

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізики металів

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ С.В. Іващенко

« ____ » _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра зі
спеціальності 132 Матеріалознавство

на тему: «Формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePd у нанорозмірних
плівках FePd-W та FePd-Au»

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-81мп

Баранчук Максим Ігорович _____

Керівник:

Професор КФМ, д.т.н.

Макогон Ю. М. _____

Консультант з розроблення стартап-проекту:

Доцент, к.е.н.

Петренко К.В. _____

Консультант з охорони праці та безпеки в

надзвичайних ситуаціях:

Професор, д.т.н.

Левченко О.Г. _____

Консультант з нормоконтролю:

Асистент

Шаповалова Н.А. _____

Рецензент:

Професор кафедри фізико-хімічних

основ технології металів ІФФ, д.т.н.,

професор К.В.Михаленков _____

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

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство («Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Баранчуку Максиму Ігоровичу

1. Тема дисертації «Формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePd у нанорозмірних плівках FePd-W та FePd-Au», науковий керівник дисертації Макогон Юрій Миколайович, професор, д.т.н., затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3890-с
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: плівкові композиції FePd/Me (Me = W та Au)
4. Вихідні дані: літературні дані та результати особистих експериментів
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: а. Проаналізувати літературні джерела щодо проблематики магнітного запису та встановити доцільність промислового використання нанорозмірних плівкових композицій на основі сплаву FePd в якості магнітних носіїв інформації; б. Визначити закономірності фазоутворення в композиціях FePd-W та FePd-Au при зміні умов термічної обробки (температура, тривалість) у вакуумі; в. Проаналізувати результати і зробити висновки по даному дослідженню.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки, таблиці.
7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартаппроекту	Петренко К.В, доцент		
Охорона праці за безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., професор		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання		
2	Проведення та написання літературного огляду		
3	Освоєння методик дослідження		
4	Виконання експериментальних досліджень		
5	Отримання результатів		
6	Написання висновків		
7	Оформлення роботи		
8	Оформлення презентації та написання доповіді		
9	Попередній захист		
10	Захист на засіданні ЕК		

Студент

Баранчук М.І.

Науковий керівник дисертації

Макогон Ю.М.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 79 сторінок, 26 рисунків, 14 таблиць, 50 літературних джерел.

ПЛІВКОВІ КОМПОЗИЦІЇ, ФАЗОВИЙ СКЛАД, СТРУКТУРА, ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, FePd, Au, W.

Об'єкт досліджень – процеси структурно-фазових перетворень в нанорозмірних плівкових композиціях FePd/W та FePd/Au.

Метою роботи є дослідження закономірностей формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePd в нанорозмірних плівкових композиціях FePd-W та FePd-Au при відпалах.

Методи дослідження – рентгеноструктурний фазовий аналіз, чотиризондовий метод вимірювання електричного опору, SQUID магнітометрія, резерфордівське зворотнє розсіювання.

Досліджувані плівкові композиції отримано методом магнетронного осадження на підкладки термічно окисненого монокристалічного Si(001) і піддано наступній низькотемпературній термічній обробці у вакуумі за різних температурних та тривалісних діапазонів. Плівкові матеріали після термічної обробки досліджено методами рентгеноструктурного фазового аналізу, чотиризондового методу вимірювання електричного опору, SQUID магнітометрії, резерфордівського зворотнього розсіювання.

Актуальність роботи забезпечується тим, що тонкоплівкові матеріали на основі еквіатомного сплаву FePd з впорядкованою $L1_0$ структурою є перспективними для використання в якості високощільного носія магнітного запису наступного покоління, завдяки їх високим значенням магнітної анізотропії, коерцитивної сили та намагніченості насичення, чому може сприяти введення підшарів Au та W.

ABSTRACT

Master thesis: 79 pages, 26 figures, 14 tables, 50 references.

FILM COMPOSITIONS, PHASE COMPOSITION, STRUCTURE, PHASE TRANSFORMATIONS, FePt, Au, W

The object of research – structural-phase transformation processes in nanoscale FePd/W and FePd/Au film compositions.

The purpose of research: study the regularities of formation of the ordered phase $L1_0$ -FePd in nanosized FePd W and FePd-Au film compositions during annealing.

Research methods: X-ray phase analysis, four-probe method of electrical resistance measurement, SQUID magnetometry, Rutherford backscatter.

The investigated film compositions were obtained by Magnetron deposition on the substrates of thermally oxidized single Si (001) crystalline and subjected to subsequent low-temperature thermal treatment in vacuum at different temperature and duration ranges. After thermal treatment, the film materials were investigated by X-ray phase analysis, four-probe method of electrical resistance measurement, SQUID magnetometry, Rutherford backscatter.

The urgency of the work is ensured by the fact that thin-film materials based on an FePd equi-atomic alloy with a $L1_0$ ordered structure are perspective for use as a next-generation high-density magnetic recording material, due to high magnetic anisotropy, coercive force and saturation magnetization values of Au and W layers.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Розвиток індустрії магнітного запису.....	12
1.2 Технології магнітного запису.....	13
1.2.1 Паралельний магнітний запис.....	15
1.2.2 Перпендикулярний магнітний запис	16
1.2.3 Технологія термічно активованого магнітного запису (HAMR).....	17
1.3 Гігантський магнітний опір (ГМО).....	18
1.3.1 Історія відкриття ГМО	19
1.3.2 Реалізація ГМО у жорстких дисках.....	20
1.3.3 Магнітна оперативна пам'ять з використанням ГМО.....	21
1.4 Використання нанорозмірних плівок на основі сплаву FePd як перспективного матеріалу для надщільного магнітного запису	22
1.5 Характеристика фазових перетворень у досліджуваних системах в масивному стані	23
1.5.1 Діаграма фазового стану системи Fe-Pd.....	23
1.5.2 Діаграма фазового стану системи Fe-Au.....	25
1.5.3 Діаграма фазового стану системи Au-Pd.....	26
1.6 Висновки до розділу 1:.....	26
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	28
2.1 Матеріали дослідження.....	28
2.2 Магнетронний метод одержання тонких плівок	28
2.3 Методи дослідження.....	30
2.3.1 Рентгеноструктурний фазовий аналіз	30
2.3.2 Чотирьохзондовий метод вимірювання питомого опору тонких пластин або шарів на підкладці довільної форми	33
2.3.3 SQUID магнітометрія	34
2.3.4 Резерфордівське зворотне розсіювання.....	36

	7
2.4 Висновки до розділу 2	39
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	40
3.1 Термічна обробка.....	40
3.2 Результати рентгеноструктурного аналізу фазового аналізу плівкової композиції FePt після термічної обробки.....	40
3.3 Вплив додавання підшару W на процеси фазоутворення та магнітні властивості в тонких плівках FePd/W.....	43
3.4. Вплив атмосфери відпалу у вакуумі на формування фазового складу і структури нанорозмірних плівкових композицій FePd(5 нм) і FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм)	44
3.5. Аналіз хімічного складу та товщини шарів плівкових систем Fe ₅₀ Pd ₅₀ /Au(0,3 нм)/SiO ₂ (100 нм)/Si(001) після осадження та відпалів методом резерфордівського зворотного розсіювання	47
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	52
4.1 Опис ідеї проекту.....	52
4.2 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	52
4.2.1 Визначення заробітної плати персоналу	53
4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску	55
4.2.3 Визначення вартості матеріалів.....	55
4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання	55
4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій	56
4.2.6 Витрати на службові відрядження.....	56
4.2.7 Інші прями неврахована витрати.....	56
4.2.8 Накладні витрати.....	56
4.3.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми	56
4.3 Висновки до розділу 4	64
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	65
5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні.....	65
5.2 Аналіз освітлення приміщення лабораторії.....	67
5.3 Виробничі випромінювання	68

	8
5.3.1 Випромінювання від рентгенівського дифрактометра	68
5.3.2 Випромінювання від ЕОМ	69
5.4 Виявлення і аналіз наявності шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку.....	70
5.5 Електричний струм	71
5.6 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям.....	72
5.6.1 Пожежна безпека.....	72
5.6.2 Безпека в аварійних ситуаціях	74
5.7 Висновки до розділу 5	74
ВИСНОВКИ.....	75
CONCLUSIONS	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	77

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ

PMR – перпендикулярний магнітний запис;

LMR – поздовжній магнітний запис (LMR);

HDD – жорсткий диск;

ГМО – гігантський магнітний опір;

HAMR – технологія термічно активованого магнітного запису;

ЕРС – електрорушійна сила.

ВСТУП

Сучасний світ майже неможливо уявити без комп'ютерних технологій. З розвитком науки та техніки зростають і потреби людства в інформаційно цифровій сфері, що в свою чергу висуває все більші вимоги до новітніх пристроїв.

Наряді з обчислювальною потужністю у вигляді обробки даних за деякий проміжок часу зростає необхідність у збільшенні щільності її запису. Швидкий розвиток технології магнітного запису дозволяє записувати більші об'єми інформації в меншу кількість матеріалу та забезпечує тривалу стабільність записаної інформації.

Для збільшення щільності магнітного запису необхідне вдосконалення існуючих та створення нових матеріалів для магнітного запису. Ці матеріали повинні володіти високою термічною та часовою стабільністю зберігання даних при досить великій щільності запису та можливості швидкого доступу до інформації. Таким чином, дослідження матеріалів, що могли б задовольнити цім вимогам, є актуальною задачею сучасного тонкоплівкового матеріалознавства.

Матеріалами жорстких сучасних дисків є магнітні матеріали на основі феромагнітних сплавів. З них утворюють різноманітні плівкові композиції, в основі яких лежать Fe, Ni, Co і т. д. Основними задачами дослідження фазового складу та структури цих плівкових композицій є:

- забезпечити якість запису та збереження;
- збільшити довговічність запису;
- збільшити об'єм пам'яті при таких же, чи навіть менших габаритах пристрою, шляхом зростання щільності запису даних.

Одним з таких матеріалів є нанорозмірні плівкові композиції на основі хімічно впорядкованого сплаву FePd з впорядкованою $L1_0$ структурою. Цей матеріал має високу магнітокристалічну анізотропію, задовільні магнітні властивості (високі коерцитивна сила та намагніченість) та термічну

стабільність, що позитивно впливає на щільність запису (невеликі розміри доменів, відношення сигнал-шум та ін.), зовнішніх та внутрішніх магнітних полів.

Для формування фази $L1_0$ -FePd з високими значеннями коерцитивної сили та енергії магнітокристалічної анізотропії необхідне або осадження на нагріту монокристалічну підкладку, або проведення високотемпературного відпалу. Проте термічна обробка обумовлює ріст зерен і поверхневої шорсткості плівкового матеріалу, що призводить до зменшення потенційно можливої щільності магнітного запису і ускладнює практичне використання даних матеріалів. Тому актуальним завданням сучасного фізичного матеріалознавства є питання зменшення росту зерен і поверхневої шорсткості плівкового матеріалу за рахунок використання тугоплавкого матеріалу в якості буферного шару W.

Метою даної роботи є дослідження закономірностей формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePd в нанорозмірних плівкових композиціях FePd-W та FePd-Au при відпалах.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано наступні задачі:

1. Проаналізувати літературні джерела щодо проблематики магнітного запису та встановити доцільність промислового використання нанорозмірних плівкових композицій на основі сплаву FePd в якості магнітних носіїв інформації;
2. Визначити закономірності фазоутворення в композиціях FePd-W та FePd-Au при зміні умов термічної обробки (температура, тривалість) у вакуумі;
3. Проаналізувати результати і зробити висновки по даному дослідженню.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Розвиток індустрії магнітного запису

Високого ступеню досконалості досягли технічні засоби магнітного запису, але актуальною задачею для науковців так і залишається створення нових магнітних плівок та технологій їх отримання для підвищення щільності запису інформації.

Перший накопичувач на жорстких магнітних дисках було представлено в 1956 році компанією ІВМ. Він важив більше тонни і мав загальну ємність 5 Мб даних. Через півстоліття найслабший iPhone 5S важить 112 г і має 16 Гб пам'яті – приблизно в 3200 разів більше.

Індустрія магнітного запису пройшла шлях від масивних сховищ об'ємом в сотні кілобайт до нинішнього напівтерабайтного вінчестера «в кишені» та привернула увагу кращих учених і інженерів зі всього світу.

Останній великий технологічний перехід в жорстких дисках (HDD) відбувся в період, що охоплює 2005 по 2008 роки, коли промисловість змінила методи запису від поздовжньої магнітного запису (LMR) на перпендикулярний магнітний запис (PMR). У період з 2005 по 2015 рік (рис 1.1), близько восьми поколінь дисків PMR були введені в комерційних цілях, забезпечуючи десятикратне збільшення щільності запису [1].

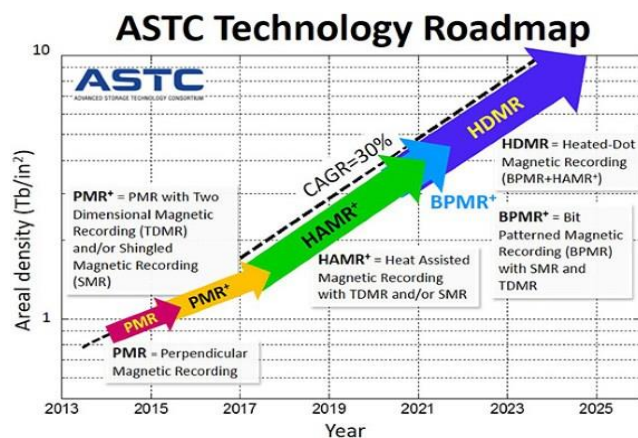


Рисунок 1.1 – Технологічні зміни найближчих років [2]

За прогнозами ASTC Technology Roadmap до 2025 року очікуються суттєвіші технологічні зміни в індустрії жорстких дисків, ніж за весь останній п'ятдесятирічний період її існування (рис 1.1).

1.2 Технології магнітного запису

У магнітних носіях інформації цифровий запис проводиться на магніточутливий матеріал. До таких матеріалів відносяться деякі різновиди оксидів заліза, нікель, кобальт та його сполуки, сплави, а також магнітопласти і магнітоеластичні матеріали з в'язкою з пластмас і гуми, мікропорошкові магнітні матеріали.

