня кожного працівника встановлюється на основі обчислень, що враховують трудомісткість роботи. Розрахунки проводяться згідно системи людина-день, щоденна заробітна плата формується як відношення

місячного окладу до календарного місяця (21-22 дня за п'ятиденним робочим тижнем). Фонд заробітної плати назначається через множення середньоденної заробітної плати для кожної категорії працівників на заплановану трудомісткість робіт. У таблицях 4.1 та 4.2 наведені розрахунки трудомісткості та фонду заробітної плати.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість виконання дипломної роботи

Етапи	Трудомісткість за виконавцями, люд.-дні Посади виконавців зазначайте повністю, а не скорочено			
	Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	науковий співробітник	Інженер-дослідник
1	2	3	4	5
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	1	2	–	2
2. Аналіз науково-технічних публікацій по темі дослідження	–	–	–	10
3. Обґрунтування мети та напрямів дослідження	–	2	–	2
4. Розробка методики проведення дослідження	–	–	–	3
5. Проведення дослідження	3	14	6	14

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
6. Обговорення результатів дослідження	2	4	2	4
Усього	6	22	8	35

Таблиця 4.2 – Фонд заробітної плати для виконавців дипломної роботи

Посада	Трудомісткість, люд.-дні	Місячний оклад, грн	Денна заробітна плата, грн	Сумарна заробітна плата, грн
Пров.н.с.	6	18799	886,75	5320,5
С.н.с.	22	17645	832,31	18310,82
Н.с.	8	14182	669	5352
Інженер	35	11653	549,7	19239,5
Всього	57	62279	2937,76	48222,82

Враховуючи трuдомісткість кожного з учасників та його заробітну плату, отримано фонд заробітної плати для наявних досліджень. Фонд заробітної плати (ФЗП) даної науково-дослідної роботи складає 48222,82 грн.

4.2.2 Відрахування до єдиного соціального внеску

Згідно чинного законодавства України, єдиний соціальний внесок (ЄСВ) становить 22 % від фонду заробітної плати:

$$ССВ = ФЗП \cdot 0,22 = 48222,82 \cdot 0,22 = 10609 \text{ грн} \quad (4.1)$$

4.2.3 Витрати на матеріали для досліджень

Під час досліджень було використано чотири нанорозмірні плівкові композиції: Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe у кількості 1 одиниці кожного типу. Повна сума витрачених коштів на матеріали та транспортно-заготівельні витрати складає 6000 грн.

4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання та приладдя

Оскільки термічна обробка відбувалася на вже придбаному обладнанні у вигляді муфельної печі марки Siemens-Plama Berlin-Lichtenberg, закуп приладдя не враховується у фінальній сумі вартості дослідження на закупку балону водню 40 л було витрачено 2000 грн.

4.2.5 Витрати на послуги сторонніх організацій

Виконання даної дипломної роботи не передбачає використання послуг сторонніх організацій, тому за даною статтею витрати відсутні.

4.2.6 Витрати на службові відрядження

Під час виконання дипломної роботи службові відрядження не передбачаються, тому за даною статтею витрати відсутні.

4.2.7 Енергоносії для проведення досліджень

Витрати на енергоносії розраховуються лише в тому випадку, якщо дослідження на цю тему пов'язані з плавленням, покриттям зразків або виробів, та потребують значних витрат енергії, особливо електроенергії. 47 В інших випадках витрати на енергоносії опосередковано й автоматично включаються до програмного бюджету суб'єкта через статтю «Накладні витрати».

4.2.8 Інші прямі невраховані витрати

У даній статті об'єднані всі витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідних робіт (НДР), які не враховані в попередніх статтях. Для оцінки інших безпосередніх витрат при проведенні робіт використовується рівень 10% від загальної суми витрат на виконання НДР.

$$I_{\text{в}} = (48222,82 + 10609 + 6000 + 2000) \cdot 0,1 = 6683,1 \text{ грн}$$

4.2.9 Накладні витрати

У цьому розділі враховуються різноманітні види витрат, пов'язаних з управлінням виконавчою організацією проекту. Ці витрати включають розробку та раціоналізацію, амортизацію основних активів, науково-технічну інформацію, забезпечення безпеки та умов праці, оплату банківських послуг, а також податки, збори та інші обов'язкові платежі. Можна розглянути підхід до розрахунку загальних накладних витрат, який передбачає встановлення відсоткового співвідношення витрат на прямі витрати на рівні 20%.

$$H_{\text{в}} = (48222,82 + 10609 + 6000 + 2000 + 6683,1) \cdot 0,2 = 14703 \text{ грн}$$