Магнітне покриття має товщину в кілька мікрометрів. Покриття наноситься на немагнітну основу, в якості якої для магнітних стрічок і гнучких дисків використовуються пластмаси, а для жорстких дисків – алюмінієві сплави і композиційні матеріали підкладки. В нашому дослідженні в якості підкладки був використаний термічно окиснений монокристал $\text{SiO}_2(100 \text{ нм})/\text{Si}$. Магнітне покриття диска має доменну структуру, тобто складається з безлічі намагнічених зерен [3].

Магнітний домен (від лат. *Dominium* – володіння) – це мікроскопічна, однорідно намагнічена область в феромагнітних зразках, відокремлена від сусідніх областей тонкими перехідними шарами (доменними межами).

Під впливом зовнішнього магнітного поля власні магнітні моменти доменів орієнтуються відповідно до напрямку магнітних силових ліній. Після припинення дії зовнішнього поля середовище запису зберігає своє намагнічення. Завдяки цій властивості на магнітному носії зберігається інформація, що діяла в магнітному полі.

При записі інформації зовнішнє магнітне поле створюється за допомогою магнітної голівки. У процесі зчитування інформації зони залишкової намагніченості, опинившись навпроти магнітної голівки, наводять у ній при зчитуванні електрорушійну силу (ЕРС) [4].

Схема запису і зчитування з магнітного диску наведена на рис. 1.2. Зміна напрямку ЕРС протягом певного проміжку часу ототожнюється з двійковою одиницею, а відсутність зміни – з нулем. Зазначений проміжок часу називається бітовим елементом.

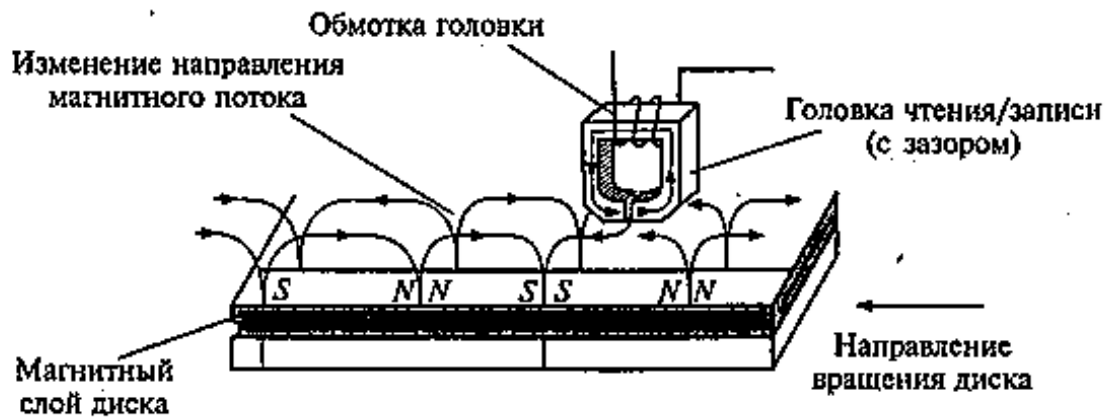


Рисунок 1.2 – Запис та зчитування даних з магнітного диску [5]

Поверхня магнітного носія розглядається як послідовність точкових позицій, кожна з яких асоціюється з бітом інформації. Оскільки розташування цих позицій визначається неточно, для запису потрібні заздалегідь нанесені мітки, які допомагають знаходити необхідні позиції запису. Для нанесення таких синхронізуючих міток має бути здійснене розбиття диска на доріжки і сектори, що називається форматуванням [5].

Організація швидкого доступу до інформації на диску є важливим етапом зберігання даних. Оперативний доступ до будь-якої частини поверхні диска забезпечується, по-перше, за рахунок надання йому швидкого обертання і, по-друге, шляхом переміщення магнітної головки читання або запису по радіусу диска [6].

1.2.1 Паралельний магнітний запис

На сьогоднішній день в більшості жорстких дисків (HDD), використовується поздовжній, або паралельний, метод запису даних на поверхню магнітних носіїв.

Намагнічування елементів, кожен з яких являє собою біт даних, відбувається таким чином, що полярність бітів паралельна поверхні магнітних пластин (рис. 1.3).

Дані записуються на диск, покритий магнітним шаром запису. Будь-який магнітний матеріал складається з доменів – областей, усередині яких магнітні моменти всіх атомів спрямовані в одному напрямку. Кожен домен має великий сумарний момент, який в початковому стані може бути направлений довільним чином. Під дією зовнішнього магнітного поля домени можуть змінювати напрямок магнітного моменту [7].

Саме цей ефект використовується при магнітному записі. Інформація зберігається не на одному домені, а на областях (частинках), що складаються мінімум з 70-100 зерен [8].

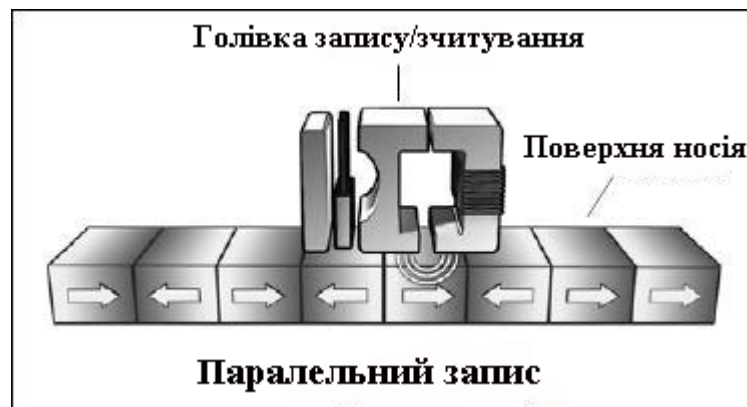


Рисунок 1.3 – Схема поздовжнього магнітного запису інформації [5]

Якщо магнітний момент такої частинки збігається з напрямком руху голівки, що зчитує інформацію – отримуємо логічний «0», якщо протилежний – логічну «1». Так як дві сусідні області мають протилежний напрямок моментів, на границі між ними частина доменів може втратити стабільність і

довільно змінювати напрямок магнітного моменту. Це явище, яке назвали суперпарамагнетизмом, є однією з головних проблем технології паралельного магнітного запису.

1.2.2 Перпендикулярний магнітний запис

Довгоочікуваною технологією запису є спосіб перпендикулярного магнітного запису (PMR) на жорстких дисках (HDD), який використовується для стаціонарних комп'ютерів та ноутбуків. Вперше запропоновував цю технологію С. Івасаки в 1975 році [1], але промислове виробництво відбулося лише 2005 році компанією Toshiba [1], щільність запису складала 40 Гб на 1,8-дюймовий диск (тобто 133 Гбіт/дюйм²). Впровадження технології PMR роблять його конкурентоспроможним з технологією поздовжньої магнітного запису (LMR), яка використовувалась протягом багатьох років.

Технологія перпендикулярного запису формується шляхом розташування магнітних частинок під кутом 90° до площини магнітного диску. Завдяки цьому домени, що зберігають різні значення, не відштовхуються один від одного, тому що намагнічені частинки повернуті один до одного різними полюсами. Збільшення щільності, що означає зменшення розміру часток, при цьому не вимагає зменшення товщини шару, що забезпечує стабільність магнітного матеріалу [9].

При перпендикулярному записі використовується набагато складніша структура магнітного носія. Під тонким захисним шаром розташований записуючий шар, який складається із окисненого шару кобальта, платини і хрому. Підкладинка містить два шари складного хімічного складу, які називаються антиферромагнітними шарами. Саме вони дозволяють зняти внутрішні напруження магнітного поля.

Для перпендикулярного запису (рис. 1.4) на магнітний шар використовуються головки нової конструкції.

Якщо при поздовжньому записі магнітне поле генерується в металічному кільці за допомогою індукції, то при перпендикулярному записі використовується

поле, яке генерується між зрізом полюса головки запису і магнітним підшаром на диску. Тому частинки записуючого шару намагнічуються вертикально, а частинки магнітного підшару – горизонтально, що забезпечує додаткову стабільність частинок відносно одна одної.

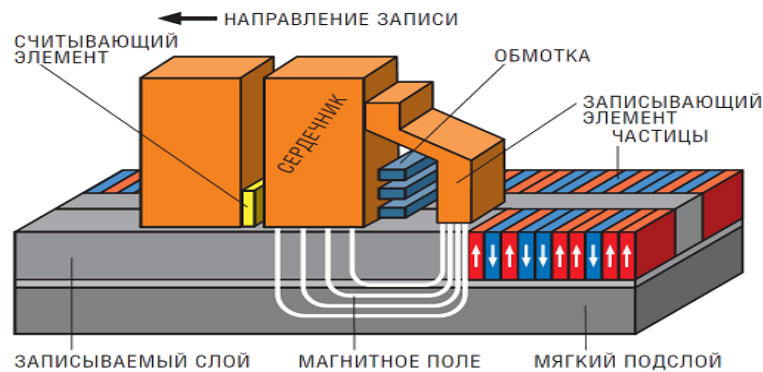


Рисунок 1.4 – Схема технології перпендикулярного магнітного запису [10]

Важлива відмінність перпендикулярного запису від повздовжнього полягає в характері і розташуванні сигналу зчитування. Повздовжній магнітний шар без підшару випромінює магнітний сигнал тільки із границі переходу між бітами (з границі між однією магнітною частинкою і іншою) під прямим кутом до площини диску. Перпендикулярний магнітний шар випромінює сигнал по всій площині частинки, а завдяки підшару вектор цього сигналу направлений паралельно площині диску. Для зчитування необхідно створення нових головок, які дозволять значно збільшити відношення сигнал/шум і потужність самого сигналу. Тому деякі компанії починають використовувати нове покоління головок, які засновані на явищі тунельного магніторезистивного ефекту (TMR Heads) [11].

1.2.3 Технологія термічно активованого магнітного запису (HAMR)

Різниця між перпендикулярним записом та HAMR-записом (рис. 1.5) полягає в тому, що домен перед записом піддається термічній обробці. Тому технологія і носить назву «теплова магнітний запис». При точному нагріванні домену лазерним променем досягається дуже висока щільність зберігання

даних – до 150 Гбіт/см². Поки що це перспективна технологія, яка перебуває на стадії тестування. Виробники носіїв інформації впевнені, що якщо її і далі розвивати, то можна буде добитися взагалі неймовірних показників – щільності запису в 7 Тбіт/см² [12].

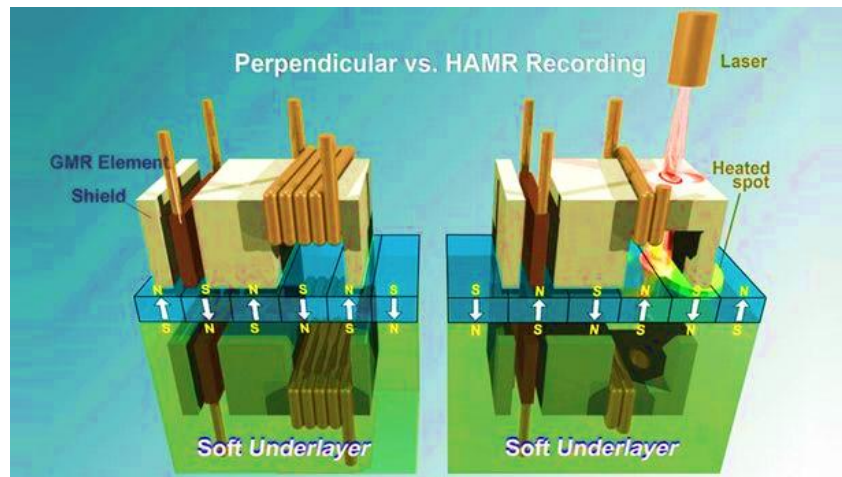


Рисунок 1.5 – Різниця між між перпендикулярним записом та HAMR-записом [12]

До речі, якими б відмінними характеристиками не володіли жорсткі диски – вони схильні до такої неприємності, як ймовірність втрати даних. І це, по суті, не залежить від використовуваної технології запису. Тому програма відновлення файлів буде ще довго популярною у користувачів персональних ПК.

1.3 Гігантський магнітний опір (ГМО)

Великий інтерес до вивчення різних властивостей багатошарових плівкових систем і мультишарів із спін-залежним розсіюванням електронів пов'язаний як із можливістю спостереження явищ фундаментального характеру, так і широкими їх функціональними можливостями у різних галузях мікро- і наноелектроніки, спінтроніки, обчислювальної техніки [13].

Перехід до багатошарових систем спричиняє ряд специфічних для таких зразків ефектів і процесів. Мова, зокрема, іде про явище гігантського

магнітного опору (ГМО), великий внесок в який дає інтерференція електронних хвиль, відбитих від зовнішніх і внутрішніх меж поділу (інтерфейсів), які розділяють магнітні і немагнітні шари.

Гігантський магнетоопір – квантово-механічний ефект, що спостерігається у металевих плівках, які складаються з феромагнітних і провідних немагнітних шарів. Ефект полягає у значній зміні електричного опору таких структур при зміні взаємного напрямку намагніченості сусідніх магнітних шарів. Напрямок намагніченості можна керувати, наприклад, шляхом застосування зовнішнього магнітного поля. В основі ефекту лежить розсіяння електронів, що залежить від напрямку спіну [14].

Основними сферами застосування ефекту є давачі магнітного поля, що використовуються в жорстких дисках, біосенсорах, приладах мікроелектромеханічних систем та інших. Структури з гігантським магнетоопором застосовувались у магніторезистивній оперативній пам'яті як логічні комірки для зберігання одного біту інформації [14].

1.3.1 Історія відкриття ГМО

Ефект ГМО було експериментально відкрито у 1988 році двома науковими колективами незалежно один від одного: лабораторіями Альбера Ферта і Петера Грюнберга. Практичне значення цього відкриття було відзначено присудженням Ферту і Грюнбергу Нобелівської премії з фізики у 2007 році [15].

Перші математичні моделі, що описували вплив намагніченості матеріалів на рухливість носіїв заряду в них завдяки наявності спіну, з'явилися ще у 1936 році. Експериментальні факти, які дозволяли передбачити можливість підсилення ефекту залежності опору від магнітного поля (тобто збільшення δ_H були відомі з 1960-х. Наприкінці 1980-х фізиками було добре вивчено анізотропний магнетоопір, але величина δ_H для цього ефекту не перевищувала кількох відсотків. Експериментальні дослідження у напрямку збільшення δ_H стали можливими з появою методів на кшталт молекулярно-

променевої епітаксії, яка дозволила виготовляти тонкі багат шарові плівки товщиною в одинці нанометрів [16].