4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Для формування планової калькуляції вартості досліджень за даною темою використовуються розрахунки та нормативні дані (табл. 4.3)

Таблиця 4.3 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1. Витрати на оплату праці	48222,82	Відповідно до розрахунків
2. Єдиний соціальний внесок	10609	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3. Матеріали для проведення досліджень	8000	Відповідно до розрахунків
4. Енергоносії для проведення досліджень	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
5. Спецобладнання для наукових цілей	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6. Вартість послуг сторонніх організацій	–	За договором із сторонніми організаціями (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
7. Витрати на службові відрядження	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8. Інші невраховані прямі витрати по темі	6683,1	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9. Накладні витрати	14703	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10. Усього витрат по темі	86217,92	Сума попередніх статей

4.3 Науково-технічна ефективність НДР

Для оцінки цілеспрямованості проведення даної роботи потрібно провести розрахунок очікуваного економічного ефекту науково-дослідної роботи (НДР). Варто зазначити, що такий розрахунок можна здійснити тільки для НДР, які прямо спрямовані на створення нових матеріалів, розробку нових конструкцій та покращення якості продукції.

Для визначення річного економічного ефекту використовується бальна система оцінювання економічної ефективності з використанням таких показників:

- 1) Важливість розробки (K1);
- 2) Можливість використання результатів розробки (K2);
- 3) Теоретичне значення та рівень новизни (K3);
- 4) Складність дослідження (K4).

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі –1 бал;

б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;

в) результати розробки можуть бути використані декількома організаціями – 5 балів.

г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;

д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо – 6 балів;

д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;

б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;

в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;

г) робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;

д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$Б = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

В даному випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 4.4 становить:

$$Б = 7 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 5 = 2240$$

Таблиця 4.4 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	7
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	8
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	8
4. Складність дослідження	K_4	Робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень	5

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}},$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 1.4);

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot 2240 - 0,2 \cdot 86217,92 = 1182756,42 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}}{V_{\text{НДР}}}.$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{1182756,42}{86217,92} = 13,718$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 13,718 (більше одиниці), що свідчить про доцільність її виконання.

4.4 Висновки до розділу 4

1. В даному розділі була визначена планова кошторисна дипломної роботи, яка складає 85658 грн.

2. Економічний аналіз проведеного дослідження в ході виконання дипломної роботи показує, що це дослідження є економічно доцільним.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою цього розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, тобто умов, що можуть привести до захворювання та травмування в процесі отримання та дослідження структурних і магнітних властивостей у нанорозмірних плівках шаруватих плівках Fe/Ag/Pd та Pd/Ag/Fe, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку у надзвичайних ситуаціях. Тонкоплівкові зразки отримані магнетронним методом осадження з використанням мішеней з металів Fe та Pd високої чистоти (99,99 %) у пристрої B55. Відпал у водні проводився в муфельній печі марки Siemens-Plama Berlin-Lichtenberg, відпал у вакуумі проводився на установці ВУП-5М.

Аналізуючи умови праці при виконанні цієї ДР, потрібно розглянути такі чинники: мікроклімат; склад повітря робочої зони; шум; вібрації; електрична та пожежна безпека.

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виконанні ДР

Науково-дослідницька робота виконувалась на кафедрі фізичного матеріалознавства НН ІМЗ КПІ ім. Ігоря Сікорського в лабораторіях №028 корпусу №9 та електронографії №403, корпусу №19. Схематичне зображення лабораторії №403, а також розташування всіх її елементів представлено на рис. 5.1. Було проведено вимірювання приміщення лабораторії №403 де в основному відбувалося дослідження:

- розміри лабораторії: ширина – 6 м, довжина – 8 м, висота – 3,8 м.
- розміри вікон: ширина – 2,7 м, висота – 2,5 м.

Лабораторія, в якій працює п'ять чоловік має площу – 48 м², об'єм – 182,4 м³. Площа, яка приходить на одну людину – 9,6 м², об'єм – 36,48 м³.

Приміщення, в якому виконувалася НДР, має наступні установки:

1 – електронограф ЕМР – 100; 2 – електронний мікроскоп ЕМВ – 100Л; 3 – вакуумний універсальний пост ВУП–5М; 4 – вакуумний універсальний пост ВУП–5М; 5 – шафа для інструментів; 6 – книжкова шафа; 7 – стіл письмовий; 8 – комп'ютер; 9 – комп'ютер.