На рис. 1.6 можна побачити, результати Альбера Ферта і Петера Грюнберга (1988 рік): зміна опору Fe/Cr надграток за температури 4,2 К при прикладанні зовнішнього магнітного поля напруженістю H . Зовнішнє поле і струм спрямовані вздовж вісі [110]. Праворуч стрілкою вказано найбільшу досягнуту зміну у відсотках. H_s — поле насичення .

1.3.2 Реалізація ГМО у жорстких дисках

У жорстких дисках (HDD) інформація кодується за допомогою магнітних доменів, коли одному напрямку намагніченості у них ставиться у відповідність логічна одиниця, а протилежному — логічний нуль. Розрізняють повздовжній і перпендикулярний методи запису.

У повздовжньому методі домени розташовуються у площині пластини, тобто напрямок в них паралельний поверхні. Між доменами завжди формується перехідна область (доменна стінка), в області котрої на поверхню виходить магнітне поле. Якщо доменна стінка утворилась на межі двох північних полюсів доменів, то поле напрямлено назовні, а якщо її утворили південні полюси — то всередину. Аби зчитати напрямок магнітного поля над доменною стінкою, у ферромагнітному шарі сенсора фіксується напрямок намагніченості перпендикулярно площині пластини диску, а в сенсорному шарі паралельно до неї. Зміна напрямку зовнішнього магнітного поля відхиляє намагніченість у сенсорному шарі від рівноважного положення вгору чи вниз. Коли напрямок відхилення збігається з напрямком у фіксованому шарі, то електричний опір сенсора зменшується і навпаки, за різних напрямків виявляється збільшення опору. Таким чином визначається взаємна орієнтація доменів над якими пройшла зчитуюча голівка [17].

В наш час широко застосовується вертикальне розміщення доменів, що дозволяє суттєво збільшити густину розміщення бітів на поверхні пластини. При цьому на поверхню виходить поле, що утворюється самим доменом.

1.3.3 Магнітна оперативна пам'ять з використанням ГМО

Комірка магніторезистивної оперативної пам'яті (англ. Magnetic Random Access Memory, MRAM) складається зі структури, подібної сенсору на спіновому клапані (рис 1.7). Значення біту, що зберігається, може кодуватися напрямком намагніченості у сенсорному шарі, який в даному випадку виступає носієм інформації. Зчитування відбувається шляхом вимірювання опору структури. Переваги подібної технології полягають в незалежності від джерел живлення, низькому енергоспоживанні та високій швидкодії [18].

У типовому блоці пам'яті на основі магнеторезистивного ефекту, що зберігає один біт інформації, ГМО-структура формату СІР розміщується між двома провідниками, які орієнтовані перпендикулярно по відношенню один до одного. Ці провідники називають лініями рядків і стовпців. Імпульси електричного струму, які проходять крізь лінії, генерують вихрєве магнітне поле, котре діє на ГМО-структуру. Контури силових ліній поля близькі до еліпсу за своєю формою, а напрямок поля (за чи проти годинникової стрілки) визначається напрямком струму по лінії.

Таким чином, напрямок поля, що створюється лінією стовпчика, напрямлено практично паралельно магнітним моментам, і воно не може їх розвернути. Лінія рядка створює поле, перпендикулярне ним і незалежно від величини поля може повернути намагніченість лише на 90° . При одночасному проходженні імпульсів по лініям рядків і стовпчиків сумарне магнітне поле у місці розташування ГМО-структури буде напрямлене під гострим кутом по відношенню до одних моментів і під тупим по відношенню до інших. Якщо величина поля перевищить деяке критичне значення, то останні змінять свій напрямок [18].

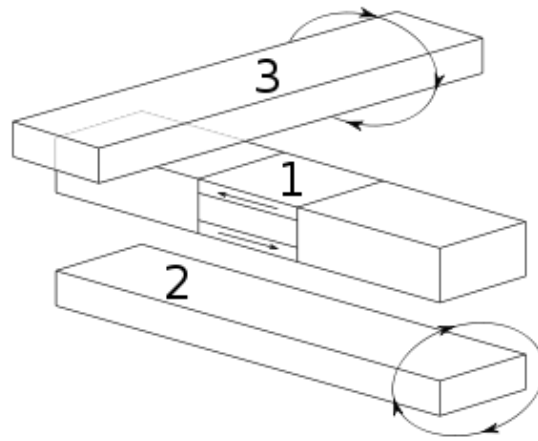


Рисунок 1.7 - Використання спінового клапана в MRAM [18]

Використовуються різні схеми збереження і зчитування інформації з описаної комірки. В одній з них інформація зберігається у рухомому шарі структури. Тоді операція читання визначає, чи змінився опір структури при прикладанні магнітного поля. При цьому зчитаний біт стирається і його необхідно записати у комірку знову. В іншій схемі інформацію зберігає фіксований шар, що потребує більших струмів для запису в порівнянні зі струмами зчитування [17].

На сьогодні у випадку MRAM гігантський магнетоопір поступився місцем тунельному. В подібних структурах також необхідні вентиляльні елементи, що попереджують блукаючі струми між комірками пам'яті. Таким вентиляльним елементом може бути МОН-транзистор, до стоку якого підключається ГМО-структура, до витоку — заземлення, а до затвору — одна з ліній, що слугує для зчитування [18].

1.4 Використання нанорозмірних плівок на основі сплаву FePd як перспективного матеріалу для надщільного магнітного запису

Одним із перспективних матеріалів для використання в якості носія магнітного запису є нанорозмірні плівкові композиції на основі FePd. Сплави FePd та FePt мають низку подібних властивостей, наприклад, термічна обробка даних сплавів при складі, близькому до еквіатомного, приводить до утворення в їх структурі впорядкованої фази ($L1_0$ -FePt/FePd), яка має високі

значення магнітокристалічної анізотропії ($6,6 \cdot 10^7$ ерг/см³ та $1,8 \cdot 10^7$ ерг/см³, відповідно) та коерцитивної сили (>1 кЕ). Але для утворення впорядкованої фази $L1_0$ для сплаву FePd потрібна температура відпалу на 100 К нижче, ніж для сплаву FePt. Різницю у температурі впорядкування між FePd і FePt можна пояснити різницею у температурі плавлення цих сплавів [19]. Добре відомо, що коефіцієнт дифузії пов'язаний з оберненою величиною температури плавлення відповідних сплавів.

Також, необхідно зазначити, що коерцитивна сила впорядкованої фази $L1_0$ -FePd є дещо нижчою, що дозволить проводити процес запису інформації при менших значеннях напруженості магнітного поля порівняно з фазою $L1_0$ -FePt. Значною відмінністю даних сплавів також є те, що Pd значно дешевший за Pt, тому виробниче використання сплаву FePd є економічно більш вигідним. Даний матеріал за своєю структурою та властивостями подібний до FePt, однак має свої особливості, які заслуговують докладного дослідження [20-22].

Відомо, що одним із найпопулярніших методів отримання тонких плівок FePd є епітаксіальне зростання [20]. Проте, з технічної точки зору, цей метод не зручний для масового виробництва пристроїв зберігання даних. Іншими способами отримання сплаву FePd є одночасне випаровування, пошарова конденсація та ін. Але основним процесом є формування впорядкованої магнітно-твердої фази $L1_0$ -FePd [21], який здійснюється різними способами: при проведенні швидкісного або тривалого термічного відпалу за підвищених температур, при осадженні плівки на нагріті підкладки.

1.5 Характеристика фазових перетворень у досліджуваних системах в масивному стані

1.5.1 Діаграма фазового стану системи Fe-Pd

Відомо, що Fe і Pd необмежено розчинні один в одному в рідкому стані. При зниженні температури сплави кристалізуються з утворенням ряду твердих розчинів аустенітного класу (рис. 1.8). Лінії ліквідусу та солідусу

перетинаються в точці мінімуму при температурі 1304 °С і концентрації 48 ат. % Pd чи 1310 °С і 50 ат. % Pd [23].

Додавання Pd до Fe підвищує температуру фазового переходу $(\delta\text{Fe}) \rightarrow (\gamma\text{Fe})$ до 1478 °С і температуру перитектики $P + (\delta\text{Fe}) \rightarrow (\gamma\text{Fe}, \text{Pd})$.

Розчинність Pd у (δFe) при температурі перитектики складає 3,3 ат. %, чи 3,7 ат. % і 0,045 ат. % при температурі 1480 °С. В твердому стані $(\gamma\text{Fe}, \text{Pd})$ зазнає перетворення зв'язані з поліморфізмом Fe і утворенням сполуки $\text{FePd}(\gamma_1)$ і $\text{FePd}_3(\gamma_2)$.

Евтектоїд між (αFe) і упорядкованою фазою FePd спостерігається при температурі 605 °С і вмісті 46 ат. % Pd.

На відміну від даних роботи [24] в роботах [25] показано, що максимальна температура утворення FePd_3 (820 °С) вище максимальної температури утворення FePd (790 °С). Обидві упорядковані фази утворюють між собою евтектоїд при температурі Pd 760 °С із вмістом 61,5 ат. % [25]. Двофазна область між сполуками FePd і FePd_3 знаходиться в інтервалі концентрацій Pd 60,2 – 62,6 ат. % [25].

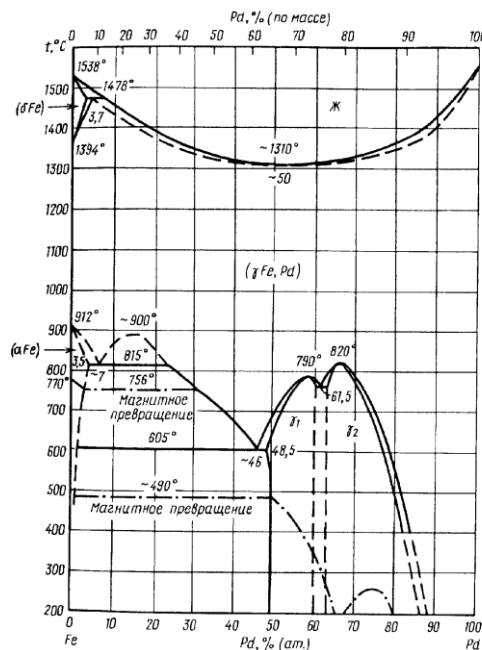


Рисунок 1.8 – Діаграма фазового стану Fe-Pd [26]

При охолодженні до 800 °С γ -твердий розчин утворює впорядковані фази на основі сполуки FePd (34,25 ат. % Fe) і FePd₃ (14,85 ат. % Fe). Утворення фази FePd₃ відбувається без змін симетрії гранецентрованої кубічної кристалічної. Фаза FePd має тетрагональну структуру кристалічної ґратки. Твердий розчин γ , що містить менше 30 ат. % Pd, не може бути зафіксований загартуванням. Деякі сплави Fe з Pd володіють високою коерцетивною силою і низьким коефіцієнтом лінійного розширення.

1.5.2 Діаграма фазового стану системи Fe-Au

Сплави системи досліджувались методами термічного, мікроструктурного, рентгенівського та дилатометричного аналізів (рис. 1.9).

Дослідження проведені в усьому інтервалі концентрацій. Перехідних сполук не виявлено. При 1431 °С в сплавах системи протікає перитектична реакція: P (10,3 ат. % Au) + δ (ат. 2,3 % Au) \leftrightarrow γ (2,8 ат. % Au).

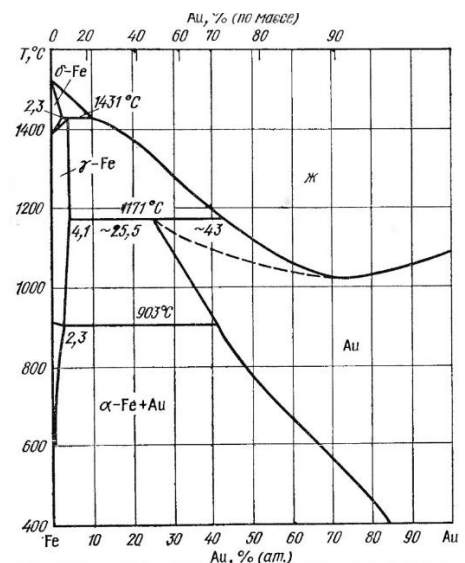


Рисунок 1.9 – Діаграма фазового стану системи Fe-Au [26]

Друга перитектична реакція виникає при 117 °С: P (43 ат. % Au) + γ (4,1 ат. % Au) \leftrightarrow тв. роз-н. Au (25,5 ат. %). При температурі 903 °С в сплавах системи спостерігається евтектоїдне перетворення: γ -Fe (2,3 ат. % Au) \leftrightarrow α -Fe + Au (менше 45 ат. % Au) [26].

1.5.3 Діаграма фазового стану системи Au-Pd

Система Au-Pd досліджена методами термічного, мікроструктурного, рентгенівського аналізів, вимірювання теплових, електричних та інших фізичних властивостей. На рисунку 1.10 наведена загальна діаграма стану системи Au-Pd. Золото і паладій необмежено розчинні один в одному в рідкому та твердому станах.

Твердий розчин (Au, Pd) розпадається по кривій з максимумом при температурі 1555 °С. Автори роботи [28], вивчаючи зміну фізичних властивостей сплавів і рентгенівські дослідження, припускають утворення впорядкованих структур в області концентрацій 15 ат. % - 80 ат. % Pd.

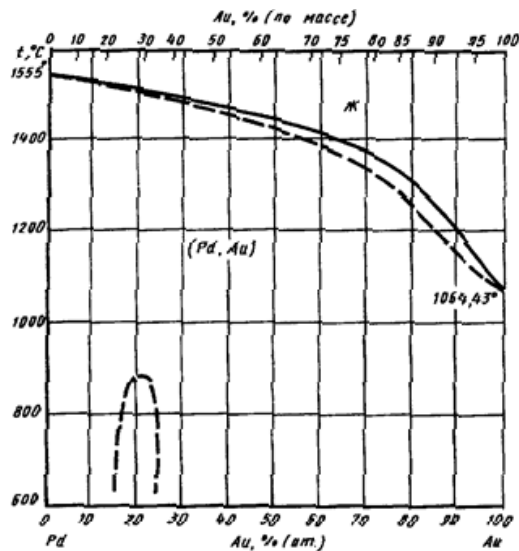


Рисунок 1.10 – Діаграма фазового стану системи Au-Pd [27]

1.6 Висновки до розділу 1:

1. Індустрія магнітного запису інформації на жорсткі носії розвивається надшвидкими темпами. На сьогоднішній день використовується технологія перпендикулярного магнітного запису інформації. Проте, для подальшого збільшення щільності запису необхідно використовувати термічно-активованій магнітний запис та розробити новітній магнітний матеріал, який буде спроможний забезпечити термічну стабільність інформації при її надвисокій щільності.