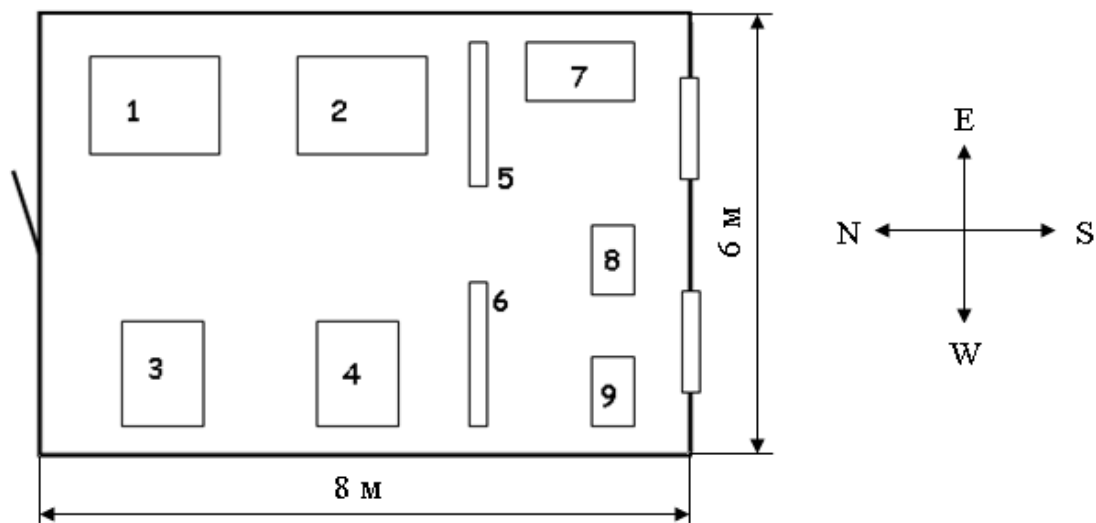


Рисунок 5.1 – Схема лабораторії в якій виконувалася НДР

Таким чином, площа та об'єм лабораторії, згідно з ДСанПІН 3.32-007-98, де на одну людину повинно приходиться не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, відповідають нормам [37].

5.1.1 Дослідження мікроклімату в робочій зоні приміщення

Дуже важливою складовою для нормальної та комфортної працездатності людини – чисте повітря з оптимальною температурою, необхідною вологістю та швидкістю повітря.

Для забезпечення оптимального мікроклімату «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальні і допустимі температури, відносну вологість та швидкість руху

повітря в робочій зоні в залежності від пори року та категорії важкості робіт [38-45].

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 проведене дослідження відповідає категорії I б. Дана категорія передбачає легкі фізичні роботи до 150 ккал/год, які виконуються сидячи або стоячи та можуть супроводжуватись незначною фізичною напругою, а також роботи пов'язані з ходьбою. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні лабораторії № 403-19 показали, що при водяному опаленні в холодному періоді року температура становить приблизно 21 °С, фактична швидкість руху повітря – 0,1 м/с та відносна вологість – 70 %. В теплий період року при природньому повітря-обміну фактична температура становить 22 °С, швидкість руху повітря – 0,2 м/с та відносна вологість – 55 % (допустима – 60 % при 27 °С).

У таблиці 5.1 наведено параметри мікроклімату приміщення лабораторії, де проводилася дана науково-дослідна робота.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату приміщення лабораторії термічної обробки [45]

Категорія робіт середньої важкості, Па			
Період року	Температура, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	18 - 20	40 - 60	0,2
Вимірне значення	18	60	0,2
Теплий	21 - 23	40 - 60	0,3
Вимірне значення	23	50	0,2
Висновок щодо відповідності вимогам	Відповідає вимогам	Відповідає вимогам	Відповідає вимогам

Виконання науково-дослідної роботи, що проводилася у приміщенні лабораторії термічної обробки, відповідає категорії Па згідно класифікації. Ця категорія включає роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих предметів або виробів вагою до 1 кг в положенні сидячи або стоячи, що потребують незначного рівня фізичного навантаження. За таких фізичних навантажень енерговитрати організму людини становлять від 160 ккал/год до 210 ккал/год [38-45].

За результатами мікрокліматичного аналізу можна зробити висновки, що приміщення лабораторії термічної обробки, в якому проводилася науково-дослідна робота, відповідає вимогам, встановленим у ДСН 3.3.6.042-99 [37], та створює комфортні мікрокліматичні умови для виконання цієї роботи.

5.1.2 Небезпечні чинники при роботі з установкою ВУП-5М

Універсальна вакуумна установка ВУП-5М є спеціалізованим обладнанням, яке вимагає вміння працювати з вакуумною технікою, дотримання правил роботи з вакуумним обладнанням та знання техніки безпеки. Панель керування установкою надає інформацію про рівень води в системі охолодження, температуру у камері, герметичність вакуумної камери та інші показники.