2. Найбільш перспективними матеріалами для майбутнього застосування у сфері надщільного магнітного запису інформації вважаються нанорозмірні плівкові композиції на основі сплаву FePd з хімічно-впорядкованою фазою $L1_0$, що мають великі значення магнітокристалічної анізотропії і коерцитивної сили. Однак, актуальною проблемою сучасного матеріалознавства є зменшення температури утворення впорядкованої фази $L1_0$ -FePd.

3. Припускається, що введення в плівкові композиції на основі сплаву FePd проміжних шарів «третьох» елементів, таких як Ag, Cu, Au може сприяти зменшенню температури формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePd через напружений стан, що виникає в плівкових композиціях при термічній обробці через невідповідність параметрів кристалічної будови і температурних коефіцієнтів лінійного розширення.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали дослідження

В даній роботі досліджено формування структури і фазового складу нанорозмірних плівкових композицій FePd на підкладках W та Au після осадження і термічної обробки.

Досліджено умови формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePd, яка має перспективи використання в якості середовища магнітного запису з надвисокою щільністю.

2.2 Магнетронний метод одержання тонких плівок

Магнетронні системи (рис. 2.1) відносяться до систем розпорошення діодного типу, в яких розпорошення матеріалу відбувається за рахунок бомбардування поверхні мішені іонами робочого газу, що утворюється в газі аномально-гліючого розряду. Висока швидкість розпорошення, характерна для цих систем, досягається збільшенням щільності іонного струму за рахунок локалізації плазми, яка розпилюється на поверхні мішені за допомогою сильного поперечного магнітного поля [29].

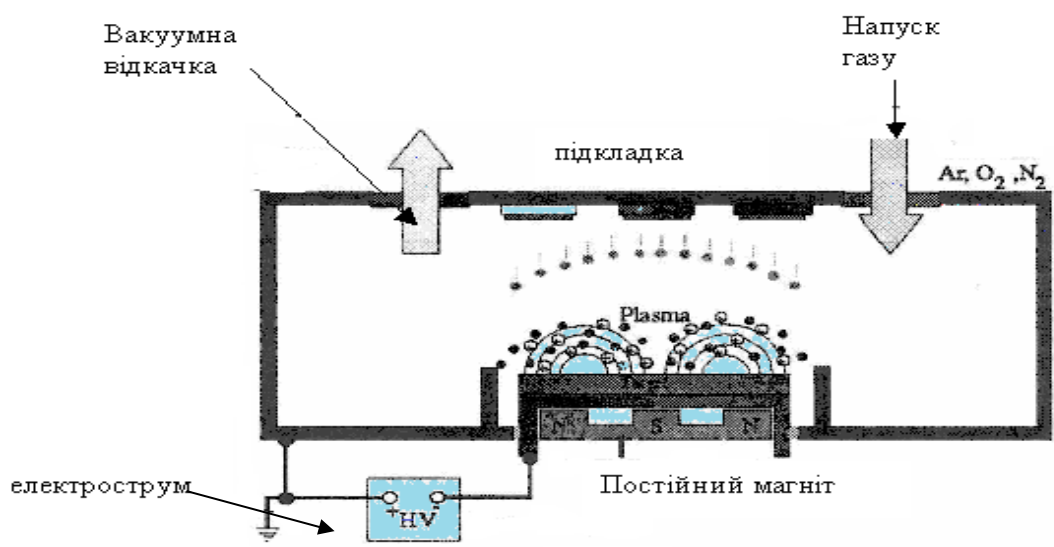


Рисунок 2.1 – Принципова схема методу магнетронного розпилювання [30]

Розглянемо вплив схрещених полів на процес іонного розпорошення. Наприклад, в діодній системі розряд підтримується вторинними електронами, які емітуються з поверхні катоду-мішені під дією іонного бомбардування. В цьому випадку (рис. 2.2, а) електрони залишають катод, прискорюючись в перпендикулярному до нього напрямку електричного поля, потрапляють на анод і захоплюються ним [29].

Якщо перпендикулярно електричному полю накласти паралельно катоду і дуже близько до нього магнітне поле (рис. 2.2, б), траєкторії руху електронів будуть схожі на циклоїди. Електрони, які емітовані катодом під дією іонного бомбардування, не можуть при цьому рухатись до аноду в перпендикулярному напрямку, так як опиняються в пастці, яку створює магнітне поле [30].

До тих пір поки не виконається декілька іонізуючих зіткнень електронів з атомами робочого газу, вони переміщуються в пастці, втрачають енергію, яку отримали від електричного поля. Велика частина енергії електронів втрачається на іонізацію у безпосередній близькості від катоду, де створюється висока концентрація позитивних іонів. В результаті підвищується інтенсивність бомбардування катоду і швидкість його розпорошення [30].

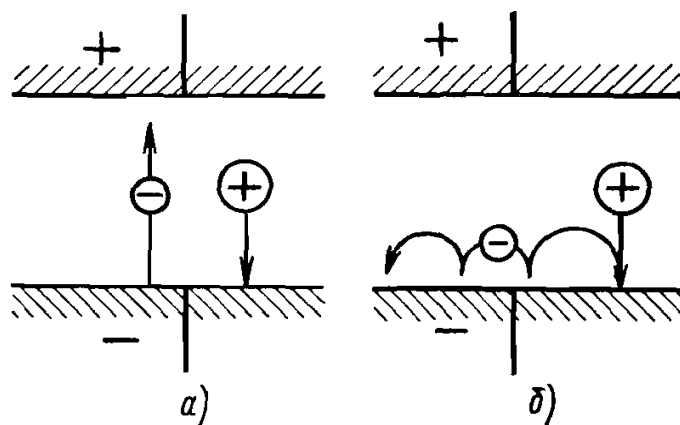


Рисунок 2.2 – Вплив схрещених полів на характер іонного розпорошення в діодній(а) і магнетронній ситемах(б) [30]

Слід зазначити, що плазма розряду існує тільки в області магнітної пастки в безпосередній близькості від мішені і її форма визначається геометрією і величиною магнітного поля.

Однією з переваг магнетронних розпилювальних систем є також та обставина, що захоплення вторинних електронів магнітною пасткою біля поверхні мішені перешкоджає інтенсивному перегріву підкладки. Що в свою чергу дозволяє збільшити швидкість розпорошення матеріалів, а отже, і їх осадження. Джерелами нагріву підкладки в цих системах слугують енергія конденсації розпорошених атомів, кінетична енергія осадження атомів, енергія відбитих від мішені нейтралізованих іонів, а також випромінювання плазми [31].

Основними робочими характеристиками магнетронних розпилювальних систем є напруга на електродах, струм розряду, щільність струму на мішені і питома потужність, величина індукції магнітного поля і робочий тиск. Від величини і стабільності перерахованих параметрів, які взаємно пов'язані між собою, залежать стабільність розряду і відтворюваність процесу нанесення тонких плівок. Магнетронні системи відносяться до низьковольтних систем розпорошення. Робоча напруга становить 200 В – 700 В, на мішень зазвичай подається негативний потенціал, а на анод – нульовий потенціал [31].

2.3 Методи дослідження

В роботі використано комплекс методів сучасного фізичного металознавства.

2.3.1 Рентгеноструктурний фазовий аналіз

Якісний фазовий аналіз дозволяє визначити фази, що присутні в матеріалі зразка. Інтенсивність рефлексу від кожної фази залежить від її кількості. Якщо в досліджуваному об'єкті є декілька фаз, то кожній фазі відповідатиме своя власна дифракційна картина. В цьому випадку

дифрактограма є накладанням дифрактограм всіх наявних в досліджуваному зразку фаз [32].

Основною умовою дифракції рентгенівського випромінювання на кристалічній ґратці зразка є рівняння Вульфа–Брегга:

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

де d – міжплощинна відстань даної фази, Å;

θ – кут дифракції рентгенівських променів від даної системи атомних площин;

λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання, Å;

n – порядок дифракційного максимуму (ціле число).

Інтегральна інтенсивність рефлексу I_{hkl} , отриманого від площини з індексами (hkl) в n -му порядку відбиття визначається наступним чином:

$$I_{HKL} = C \cdot L(\theta) \cdot |F_{HKL}|^2 \cdot P_{HKL} \cdot e^{-2M} \cdot A(\theta), \quad (2.2)$$

де C – спільний для всіх ліній дифрактограми множник, що залежить від довжини хвилі випромінювання;

$|F_{HKL}|^2$ – структурний фактор;

P_{HKL} – фактор повторюваності, що враховує число еквівалентних площин, які дають одну і ту ж дифракційну лінію. Він залежить від типу кристалічної ґратки і сорту площини;

e^{-2M} – температурний коефіцієнт;

$A(\theta)$ – коефіцієнт поглинання (залежить від досліджуваної речовини, довжини хвилі випромінювання і методу зйомки).

Окрім вказаних вище чинників, інтенсивність рефлексу залежить від рентгенівського апарату: напруги на трубці; струму через трубку розміру щілин; режиму роботи лічильника квантів рентгенівського випромінювання.

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. Вона тим більша, чим вища відбиваюча здатність атомної площини фази, присутність якої треба виявити, і чим слабкішим є фон дифрактограми. Необхідно враховувати також 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 [33].

Чутливість рентгенівського фазового аналізу різко знижується при дисперсності зразка або неоднорідності його за складом, а також якщо лінії визначуваної фази розмиті через наявність мікронапружень [34].

В той же час, наявність текстури від даної фази позитивно впливає на чутливість методу. Оскільки деякі лінії на дифрактограмі посилюються, а інші, навпаки, зникають, наявність сильних ліній дозволяє виявити меншу кількість фази, ніж за відсутності переважної орієнтації зерен.

За даними дифрактометричного аналізу розраховувався розмір зерен в нанорозмірних плівках з використанням рівняння Дебая-Шерера. Припускається, що в даному випадку розмір областей когерентного розсіювання співпадає з розміром зерен:

$$d=(0,94 \times \lambda)/(B \times \cos \theta), \quad (2.3)$$

де d – розмір зерна, нм;

λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання, нм;

B – ширина дифракційного рефлексу на половині висоти, рад;

θ – кутове положення дифракційного рефлексу.

2.3.2 Чотирьохзондовий метод вимірювання питомого опору тонких пластин або шарів на підкладці довільної форми

Метод Ван дер Пау – це широко застосовувана методика для вимірювання опору плівкового матеріалу. Метод Ван дер Пау часто використовується для вимірювання ефекту Холла, який характеризує зразок напівпровідникового матеріалу і може бути успішно виконаний джерелом струму, вольтметром та магнітом. Компоненти які необхідні для автоматичного виконання цієї процедури, як правило, часто здатні працювати при певному діапазоні температур. В свою чергу це обумовлює, що їм потрібні точні системи охолодження та нагріву, що робить цю методику досить дорогою [35].

Проведені виміри дозволяють розрахувати такі властивості матеріалу:

- питомий опір матеріалу;
- тип легування (тобто чи є цей матеріал напівпровідником р-типу або n-типу);
- концентрацію основних носіїв струму;
- рухливість основних носіїв струму.

Спосіб був вперше розповсюджений Л. Дж. Ван дер Пау у 1958 році [35].

Щоб використовувати метод Ван дер Пау, товщина зразка повинна бути набагато меншою ніж ширина і довжина зразка. Щоб зменшити помилки в обчисленнях, передбачається, що зразок є симетричним. Не повинно також бути ніяких ізольованих отворів в межах зразка.

Для вимірювань необхідна наявність чотирьох омичних контактів, що розміщені на краях зразка. Для їх розміщення необхідно виконати наступні умови [36]:

- вони повинні бути на межі зразка (або так близько до краю наскільки можливо);
- вони повинні бути нескінченно малими. Фактично, вони повинні бути якомога менше, оскільки помилка призводить до поправок порядку D/L , де D - середній діаметр контакту, і L - відстань між контактами.

На додаток до цього, всі дроти що йдуть від контактів повинні бути зроблені з того ж самого матеріалу, щоб мінімізувати термоелектричний ефект [36].

Ван дер Пау показав, що в умовах довільного розтікання струму на зразку для точного обчислення опору зразка необхідно провести два виміри:

1. На першій стадії вимірювань струм пропускається між контактами 1 і 2 (рис. 2.3), і напруга вимірюється на контактах 3 і 4.
2. На другій стадії струм пропускається через контакти 2 і 3 і вимірюється напруга на контактах 4 і 1.
3. Для вимірювання ефекту Холла струм пропускається через контакти 1 і 3 і при включеному магнітному полі B вимірюється напруга на навхрест лежачих контактах 2 і 4.

У всіх випадках величина струму через зразок залишається незмінною і рівною [36].

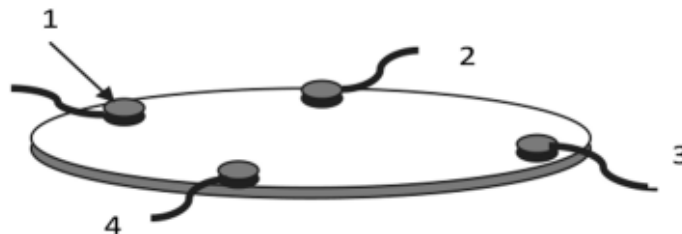


Рисунок 2.3 – Розташування та нумерація контактів в зразку для методу Ван дер Пау [35]

2.3.3 SQUID магнітометрія

Дослідження магнітних властивостей нанорозмірних плівок проведено за допомогою надпровідного квантового інтерференційного пристрою SQUID-VSM (Superconducting Quantum Interference Device – Vibrating Sample Magnetometer) дозволяє вимірювати навіть дуже слабкі магнітні поля (рис. 2.4). Особливістю даного пристрою є його спроможність реєструвати навіть дуже слабке магнітне поле [37].