Установка ВУП-5М живиться від 380-вольтової мережі, тому пошкодження живильних кабелів та електрообладнання всередині установки може створити ризик ураження електричним струмом. Щоб забезпечити безпеку стосовно електрики, установка підключена до заземлювального проводу. Підключення живлення установки до електричної мережі здійснюється за допомогою автоматичних вимикачів.

Деякі компоненти установки, такі як нагрівальний стілець та дифузійний вакуумний насос, під час роботи нагріваються до температур наближено 500 °С, що може представляти ризик опіків. Охолодження

нагрітих компонентів установки здійснюється за допомогою системи холодного водопостачання. У разі пошкодження системи охолодження або відключення подачі води, установка ВУП-5М автоматично припиняє свою роботу, щоб запобігти нагріву елементів, які зазначені раніше.

Для відведення повітря з вакуумної камери установки ВУП-5М використовується гнучкий гумовий шланг, який приєднаний до вихідного патрубка механічного форвакуумного насосу та виведений на вулицю, з метою уникнення потрапляння потенційно шкідливих випарів та інертних газів усередину лабораторії.

Правильне використання установки ВУП-5М є важливим для її надійної роботи та зниження ризику виникнення небезпечних ситуацій. Початок роботи з установкою та її вимкнення вимагають точного дотримання встановленої послідовності дій:

- зовнішній огляд установки на наявність пошкоджень обладнання;
- ввімкнення системи подачі води;
- ввімкнення живлення установки та її запуск;
- ввімкнення форвакуумного механічного насосу;
- ввімкнення дифузійного вакуумного насосу;
- відкачування повітря з вакуумної камери та створення вакууму.

Вимкнення відбувається в такій послідовності:

- вимкнення живлення нагрівальних елементів предметного столика у вакуумній камері;
- вимкнення дифузійного вакуумного насосу за температури зразка 100 °С;
- вимкнення форвакуумного механічного насосу після охолодження дифузійного вакуумного насосу до температури 60 °С;
- вимкнення установки;
- вимкнення електроживлення установки;
- відключення подачі води.

Після вимкнення установки вакуумної камери передбачається підтримка низького рівня вакууму, що заважає взаємодії обладнання всередині камери з киснем повітря.

5.1.3 Виявлення і аналіз наявності шуму та вібрації

Шум – це сукупність звуків різноманітної частоти та інтенсивності, що виникають в результаті ковалентного руху частинок у пружному середовищі. Науково-дослідницька робота виконувалась на установці ВУП–5М, під час роботи якої спостерігається деякий шум.

Під дією шуму відбувається зниження слухової чутливості, а отже й суттєве зниження продуктивності на робочому місці. Дуже ефективний спосіб боротьби з шумом – це зниження його в джерелі створення:

- заміна шумних технологічних процесів або обладнання малошумними;
- звуковбирання та звукоізоляція;
- екранування;
- оснащення шумних машин засобами дистанційного та автоматичного управління;
- застосування засобів індивідуального захисту.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСТУ 2867-94. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів ДСН 3.3.6.037-99.

Вібрація – це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Для людини вібрація є видом механічного впливу, який має негативні наслідки для організму [41-43].

До джерел технологічної вібрації відносяться:

- верстати та метало-деревобробне;
- електричні машини;

- стаціонарні електричні установки;
- насосні агрегати та вентилятори та ін..

Вібрація має механічний вплив на організм людини та може бути причиною порушення його функціонування. Джерелом вібрацій під час виконання НДР є вакуумний пост ВУП-5М.

Для зменшення впливу вібрацій на працівника та інше обладнання використовують методи віброгасіння. На вібруючі пристрої встановлюється динамічне навантаження, а самі пристрої розташовуються на окремий віброізолюваний фундамет. Джерела коливань ізолювані від опорних конструкцій гумовими прокладками, пружинами або іншими віброізоляторами.

5.1.4 Аналіз освітленості приміщення

У залежності від джерела світла освітлення може бути:

- природним (розсіяні на небосхилі або прямі сонячні промені);
- штучним (освітлення електричними пристроями);
- суміщеним (недостатня кількість природного освітлення компенсується штучним).

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно або двобічне), що здійснюється через світлові отвори в зовнішніх стінах приміщення; верхнє, що здійснюється через отвори в стелях та дахах; комбіноване – поєднання бокового та верхнього освітлення.