SQUID-магнітометр є вимірювальним приладом нового покоління, що містить в реєструючій частині надпровідні квантові інтерференційні датчики (SQUID, Superconducting Quantum Interference Device). Завдяки високому ступеню інтеграції та автоматизації, SQUID-магнітометр є провідним пристроєм для повноцінного комплексного вивчення магнітних характеристик досліджуваних матеріалів.

Характерною перевагою даного методу є те, що чутливість приладу не залежить від рівня сигналу, на фоні якого проводиться вимірювання, що дозволяє реєструвати малі зміни намагніченості на фоні великої статичної величини з однаковою ефективністю для діаманетиків, парамагнетиків, феромагнетиків і надпровідників [38].

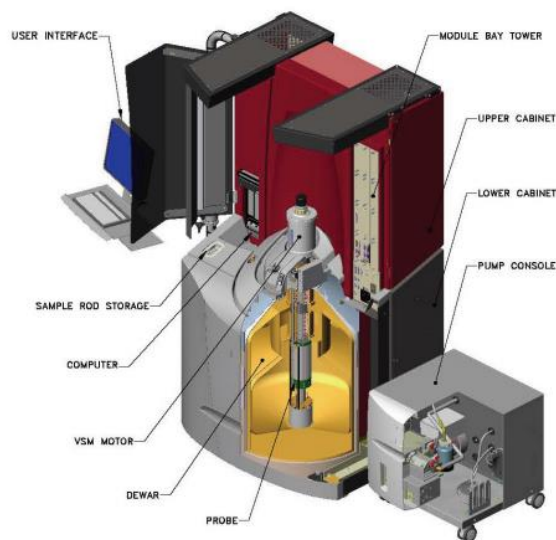


Рисунок 2.4– Загальний вигляд SQUID VSM [37]

Основними елементами SQUID-магнітометра є вимірювальна котушка (або система котушок), SQUID-датчик та схема керування. Принцип дії SQUID-магнітометра заснований на зміні магнітного потоку, що проходить через кільце надпровідного детектора при переміщенні зразка [39].

Магнітометр укомплектований надпровідним SQUID-датчиком. Це високочутливий прилад для перетворення магнітного потоку в електричний сигнал постійного або змінного струму, дія якого заснована на явищі

квантування магнітного потоку в надпровідному кільці з включеними у нього контактами Джозефсона. У результаті інтерференції надпровідних струмів, при зміні магнітного потоку Φ через кільце, вихідний сигнал осцилює з періодом Φ_0 , рівним кванту магнітного потоку:

$$\Phi_0 = \hbar/2e, \quad (2.4)$$

де \hbar – стала Планка;

e – заряд електрона.

Магнітні дослідження можуть проводитися при температурах від 1,8 К до 400 К при стандартному налаштуванні і до 1000 К при наявності додаткової високотемпературної приставки. В даній роботі магнітні вимірювання проведено при температурі 300 К. На початковому етапі прикладалось магнітне поле величиною 20 кЕ, на наступному етапі магнітне поле прикладалось в інтервалі від 70 кЕ до -70 кЕ з лінійним кроком в 2 кЕ при прикладанні поля перпендикулярно поверхні плівки і з параболічним кроком при прикладанні поля вздовж поверхні плівки [39].

2.3.4 Резерфордівське зворотне розсіювання

Метод резерфордівського зворотного розсіювання є неруйнівним аналітичним методом, який засновано на вимірюванні розподілу енергії розсіяних іонів після зіткненнями з атомами зразка (рис. 2.5). Де M_p – маса снаряда і M_T – маса атома-мішені E_0 і E_p – кінетична енергія іона до і після зворотного розсіювання.

Енергія розсіяних частинок залежить від маси ядра, з яким сталося зіткнення, завдяки чому метод дозволяє проводити аналіз елементного складу речовини. Через енергетичні втрати, які зазнають зворотно розсіяні частинки при проходженні шару досліджуваної речовини до і після розсіювання, метод є чутливим і до глибини, на якій знаходяться атоми того чи іншого елемента.

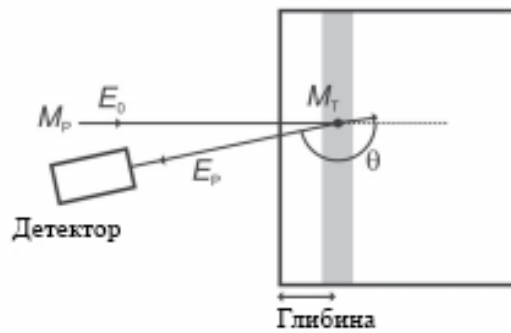


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення вимірювання [40]

Для реєстрації частинок використовуються напівпровідникові детектори, які формують на виході електричний імпульс, пропорційний енергії частинок, розсіяних зразком в напрямку детектора [40].

Цей метод аналізу є найбільш точним, так як іони He з енергією декілька MeV відчують зіткнення при малих значеннях прицільного параметра і відхиляються силами кулонівського відштовхування, що діють між позитивно зарядженими ядрами частинок і атомів мішені.

Кінематика зіткнення і перетин розсіювання не залежать від хімічних зв'язків, тому виміряні характеристики зворотного розсіювання нечутливі до електронної конфігурації і хімічних зв'язків всередині мішені. При Резерфордівському зворотному розсіянні моноенергетичні частинки пучка стикаються з атомами мішені, розсіюються і потрапляють в детектор-аналізатор, що вимірює енергії частинок. При зіткненні енергія передається від рухомої частинки нерухомому атому мішені; зменшення енергії розсіяною частинки залежить від їх маси і маси атома мішені і дозволяє провести його ідентифікацію [40].

$$K = \frac{E_p}{E_0}, \quad (2.5)$$

де E_0 і E_p – кінетична енергія іона до і після зворотного розсіювання.

Вказані вище кінетичні енергії іона можна розрахувати за формулою (2.6), використовуючи закони збереження енергії і імпульсу. Це залежить від того, яка M_P – маса снаряда і M_T – маса атома-мішені, а також кут розсіювання θ у випадку пружних зіткнень.

$$K = \left(\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{M_P}{M_T}\right)^2 \sin^2 \theta + \left(\frac{M_P}{M_T}\right) \cos \theta}}{1 + \left(\frac{M_P}{M_T}\right)} \right)^2, \quad (2.6)$$

Крім того непружні зіткнення з електронами відбуваються, коли первинний іон проникає в зразок. Ці зіткнення призводять до втрати енергії, яка приблизно пропорційна пройденій відстані в зразку, що також має вплив на диференціальний переріз розсіювання [41].

$$\frac{dS}{d\Omega} = \left(\frac{Z_P Z_T e^2}{16\pi\epsilon_0 E} \right)^2 \frac{4}{\sin^4 \theta} \left(\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{M_P}{M_T}\right)^2 \sin^2 \theta + \cos \theta}}{\sqrt{1 - \left(\frac{M_P}{M_T}\right)^2 \sin^2 \theta}} \right), \quad (2.7)$$

де Z_P і Z_T – є атомні номери первинного іону і мішені;

e – елементарний заряд;

ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму.

Форма енергетичного спектра зворотного розсіювання залежить від елементного складу і структури зразка.

В даній роботі використовувались іони He^+ , прискорених до енергії $E_0 = 2,7$ МеВ. Фіксований кут розсіювання $\theta = 170^\circ$. Аналіз спектрів проведено за допомогою програмного забезпечення для моделювання SIMNRA [41].

2.4 Висновки до розділу 2

Тонкі плівки були отримані магнетронним методом з індивідуальних мішеней металів Fe, Pd, Au, W. Хімічний склад напилених плівок був досліджений методом резерфордівського зворотнього розсіювання.

Дослідження змін структурно-фазового стану нанорозмірних плівкових композицій FePd/W та FePd/Au було проведено з використанням комплексу сучасних матеріалознавчих методик, таких як, рентгеноструктурний фазовий аналіз та чотирьохзондовий метод вимірювання питомого опору тонких пластин або шарів на підкладці довільної форми. Зміна магнітних властивостей була досліджена SQUID-VSM.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Термічна обробка

Одним із шляхів формування впорядкованої магнітно-твердої фази $L1_0$ -FePd, згідно з літературними даними [30], є проведення комплексної термічної обробки, яка складається з відпалу при різних температурах або напилення тонких плівок на нагріту підкладку. В даній роботі проведено дослідження впливу підшару металу на процеси фазових перетворень в тонких плівках FePd. Термічна обробка зразків проводилась у високому вакуумі (високий вакуум відповідає тиску нижче 10^{-3} Па) плівкових композицій на основі сплаву FePd з підшаром Au та W товщиною 0,3 нм в температурному діапазоні (600 – 700) °С з використанням вакуумної установки ВУП-5М (м. Київ).

3.2 Результати рентгеноструктурного аналізу фазового аналізу плівкової композиції FePt після термічної обробки

Дифрактограми тонких плівок FePd(5 нм) (рис. 3.1) після осадження та відпалів за температури 650 °С тривалістю до 20 годин. Після осадження на рентгенограмі спостерігається слабкий рефлекс FePd(111). Термічний відпал у вакуумі призводить до збільшення інтенсивності цього рефлексу. Це вказує на збільшення розміру зерен фази FePd. Відсутність інших рефлексів на дифрактограмі вказує на формування вираженої аксіальної текстури (111) в плівці FePd. Рентгеноструктурний аналіз тонкої плівки FePt(5 нм) не виявив ознак формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePt під час довготривалого термічного відпалу у вакуумі.

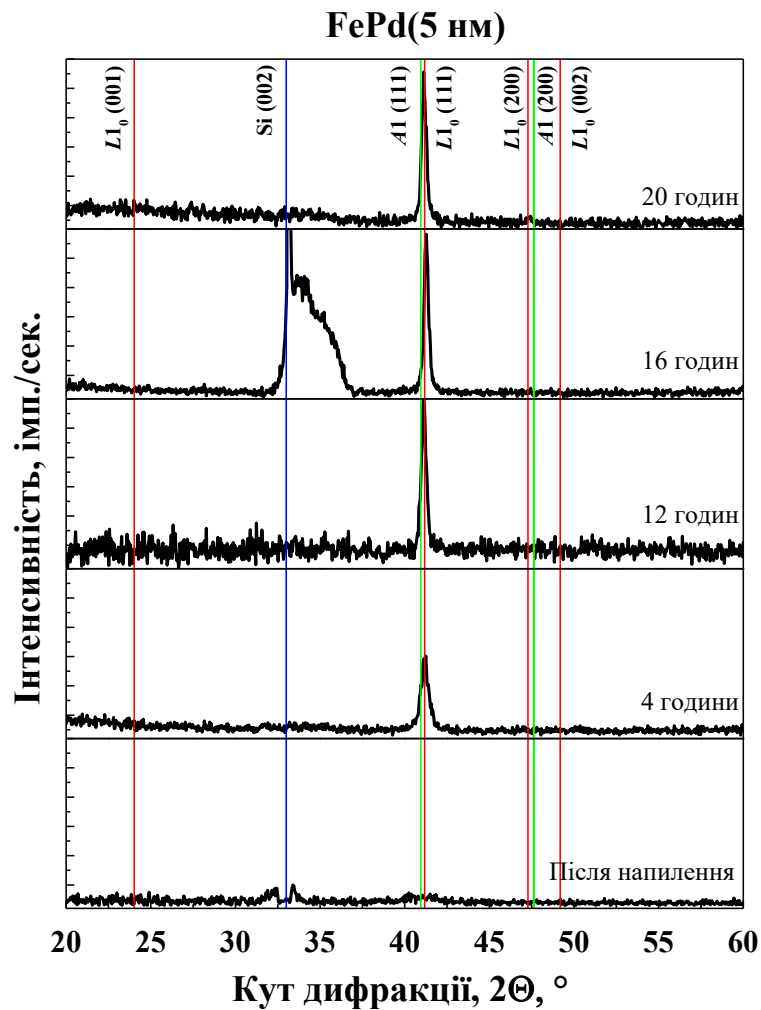
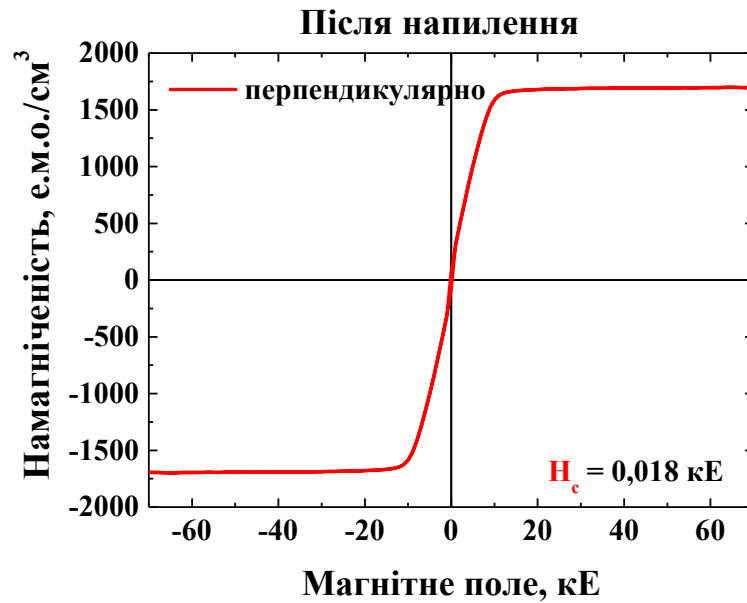


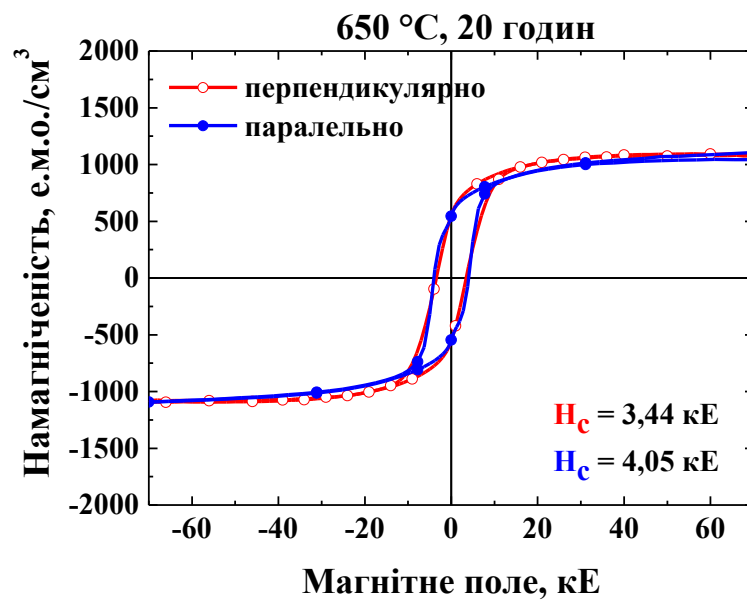
Рисунок 3.1 – Дифрактограма плівкової композиції FePd після осадження та відпалів у вакуумі за температури 650 °С

Вплив термічної обробки у вакуумі на магнітні властивості тонких плівок FePd(5 нм) було досліджено методом SQUID магнітометрії. З петель магнітного гістерезису, які показано на рисунку 3.2, видно, після осадження плівка проявляє коерцитивну силу 18 Е, що вказує на формування магнітно м'якої фази *Al*-FePd. Термічний відпал у вакуумі тривалістю 20 годин супроводжується збільшенням коерцитивної сили плівки до 3,5 кЕ (Рис. 3.2 а). Це підтверджує формування магнітно-твердої впорядкованої фази *L10*-FePd. Однаковий вигляд петель гістерезису при дослідженнях в геометріях паралельного та перпендикулярного магнітного полів вказує на магнітну ізотропність плівок, яка викликана розорієнтацією магнітних доменів впорядкованої фази. Наявність магнітотвердої фази *L10*-FePd не була

підтверджена рентгеноструктурним аналізом, що може бути пов'язано з малою кількістю фази по відношенню до чутливості методу.



а – після осадження



б – Після 20-годинного відпалу у вакуумі за температури 650 °С

Рисунок 3.2 – Петлі магнітного гістерезису плівкової композиції FePd

3.3 Вплив додавання підшару W на процеси фазоутворення та магнітні властивості в тонких плівках FePd/W

Результати рентгеноструктурних досліджень тонкоплівкової композиції сплаву FePd з додатковим підшаром W товщиною 0,3 нм наведено на рис. 3.3.

Відсутність рефлексів на дифрактограмі тонкоплівкової композиції після осадження вказує на формування рентгеноаморфної структури.

Після відпалу у вакуумі при температурі 600 °C з'являється рефлекс FePd (111), що свідчить про зростання зерен сплаву FePd, який може належати як впорядкованій так і невпорядкованій фазі. Збільшення температури відпалу призводить до зростання інтенсивності цього рефлексу, що вказує на формування текстури (111).

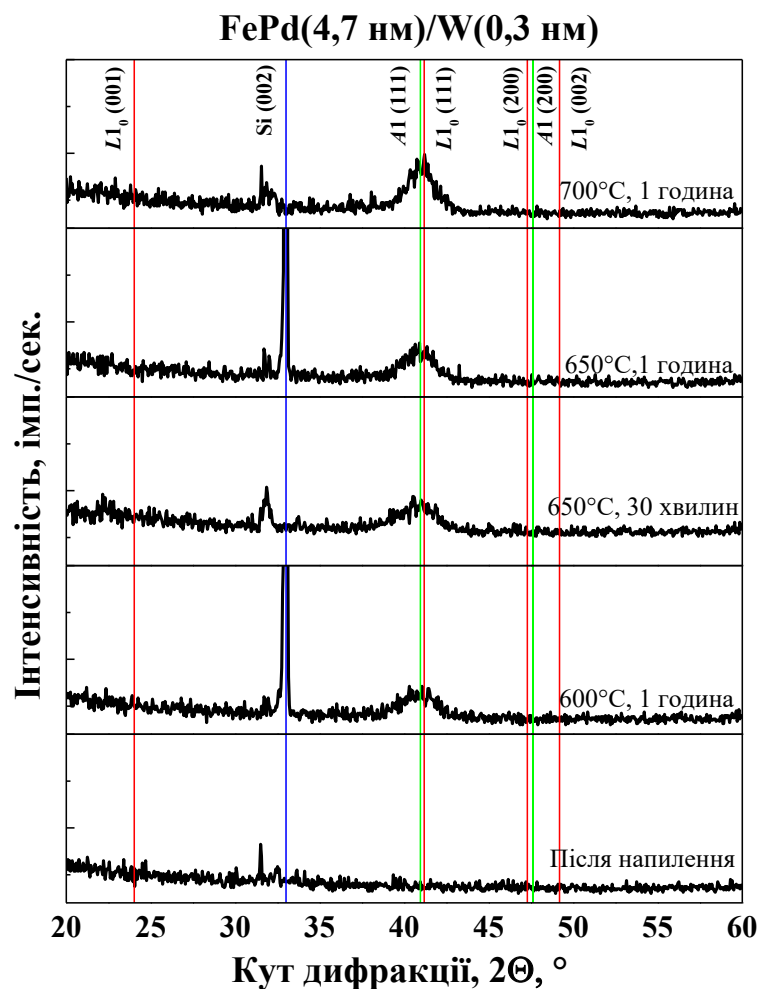


Рисунок 3.3 – Дифрактограма плівкової композиції FePd(4,7 нм)/W(0,3 нм) після осадження та відпалів

Слабка інтенсивність та велике значення напівширини дифракційного максимуму (111) на дифрактограмах плівкових композицій після відпалів, в порівнянні з плівкою чистого сплаву FePd (5 нм) вказує на сповільнення росту зерен фази FePd під час термічної обробки.

На рисунку 3.4 показані залежності нормованого квантового опору Холла, від напруженості магнітного поля які отримані методом Ван дер Пау. Збільшення температури відпалу у вакуумі з 650 °С до 700 °С призводить до розширення петель гістерезису, що вказує на збільшення коерцитивної сили з 17 Е до 705 Е. Це зростання коерцитивної сили при збільшенні температури відпалу вказує на збільшення кількості впорядкованої $L1_0$ фази в нанорозмірній плівковій композиції FePd(4,7 нм)/W(0,3 нм). Хоча формування впорядкованої фази було не виявлено рентгеноструктурним аналізом, що може бути пов'язано з малою кількістю фази по відношенню до чутливості методу.

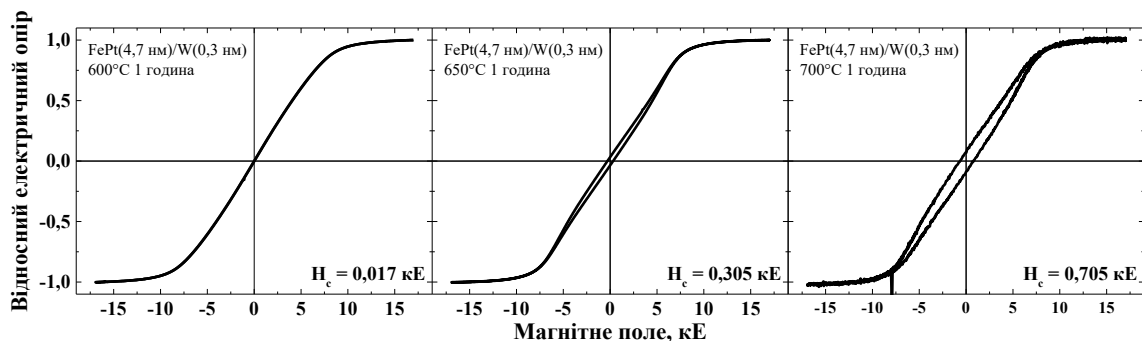


Рисунок 3.4 – Петлі гістерезису отримані методом дослідження квантового опору Холла

3.4. Вплив атмосфери відпалу у вакуумі на формування фазового складу і структури нанорозмірних плівкових композицій FePd(5 нм) і FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм)

Картини рентгенівської дифракції від плівкових композицій FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм) після осадження та відпалу у вакуумі представлені на

рисунку 3.5. Під час осадження в плівках була сформована рентгеноаморфна структура.

Можна бачити, що на дифрактограмах плівкових композицій FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм) після відпалу за температури 650 °С у вакуумі спостерігаються рефлекси (111) та (200), які належать невпорядкованій фазі Al-FePd. При збільшенні тривалості відпалу спостерігається зростання інтенсивності рефлексу (111), це вказує переважну орієнтацію кристалітів фази FePd в напрямку (111). Після відпалу тривалістю 20 годин спостерігається слабкий рефлекс від впорядкованої фази.

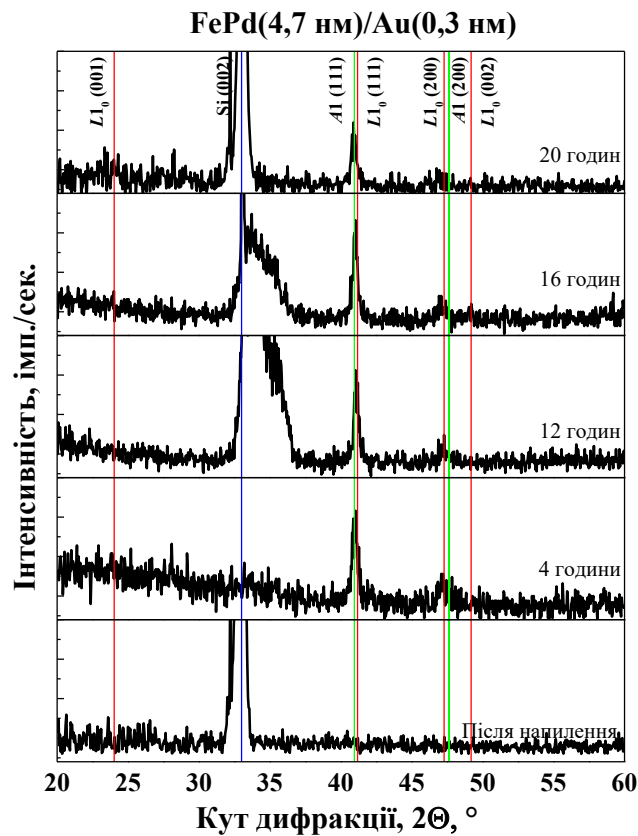
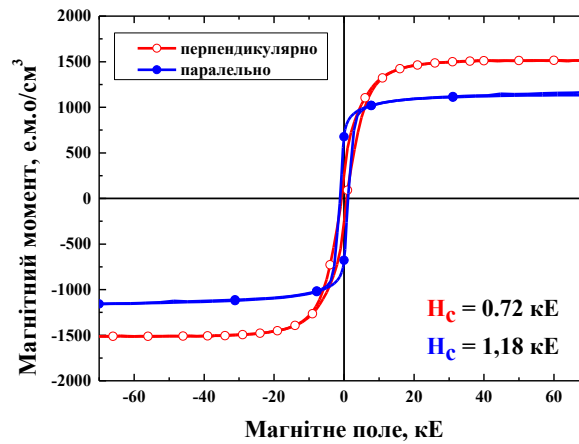


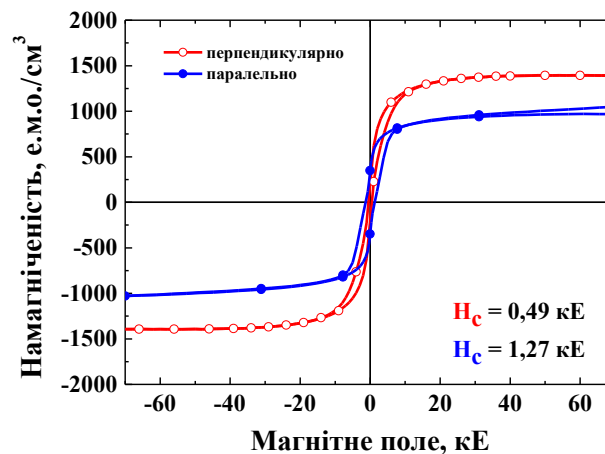
Рисунок 3.5 – Дифрактограми плівкових композицій FePd(4,7нм)/Au(0,3 нм) після відпалу при 650 °С у вакуумі з витримкою 20 год

Для оцінки магнітних властивостей плівкових композицій FePd/Au після термічного відпалу у вакуумі методом SQUID магнітометрії були отримані петлі магнітного гістерезису у паралельному та перпендикулярному магнітному полях (рис. 3.6). Після відпалу за температури 600 °С протягом 20

годин тонка плівка FePd/Au має коерцитивну силу порядку 1 кЕ, що вказує на формування магнітно-твердої фази. При цьому спостерігається перпендикулярна анізотропія магнітних властивостей плівок.



а – FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм) після відпалу при температурі відпалу 600 °С



б – FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм) після відпалу при температурі відпалу 650 °С

Рисунок 3.6 – Криві магнітного гістерезису плівкових композицій: після відпалу у вакуумі протягом 20 годин

В таблиці 3.1 наведені значення коерцитивної сили та намагніченості насичення досліджуваних плівок. Не дивлячись на те, що рентгеноструктурний аналіз не виявив ознак формування впорядкованої фази, в плівковій системі Fe₅₀Pd₅₀(4,7 нм)/Au(0,3 нм) після довготривалого відпалу у вакуумі, однак збільшення коерцитивної сили та зміна абсолютного значення намагніченості насичення, є ознаками її наявності в плівках.

Залежність магнітних властивостей плівок FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм) від геометрії (паралельно, перпендикулярно) прикладеного магнітного поля вказує на анізотропію магнітних властивостей, яка може вказувати на формування переважної (001) орієнтації в зернах FePd. В плівках чистого сплаву FePd цієї залежності не спостерігається.

Таблиця 3.1 – Коерцитивна сила плівок FePd/Au після термічної обробки за температури відпалу 650 °С при магнітному полі прикладеному у напрямку, перпендикулярно площині плівки

	Геометрія магнітного поля	Тривалість витримки, год.	Коерцитивна сила, кЕ	Намагніченість насичення, е.м.о/см ³
FePd(5 нм)	Паралельна	20	4,05	1096
	Перпендикулярна	20	3,44	1102
FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм)	Паралельна	20	1,27	980
	Перпендикулярна	20	0,49	1413

3.5. Аналіз хімічного складу та товщини шарів плівкових систем Fe₅₀Pd₅₀/Au(0,3 нм)/SiO₂(100 нм)/Si(001) після осадження та відпалів методом резерфордівського зворотного розсіювання

На рисунку 3.7 – 3.8 зображено експериментальні та змодельовані за допомогою додатку *SIMNRA* спектри резерфордівського зворотного розсіювання отримані від плівкових систем Fe₅₀Pd₅₀/Au(0,3 та 0,6 нм)/SiO₂(100нм)/Si(001) після осадження. Енергія кожного рефлексу залежить від природи елементу і є якісною характеристикою речовини.