Штучне освітлення поділяється на загальне, місцеве та комбіноване. Загальне освітлення реалізується встановленням світильників у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над рівнем підлоги). Місцеве освітлення створюється світильниками, світловий потік яких сконцентровано безпосередньо на робочу поверхню. Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Використовувати лише місцеве освітлення у виробничих приміщеннях заборонено [45].

У приміщенні лабораторії № 403 реалізована схема суміщеного освітлення. В світлий час доби приміщення освітлюється природнім освітленням з вікон. При цьому, нестача, за умовами зорової роботи, природного освітлення може бути компенсована штучним, яке задовольняє норми ДБН В.2.5-28 2006 [39, 45]. Загального освітлення забезпечується люмінесцентними лампами ЛБ-40 (24 одиниці), що розташовані на стелі приміщення, для місцевого – лампи розжарювання.

Нестача, надмірність або неоднорідність освітлення в полі зору втомлює очі, що є причиною зниження продуктивності праці. Це може бути джерелом потенційної небезпеки виконання помилкових дій та нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може викликати розлад гостроти зору та головний біль, відблиски від поверхонь можуть спричинити тимчасове засліплення [42].

5.1.5 Електробезпека

Відповідно до діючих правил побудови електричних пристроїв ПУЕ - 2017 приміщення лабораторії за небезпекою електротравм відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки [45]. Це сухі приміщення з оптимальною температурою повітря та струмонепровідною підлогою. Електричні пристрої, використані для виконання даної науково-дослідної роботи живляться напругою 220 В (вакуумний універсальний пост ВУП-5М) та 380 В (електронограф ЕМР – 100) з частотою 50 Гц.

Причинами ураження електричним струмом є :

- пошкодження ізоляції (наприклад, розплавлений метал) та, як наслідок, доступність до струмоведучих частин обладнання;
- поява напруги на відключених струмоведучих частинах внаслідок помилкового включення установки;
- невиконання або неправильне виконання вимог техніки електробезпеки, неуважність при роботі.

Дія електричного струму на організм людини може мати небезпечні для здоров'я людини наслідки та призвести до смерті. При проходженні через тіло людини струм здійснює:

- термічний (опіки, пошкодження судин) вплив;
- електролітичний (розкладення органічних сполук) вплив;
- біологічний вплив.

Напруга доторкання і токи, які протікають через тіло людини при нормальному (неаварійному) режимі електроустановки, для струму з частотою 50 Гц не повинні перевищувати значення: $U_{\text{дот}} = 2,0 \text{ В}$ та $I = 0,3 \text{ мА}$.

У лабораторії захисне заземлення електроустаткування і приладів проведено правильно. Причиною можливого ураження електричним струмом можуть стати пробій на корпусі установки або пошкодження кабелів ізоляції.

5.1.6 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.07.005-86 лабораторія за пожежною безпекою належить до категорії В, тому що в ній знаходяться тверді та важкогорючі матеріали та вона не належить до категорій А,Б [43-45].

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- електроустановки та їхня проводка;
- паркет та штори;
- шафи та паперові документи, що знаходяться в них.

Виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причинами:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електроустаткування;
- необережне звертання з вогнем;
- ремонт устаткування на ходу;
- неправильне користування устаткуванням.

Наприклад, якщо пожежа розпочнеться, то в лабораторії є водопровід, вогнегасник вуглекислотноброметиловий ОУБ-3, а на сходових клітках і в

коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1). Також в корпусі, на кожному поверсі є план евакуації (рис.5.2).