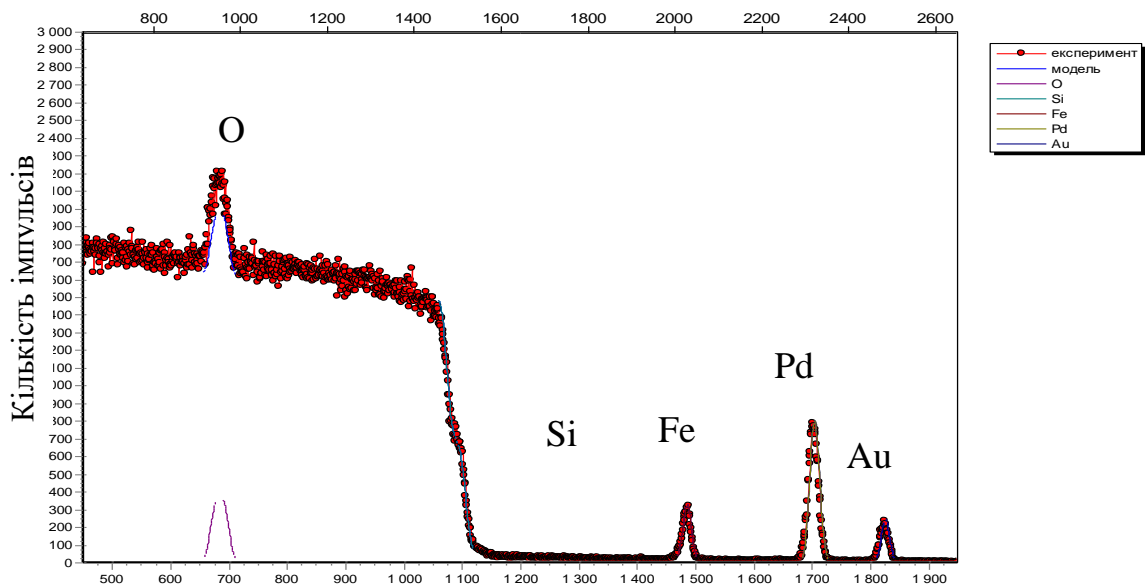


Рисунок 3.7 –Спектри резерфордівського зворотного розсіювання плівкової композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}(0,6 \text{ нм})/\text{SiO}_2(100\text{нм})/\text{Si}(001)$ після осадження

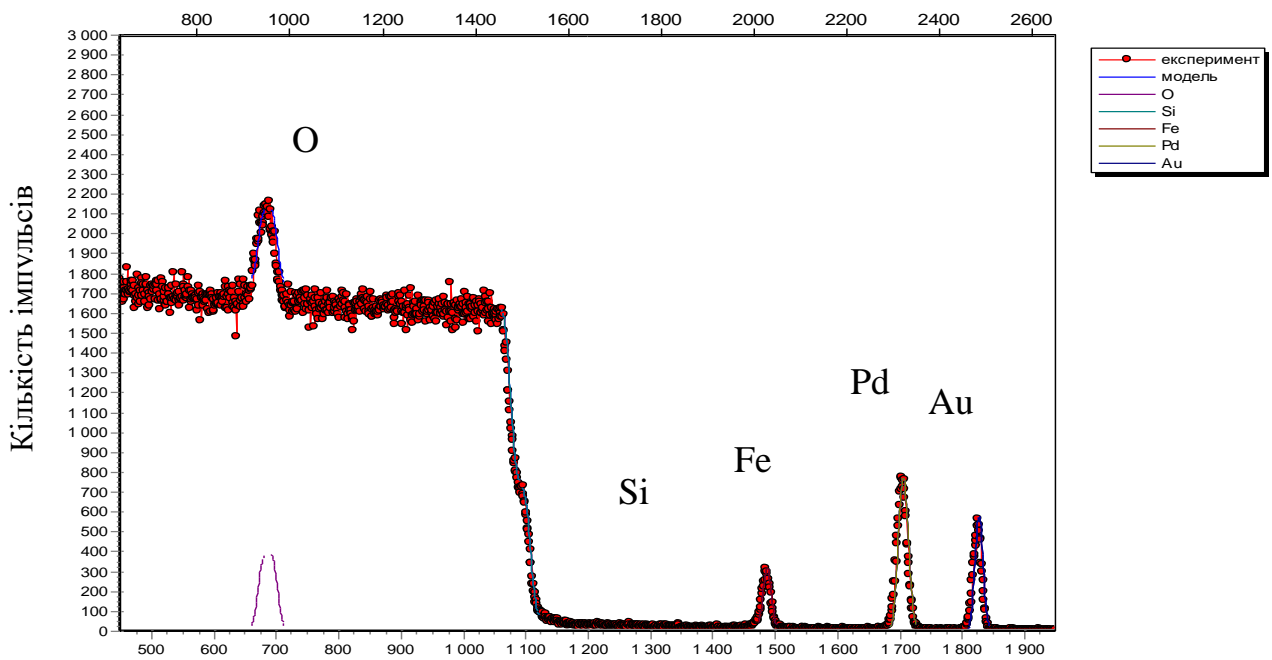


Рисунок 3.8 –Спектри резерфордівського зворотного розсіювання плівкової композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}(0,6 \text{ нм})/\text{SiO}_2(100\text{нм})/\text{Si}(001)$ після осадження

На рисунку 3.9 зображено спектри резерфордівського зворотного розсіювання отримані від плівкових систем $\text{Fe}_{50}\text{Pd}_{50}/\text{Au}(0,9)/\text{SiO}_2(100\text{нм})/\text{Si}(001)$ після осадження. Енергія кожного

рефлексу залежить від природи елемента і є якісною характеристикою речовини.

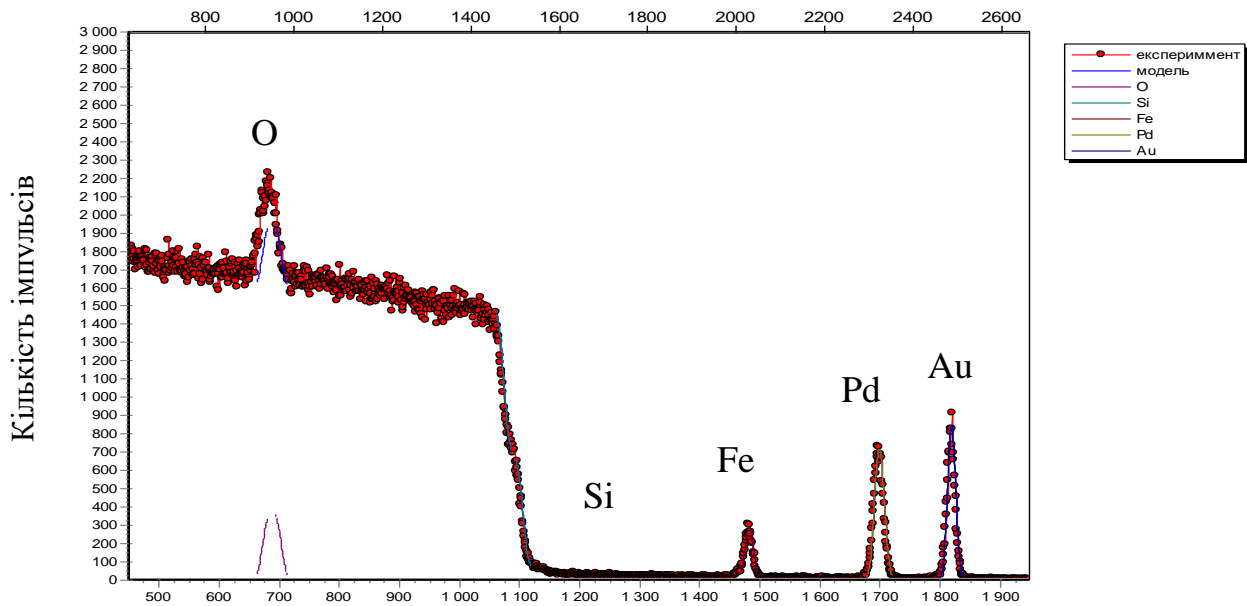


Рисунок 3.9 –Спектри резерфордівського зворотного розсіювання плівкової композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Au}(0,9 \text{ нм})/\text{SiO}_2(100\text{нм})/\text{Si}(001)$ після осадження

Енергія кожного рефлексу залежить від природи елемента і є якісною характеристикою речовини. Так, аналізуючи спектр, можемо стверджувати про наявність у плівці таких елементів як O, Si, Fe, Pd, Au. Перший широкий пік в діапазоні малих енергій на спектрі утворився в результаті розсіювання на підкладці термічно окисненого кремнію. На ньому можна окремо виділити рефлекс від O, а також сходинку отриману від розсіювання на SiO_2 . Ширина піків на спектрі пропорційна товщині шару до складу якого входить певний елемент.

Порівнюючи спектри отримані експериментальним шляхом із теоретично розрахованими, можна також визначити товщину окремих шарів у плівкових композиціях (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку товщини шарів плівкової композиції Fe₅₀Pd₅₀ (5-х нм)/Au (0,3 нм)/ SiO₂(100 нм)/Si(001) після осадження

Елементний склад шару	Концентрація елементів, ат. %	Товщина шару, атом./см ²	Розрахована товщина шару, нм	Задана товщина шару, нм
FePd	50/50	$36,8 \cdot 10^{15}$	4,99	5
Au	100	$1,465 \cdot 10^{15}$	0,25	0,3
FePd	50/50	$31 \cdot 10^{15}$	4,2	4,7
Au	100	$2,95 \cdot 10^{15}$	0,53	0,6
FePd	50/50	$29 \cdot 10^{15}$	3,93	4,1
Au	100	$5 \cdot 10^{15}$	0,85	0,9

Таким чином, розрахована товщина шарів композиції виявилась дещо меншою за задану величину, але знаходиться в межах похибки методу, яка становить $\approx 20\%$. Пропорційне відношення товщин шарів при цьому зберіглося.

Аналіз спектрів резерфордівського зворотного розсіювання також можемо стверджувати про те, що під час осадження в плівці не відбулось дифузійного перемішування шарів а також утворення нових фаз чи хімічних сполук.

Висновки до розділу 3

1 Рентгеноструктурний фазовий аналіз показав, що під час осадження в пліках FePd та FePd/Me (Me = W та Au) формується рентгеноаморфна структура. Відпал у вакуумі призводить до формування текстури (111) у сплаві FePd. Відпал за температури 650 °C тривалістю 20 годин призводить до появи ознак формування впорядкованої фази L1₀ на дифрактограмах .

2 Дослідження магнітних властивостей плівок показує, що в плівках FePd та FePd/W формується магнітнотверда фаза, яка є ізотропною. Додавання

легуючого шару W до нанорозмірної плівкової композиції ускладнює ріст зерен. Додавання підшару золота (Au) до сплаву FePd призводить до появи анізотропії магнітних властивостей, при цьому зменшується коерцитивна сила плівок.

3 Хімічний склад плівок досліджений Резерфордівським зворотнім розсіюванням показав, що розрахована товщина шарів композиції виявилась дещо меншою за задану величину, але знаходиться в межах похибки методу, яка становить $\approx 20\%$. Пропорційне відношення товщин шарів при цьому зберіглося.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає в розробці плівкового матеріалу з високими магнітними властивостями, що може бути використаний в якості носія надщільного магнітного запису (табл. 4.1).

Перспективними для даного стартап-проекту є нанорозмірні плівкові композиції FePd(4,7 нм)/W(0,3 нм) та FePd(4,7 нм)/Au(0,3 нм) осаджені на підкладках SiO₂/Si(001) та піддані подальшому відпалу у вакуумі за температури (600 – 700) °С з різною тривалістю.

Оцінку ринкової спроможності даного матеріалу можна дати лише в обмеженому вигляді, оскільки дослідження структурно-фазового складу, а також властивостей даного плівкового матеріалу досі тривають.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Розробка нових плівкових матеріалів для використання в якості носія надщільного магнітного запису	1 Інформаційно-комп'ютерні технології	Збільшення об'єму інформації, що зберігається на жорсткому диску та підвищення швидкості доступу до неї, зменшення розмірів носія.
	2 Технології магнітного запису інформації	

4.2 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Собівартість науково-дослідної роботи розраховувалась у відповідності з наступними калькуляційними статтями витрат:

- заробітна плата науково-виробничого персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів;

- вартість обладнання;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.2.1 Визначення заробітної плати персоналу

Розрахунок заробітної плати науково-виробничого персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їх денної заробітної плати.

Під час проведення науково-дослідної роботи дослідження проводили чотири виконавці: провідний науковий співробітник, старший науковий співробітник, інженер-дослідник та технік. Для КПІ ім. Ігоря Сікорського місячні посадові оклади заробітної плати складають:

- провідного наукового співробітника – 12828 грн.;
- старшого наукового співробітника – 12052 грн.;
- інженера-дослідника – 6096 грн.;
- лаборанта – 4210 грн.

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць). Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає:

- для провідного наукового співробітника – 605,09 грн.;
- старшого наукового співробітника – 568,49 грн.;
- інженера-дослідника – 287,55 грн.;
- технік – 193,87 грн.

Трудомісткість виконання етапів науково-дослідної роботи наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Трудомісткість макроетапів виконання науково-дослідної роботи

Найменування етапів науково-дослідної роботи	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів			
	Провідний науковий	Старший науковий співробітни	Інженер-дослідник	Технік
1. Аналіз фахових публікацій за темою	3	6	–	–
2. Обґрунтування мети та напрямів дослідження	2	2	–	–
3. Розробка методики проведення досліджень	3	4	8	–
4. Проведення експерименту:				
4.1 Відпал та резистометрія зразків	–	4	12	5
4.2 Рентгеноструктурний аналіз плівкових композицій	–	2	2	2
4.3 Резерфордівське зворотне розсіювання	–	2	4	3
4.4 SQUID магнітометрія	–	2	4	3
4.5 Методика Ван дер Пау)	–	2	4	3
5. Обговорення результатів	5	5	4	–
Всього	13	29	38	16

Величина фонду заробітної плати (ЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з виконавців:

$$\text{ЗП} = 13 \cdot 605,09 + 29 \cdot 568,49 + 38 \cdot 287,55 + 16 \cdot 193,87 = 38381,2 \text{ грн.}$$

4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) – це обов’язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Наразі ЄСВ буде становити: $ЄСВ = 0,22 \cdot 38381,2 = 8443,86$ грн.