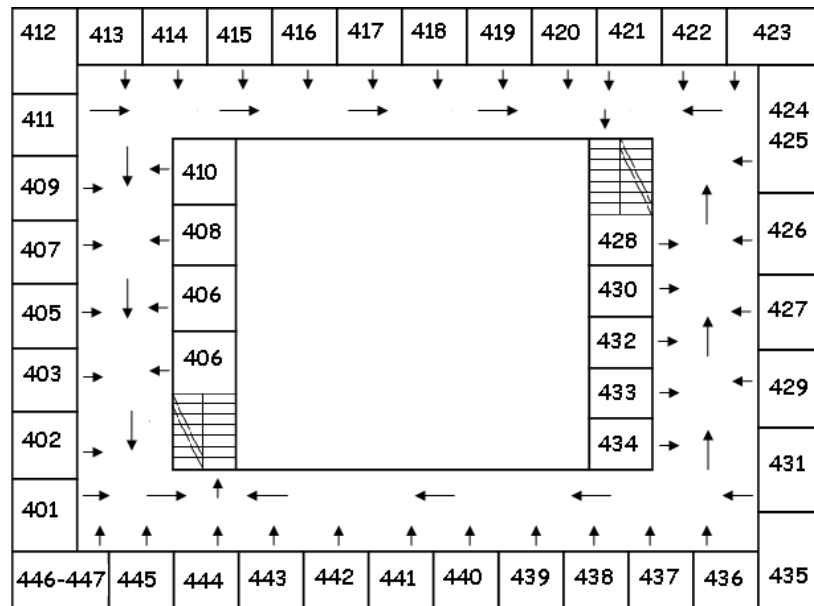


Рисунок 5.2 – План евакуації під час пожежі

5.1.7 Алгоритм дії у випадку повітряної тривоги

Згідно з наказом № НУ/129/2022 від 04.08.2022, сигнал "Повітряна тривога" поширюється через систему оповіщення, яка включає централізовану мережу сирен, регіональне радіо та телебачення. Сигнал, який триває від трьох до п'яти хвилин, призначений для попередження про можливість ракетних або авіаційних ударів від противника. Він також надає рекомендацію негайно піти до найближчого укриття. Також існують способи отримання сигналу цивільного захисту "Повітряна тривога" та "Відбій повітряної тривоги" на телефоні. Для цього необхідно встановити додаток "Повітряна тривога" або "Київ цифровий" з магазину Google Play або AppStore.

Дії працівників на робочому місці під час "Повітряної тривоги" [37]:

а) За початком сигналу "Повітряна тривога":

1) Працівники повинні виконати розпорядження керівництва і перейти до найближчого укриття або захисної споруди;

2) Якщо немає можливості негайно пересунути до укриття, працівники повинні вибрати найбільш захищене місце в приміщенні, подалі від вікон та зовнішніх стін;

3) Працівники повинні утримуватися від виходу на вулицю під час тривання "Повітряної тривоги".

б) Укриття або захисна споруда:

1) Працівники повинні швидко та організовано пересунути до укриття або захисної споруди;

2) В укритті необхідно дотримуватися вказівок та інструкцій цивільного захисту, наданих співробітниками керівництва або відповідними органами.

в) Після закінчення сигналу "Повітряна тривога":

1) Працівники можуть повернутися на робочі місця або відповідно до додаткових вказівок керівництва або органів цивільного захисту;

2) Завдання щодо цивільного захисту повинні бути виконані відповідно до інструкцій та вимог.

Тобто, у разі отримання сигналу "Повітряна тривога", працівники мають негайно діяти, слідувати вказівкам керівництва і піти до найближчих укриттів або захисних споруд. Дотримання інструкцій та вказівок з безпеки є важливим для забезпечення особистої безпеки і зменшення ризиків під час надзвичайних ситуацій.

5.2 Висновок до розділу 5

Було проведено аналіз параметрів робочого приміщення, а саме:

мікроклімату, складу повітря робочої зони, шуму, вібрації, електричної та пожежної безпеки. Все зафіксоване знаходиться в межах допустимих норм.

Встановлено, що при дотриманні встановлених санітарних норм в технологічних приміщеннях проведення ДР не порушує правил та заходів щодо охорони праці.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що у шаруватих плівкових композиціях Pd(6 нм)/Ag(0,2; 0,4 нм)/Fe незалежно від товщини прошарку Ag під час термічної обробки в атмосфері водню за температури 600 °C формується неупорядкована фаза A1 FePd з ГЦК структурою. Встановлено, що зміна товщини прошарку срібла з 0,2 нм до 0,4 нм призводить до інтенсифікації процесів взаємної дифузії поміж шарами.
2. Встановлено, що у плівці Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) з верхнім шаром Pd після відпалу у водні за температури 600 °C починає формуватися магнітно- тверда впорядкована фаза $L1_0$ з коерцитивною силою 137 Е. Визначено, що плівки більшої товщини Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм) після відпалу за температури 650 °C залишається магнітно-м'якими і мають майже однакову намагніченість насичення.
3. Встановлено, що після осадження плівка з верхнім шаром заліза Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) має в чотири рази більшу шорсткість поверхні, ніж композиція з верхнім шаром паладію Pd(15 нм)/Ag(10 нм)/Fe(15 нм). Відпал у водні за 700 °C призводить до зменшення шорсткості плівки Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм) та до зростання шорсткості у плівці Fe(15 нм)/Ag(10 нм)/Pd(15 нм).
4. Показано, що це дослідження за темою дипломної роботи є економічно доцільним.
5. Встановлено, що умови мікроклімату, рівень шуму, вібрацій, освітлення а також організація робочого місця в лабораторії відповідають вимогам діючих санітарних норм.

CONCLUSIONS

1. It is shown, that in layered Pd(6 nm)/Ag(0.2; 0.4 nm)/Fe(4.6 nm) film compositions, regardless of the thickness of the Ag layer, during heat treatment in a hydrogen atmosphere at a temperature of 600 °C, a disordered A1 FePd phase is formed with fcc structure. It was established that the change in the thickness of the silver layer from 0.2 nm to 0.4 nm leads to the intensification of the mutual diffusion processes between the layers.
2. It was established that in a Pd(15 nm)/Ag(10 nm)/Fe(15 nm) film with a top Pd layer, after annealing in hydrogen at a temperature of 600 °C, a hard magnetic ordered $L1_0$ phase begins to form with a coercivity value of 137 Oe. It was determined that films of greater thickness Fe(15 nm)/Ag(10 nm)/Pd(15 nm) and Pd(15 nm)/Ag(10 nm)/Fe(15 nm) after annealing according to temperatures of 650 °C remain soft magnetic and have almost the same value of saturation magnetization.
3. It was found that after deposition, the film with the top iron layer Fe(15 nm)/Ag(10 nm)/Pd(15 nm) has a four times greater surface roughness than the composition with the top palladium layer of Pd(15 nm)/Ag(10 nm)/Fe(15 nm). Annealing in hydrogen at 700 °C leads to a decrease in the roughness of the Fe(15 nm)/Ag(10 nm)/Pd(15 nm) film and to an increase in the roughness of the Fe(15 nm)/Ag(10 nm)/Pd(15 nm) film.
4. It is shown that this research on the topic of the thesis is economically feasible.
5. It was established that the conditions of the microclimate, the level of noise, vibrations, lighting, as well as the organization of the workplace in the laboratory meet the requirements of current sanitary standards.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bertotti G. Hysteresis in Magnetism / G. Bertotti // Academic Press, San Diego. – 1998. – P. 557.
2. Jeong S. Magnetic Properties of Nanostructured CoPt and FePt Thin Films / S. Jeong, Y.-N. Hsu, D. E. Laughlin // IEEE Transactions on Magnetics. – 2000. – Vol. 36, No. 5. – P. 2336–2338.
3. Schoenherr S. The History of Magnetic Recording / S. Schoenherr // Audio Engineering Society. – 2002.
4. Електронний ресурс – Режим доступу: [DSHR's Blog: Dr. Pangloss loves technology roadmaps](#)
5. Електронний ресурс – Режим доступу: [Magic of Magnetism \(northeastern.edu\)](#)
6. ДСТУ 2813-94 Носії магнітного запису. Терміни та визначення.
7. Магнітний домен [Електронний доступ] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнітний_домен
8. Weller D, Parker G, Mosendz O, Lyberatos A, Mitin D, Safonova NY, Albrecht M (2016) Review Article: FePt heat assisted magnetic recording medi /J. Vac. Sci. Technol. B, Nanotechnol Microelectron Mater Process Meas Phenom 34:060801 . <https://doi.org/10.1116/1.4965980>
9. Бех І.І. Фізичні основи комп'ютерної електроніки/ І.І. Бех, С.М. Левицький – 2010. – С.203-210.
10. Synthetic ferrimagnetic media for over 100 Gb/in² longitudinal magnetic recording // Journal of magnetism and magnetic materials / B.R. Acharya, A. Inomata, E.N. Abarra, et al. // Journal of magnetism and magnetic materials. – 2003. – Vol. 260, No. 1 – P. 261–272.
11. Wood R. Perpendicular Magnetic Recording Technology / R. Wood, Y. Hsu, M. Schultz // Hitachi Global Storage Technologies, Technical Library, White Paper. – 2007.

12. Weller D. Extremely high-density longitudinal magnetic recording media / D. Weller, M.F. Doerner // Annual review of materials science. – 2000. – No. 30. – P. 611–644.
13. Казаков В.Г. Тонкие магнитные пленки. Сор. обр. журн. 1997. №1. С.107-104.
14. Магнитные материалы и элементы / Преображенский М.В., Бишард В.Г. М.: Металлургия, 1986. 481с.
15. Електронний ресурс – Режим доступу: [Лекція-7.-Застосування-сучасних-неорганічних-наноматеріалів.pdf \(pnu.edu.ua\)](#)
16. Електронний ресурс – Режим доступу: [Storage Media: Long Past Herman Hollerith | Ball in your Court \(craigball.net\)](#)
17. Електронний ресурс – Режим доступу: [PPT - Atomic Ordering in Alloys David E. Laughlin ALCOA Professor of Physical Metallurgy PowerPoint Presentation - ID:4097000 \(slideserve.com\)](#)
18. Bokoch S.M. Interatomic Interactions in F.C.C.-Ni-Fe Alloys / S.M. Bokoch, V.A. Tatarenko // Успехи физ. мет. – 2010. – Т. 11. – С. 413 – 460.
19. Crystallographic aspects of $L1_0$ magnetic materials / D.E. Laughlin, K. Srinivasan, M. Tanase [et al.] // Scripta Mater. – 2005. – V. 53. – P. 383 – 388.
20. T. Kamiki and S. Nagawa “Fabrication of FePt Ordered Alloy Films by Annealing in Hydrogen Atmosphere” // Journal of the Magnetism Society of Japan Vol. 28 (2004) No. 3 P 330-334
21. Шаміс М.Н. Формування фазового складу і магнетні властивості у надтонких плівках FePd–Au під час відпалів у вакуумі та водні / М.Н. Шаміс, П.В. Макушко, І.Д. Бесєдін, Я.О. Березняк, К.О. Грайворонська, Т.І. Вербицька, Ю.М. Макогон // Металофізика і новітні технології. – 2021. – Т.43. – №4. – С. 505-517.
22. Shamis M.N. $L1_0$ phase formation in FePd thin films induced by H_2 during annealing / M. N. Shamis, N. Y. Schmidt, T. I. Verbytska, P. V. Makushko, G. Beddies, M. Albrecht & Yu. N. Makogon // Applied Nanoscience. 12, №4.

- pages 1227–1233.– 2022. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01809-4>
23. Atomic ordering and magnetism in $L1_0$ ordered FePd alloys / C. Issro, M. Abes, W. Puschl [et al.] // Metall. Mater. Trans. A. – 2006. – V. 37A. – P. 3415 – 3422.
 24. Chang P-C, Chuang T-H, Wei D-H, Lin W-C Thermally modulated hydrogenation in Fe_xPd_{1-x} alloy films: Temperature-driven peculiar variation of magnetism / Appl. Phys. Lett.- 2020.- V.116.- P. 102407 .
<https://doi.org/10.1063/1.5142625>
 25. Праттон М. Тонкие ферромагнитные пленки /Под ред. О.Е. Брянской, Н.Н. Калинина. Л.: Судостроение, 1967.
 26. Стабильность и процессы релаксации в металлических стеклах / И. В.Золотухин, Ю. В. Бармин. – М.: Металлургия, 1991. – 156с.
 27. Gangoopadhyay S., Hadjipanayi G. C., Datr B. Ordering of $L1_0$ FePt phase in FePt thin film // Nanostruct. Mat. - 1992. – N.1. – P.77-78
 28. Магнитные материалы и элементы / Преображенский М. В., Бишард В. Г. – М.:Металлургия, 1986. – 481с.
 29. Gawior W., Kolano R., Wolcik N. Magnetic material // Mat. Sci. and Eng. – 1991. – N.133. – P.172-175.
 30. Золотухин И. В. Нанокристаллические металлические материалы // Физика. – 1998. – С.103-106.
 31. M.H.Kryder, Ch. S. Kim. After Hard Drives—What Comes Next? // IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. Vol. 45.- NO. 10.- 2009
 32. Петухов В.Ю. Ионно-лучевые методы получения тонких пленок / В. Ю. Петухов, Г. Г. Гумаров // Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. Издание 2-е, исправленное и дополненное. – 2010. – 87 с.
 33. Горелик С.С. Рентгеноструктурный и электроннооптический анализ / С.С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков // М.: Металлургия. – 1970. – 366 с.

34. Русаков А. А. Рентгенография металлов. Учебник для вузов / А. А. Русаков / М.: Атомиздат. – 1977. – 480 с.
35. SQUID VSM User's Manual, Part Number 1500-100, C0 Seventh edition of manual. – January 2009.
36. Горячко А.М. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Частина 2): Навчальний посібник / за ред. С.П. Кулика та О.В. Прокопенка. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2012. – 170 с.
37. Охорона праці [Електронний доступ] Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Охорона_праці
38. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. // За ред. О.Г. Левченка. К.: Основа, 2019. – 472 с
39. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації / Є.П. Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний // За ред. Є.П. Желібо . – Київ: «Каравела»; 2001. – 320 с.
40. Закон України «Про охорону праці» Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668
41. ДСан Пін 3.32 -007 – 98 – Будівельні норми і правила
42. ДБН В.2.5.28-2006. Природне та штучне освітлення.
43. ДБН В2.5-13-98. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд
44. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с
45. 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.