4.2.3 Визначення вартості матеріалів

В даній науково-дослідній роботі використовувались зразки FePd/W FePd/Au, осаджені на підкладинки монокристалічного SiO₂(001). Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
Зразки FePd/W	шт.	10	152	1520
Зразки FePd/Au	шт.	15	147	2205
Офісний папір	упаковка	2	120	240
Загальні витрати на матеріали				3965

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо на рівні 10 % від планової вартості загальних витрат на матеріали: $T_v = 3965 \cdot 0,1 = 396,5$ грн.

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити: $V_m = 3965 + 396,5 = 4361,5$ грн.

4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

Всі дослідження в науково-дослідній роботі виконувались на обладнанні, що наявне в лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій

Послуги сторонніх організацій не використовувались під час виконання науково-дослідної роботи. Всі дослідження передбачені даною роботою виконувались в лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.2.6 Витрати на службові відрядження

Окремі службові відрядження не планувались під час проведення науково-дослідної роботи.

4.2.7 Інші прямі неврахована витрати

При проведенні роботи інші прямі витрати приймаємо на рівні 10 % від суми врахованих витрати на виконання НДР.

$$I_B = (ЗП + ЄСВ + V_M) \cdot 0,1, \quad (4.1)$$

$$I_B = (38381,2 + 8443,86 + 4361,5) \cdot 0,1 = 5118,66 \text{ грн.}$$

4.2.8 Накладні витрати

Норматив відрахувань на накладні витрати (H_B) для КПІ ім. Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 16 % планової суми прямих витрат на виконання науково-дослідної роботи.

$$H_B = (ЗП + ЄСВ + V_M + I_B) \cdot 0,16, \quad (4.2)$$

$$H_B = (38381,2 + 8443,86 + 4361,5 + 5118,66) \cdot 0,16 = 9008,84 \text{ грн.}$$

4.3.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість науково-дослідної роботи визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова кошторисна вартість науково-дослідної роботи

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Обґрунтування
1. Витрати на оплату праці	38381,2	Відповідно до розрахунків
2. Єдиний соціальний внесок	8443,86	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3. Матеріали необхідні для проведення досліджень	3965	Відповідно до розрахунків
4. Спеціальне обладнання для наукових робіт	–	У нашому випадку не передбачено
5. Роботи і послуги сторонніх організацій	–	У нашому випадку не передбачено
6. Витрати на службові відрядження	–	У нашому випадку не передбачено
7. Інші прямі невраховані витрати	5118,66	10 % від суми прямих розрахованих витрат
8. Накладні витрати	9008,84	16 % від суми прямих витрат
Усього витрат	64917,56	Сума попередніх статей

Планова кошторисна вартість проведення науково-дослідної роботи за темою «Формування впорядкованої фази LI_0 -FePd у нанорозмірних плівках FePd-W та FePd-Au» становить 64917,56 грн.

В таблиці 4.5 наведено аналіз сильних, слабких та нейтральних сторін проекту у порівнянні з конкурентами.

Таблиця 4.5 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			
		Даний проект	Конкурент 1 Seagate Technology	Конкурент 2 Western Digital	Конкурент 3 Toshiba
		Середовище магнітного запису інформації			
1	Собівартість плівкової композиції	Дешевший	Дорожчий	Дорожчий	Дорожчий
		S	W	W	W
2	Вартість установки для запису інформації	Мінімальна (стандарне устаткування)	Висока вартість	Висока вартість	Висока вартість
		S	W	W	W
3	Коерцитивна сила	Менша	Більша	Більша	Більша
		W	N	N	N
4	Намагніченість насичення	Стандартна	Стандартна	Стандартна	Стандартна
		N	N	N	N
5	Екологічність (обсяг відходів)	Витратні матеріали	Витратні матеріали	Витратні матеріали	Витратні матеріали
		W	W	W	W

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

Виходячи з характеристик наведених у табл. 4.5 можна зробити висновок, що головними техніко-економічними характеристиками, що формують конкурентоспроможність є собівартість плівкових композицій, а також вартість установки для запису інформації.

В таблиці 4.6 представлені технології, які були використані для виготовлення та термічної обробки експериментальних зразків.

Таблиця 4.6 – Технологічна здійсненність ідеї проекту – розробка нанорозмірних плівкових композицій для використання в якості середовища надщільного магнітного запису

Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Технологія магнетронного осадження	Технологія існує	Доступна
Технології повздовжнього запису	Технологія існує	Доступна
Технології перпендикулярного запису	Технологія існує	Доступна
Технології термоактивованого запису	Технологія потребує розроблення для даного конкретного випадку	Зараз не доступна, існують прототипи

Як видно з табл. 4.6 запропонований проект можливо технологічно реалізувати, адже об'єкт даного дослідження (нанорозмірні плівкові композиції FePd-W та FePd-Au) є лише малою частиною жорсткого диску. Є можливість спробувати записати інформацію на жорсткий диск, виготовлений на основі нанорозмірних плівкових композицій FePd-W та FePd-Au після термічної обробки у вакуумі за допомогою технології перпендикулярного магнітного запису.

На сьогоднішній день на ринку жорстких дисків конкурують між собою відразу кілька виробників: Seagate Technology, Toshiba, Hitachi, Samsung, Western Digital (WD) та ін.

Кожна з цих компаній намагається привернути більшу увагу користувачів, використовуючи різноманітні технічні особливостями або іншими відмінності від інших компаній.

В таблиці 4.7 наведено попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 4.7 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних виробників, од	Виробництвом жорстких дисків зараз займаються п'ять основних компаній: 1) Seagate Technology; 2) Toshiba; 3) Hitachi; 4) Samsung 5) Western Digital;
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од, 2019 рік	320 млн. од. (всі виробники)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	В 2020 році випуск комп'ютерних вінчестерів впаде до 305 млн. штук.
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарт FIPS 140-2, ISO 40001, ISO 40002, ISO 13485
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку)	> 1

У табл. 4.8 наведено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 4.8 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Швидкість обробки інформації на жорстких дисках	Компанії які виготовляють жорсткі диски: – Western digital technologies inc;	– стандарти; – технічні регламенти; – специфікації; – обсяги закупок;	– висока щільність запису; – низька собівартість;
2	Збільшення щільності запису інформації на диск	– Seagate; – Hitachi; – Fuji; – Toshiba; – Samsung ; – Transcend; – Verbatim.	– умови експлуатації.	– висока швидкість обробки інформації; – висока надійність.

Попередня оцінка ринку, проведена в таблиці 4.7, дозволяє зробити висновок, що входження на ринок з даним стартап-проектом цілком можливе, адже споживчий ринок вже повністю переорієнтувався на твердотільні накопичувачі. Виробники жорстких дисків давно зрозуміли цю тенденцію і також представляють свої прототипи нових запам'ятовуючих пристроїв. Однак вінчестери прекрасно працюють в таких галузях як центри обробки даних, мережевих сховищах і системах відеоспостереження. Крім того, вони все ще дешевше SSD, тому застосовуються в комп'ютерах для зберігання великих обсягів даних або для здешевлення.

Впровадження даного проекту може сприяти покращенню ситуації на світовому ринку завдяки тому, що підвищення щільності запису інформації

дає змогу підвищити швидкість запису і обробки даних, а також зменшити розміри носія.

Після визначення потенційних груп клієнтів проведено аналіз ринкового середовища (табл. 4.9 – 4.10): розроблені таблиці факторів загроз та можливостей реалізації проекту.

Таблиця 4.9 – Фактори загроз стартап-проекту

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільність політичної та економічної ситуації	Зменшення попиту та інвестування	Приймання участі у програмах (локальних та міжнародних) для залучення додаткових інвестицій.
		Зменшення кількості енергетичних ресурсів, ріст цін на вихідні матеріали	Перехід на інші види джерел енергії, залучення додаткових інвестицій.

Таблиця 4.10 – Фактори можливостей стартап-проекту

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Зменшення собівартості товару	Зменшення витратних матеріалів	Збільшення обсягу виробництва
2	Зменшення розміру жорсткого диску	Принципово нові можливості виготовлення комп'ютерів	Збільшення обсягу продажу.
3	Збільшення щільності запису інформації		

В таблиці 4.11 представлено SWOT-аналіз сильних та слабких сторін, а також можливостей та загроз стартап-проекту.

Таблиця 4.11 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – здатність полегшити запис інформації на жорсткий диск завдяки меншій коерцитивній силі матеріалу; – спрощення технології виготовлення жорсткого диску завдяки меншій температурі формування феромагнітного матеріалу; – збільшення якості зчитування інформації завдяки високій намагніченості насичення. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – стовпчаста структура перешкоджає однорідному запису інформації; – необхідність проведення подальших досліджень та створення прототипу. – невірно задані параметри термічної обробки в атмосфері водню можуть призвести до руйнування магнітного матеріалу.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> – здатність прийняти участь в міжнародних наукових проектах, направлених на розробку носіїв надщільного магнітного запису; – можливість співпраці з компаніями виробниками жорстких дисків. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> – технологічна складність реалізації термічної обробки в атмосфері водню в промислових масштабах; – зменшення попиту на ринку жорстких дисків.

Дослідження плівкових композицій на основі системи FePd досі триває, тому оцінити ринкову спроможність та створити маркетингову модель товару неможливо. В науково-дослідній роботі досліджено: вплив режиму термічної обробки (тривалості термічної обробки при заданій температурі) та введення додаткового шару W та Au на процеси структурно-фазових перетворень плівкових композицій. Так як дані плівкові композиції все ще досліджуються, вони є лише перспективними для використання в якості носія магнітного запису з надвисокою щільністю.

4.3 Висновки до розділу 4

Проведено оцінку ринкових можливостей стартап-проекту «розробка плівкового матеріалу з високими магнітними властивостями, що може бути використаний в якості носія магнітного запису з надвисокою щільністю.

Впровадження даного проекту на світовий ринок є перспективним тому, що підвищення щільності запису інформації дає змогу підвищити швидкість запису і обробки даних, а також зменшити розміри носія. Для проведення повної оцінки ринкових спроможностей даного проекту необхідно проведення подальших досліджень.

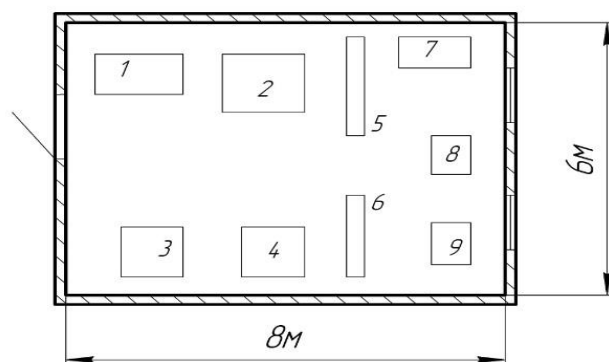
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою даного розділу є аналіз шкідливих та небезпечних для організму факторів, умов, що можуть привести до травмування в процесі дослідження процесів фазоутворення в нанорозмірних плівкових композиціях FePd-W та FePd-Au під час термічної обробки в вакуумі, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та забезпечення безпеки під час надзвичайних ситуаціях.

При аналізі умов праці при виконанні даної магістерської роботи необхідно розглянути наступні чинники, що впливають на працездатність: план робочого приміщення, мікроклімат, освітлення, шум, вібрації, опромінення, електрична та пожежна безпека.

5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні

Науково-дослідницька робота проводилась на кафедрі фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського в лабораторії електронографії № 403, 4 поверх, корпус № 19. План-схема лабораторного приміщення з позначеними робочими місцями та встановленим обладнанням зображена на рисунку 5.1.



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

Рисунок 5.1 – План схема лабораторного приміщення

Загальна площа лабораторії, яка розрахована на трьох працівників, складає 48 м², об'єм – 182 м³. На кожну людину відведено 16 м² площі та 60,7 м³ об'єму. Площа та об'єм лабораторного приміщення задовольняє норми, які описані в ДСан ПіН 3.32 – 007 – 98, де вказано, що на робоче місце однієї людини повинно бути відведено не менше 6 м² площі та 20 м³ об'єму [42].

В постанові Міністерства охорони здоров'я ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень” вказані оптимальні і допустимі температура, відносна вологість та швидкість руху повітря в робочій зоні для різних пір року в залежності від категорії важкості роботи [43].

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [44] проведене дослідження відповідає категорії І 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. Виміряні в приміщенні лабораторії №403 та оптимальні нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Мікроклімат лабораторного приміщення № 403 та ДСН 3.3.6.042-99 [44]

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Факт.	Опт.	Факт.	Опт.	Факт.	Опт.
Холодний	Легка І б	21	21-23	55	<60	0,12	0,1
Теплий		22	22-24	45	<60	0,21	0,2

Основаючись на проведених вимірюваннях можна стверджувати, що параметри мікроклімату лабораторного приміщення, в якому виконувалась магістерська робота відповідає діючим санітарним вимогам.

5.2 Аналіз освітлення приміщення лабораторії

В залежності від джерела світла освітлення може бути природним (розсіяні на небосхилі або прямі сонячні промені); штучним (освітлення електричними пристроями) та 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].

В приміщенні лабораторії № 403 реалізована схема суміщеного освітлення. В світлий час доби приміщення освітлюється природним 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 [46]. 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 [47].

5.3 Виробничі випромінювання

Умови праці в лабораторії регламентуються документом: "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)" [48].

5.3.1 Випромінювання від рентгенівського дифрактометра

Дослідження фазових та структурних перетворень в нанорозмірних плівках Pd/Cu/Fe проводилось методами рентгеноструктурного фазового аналізу на рентгенівському дифрактометрі Rigaku ULTIMA IV, що знаходиться в лабораторії 103 на кафедрі фізики металів.

Рентгенівське випромінювання відноситься до електромагнітного випромінювання (фотонного), яке випромінюється при різкій зміні швидкості електрону. Рентгенівське випромінювання – короткохвильове електромагнітне випромінювання, довжина хвилі якого знаходиться в межах від 0,01 нм до 10 нм.

Джерелом рентгенівського випромінювання в лабораторних пристроях є рентгенівська трубка. Випромінювання створюється при зіткненні електронів, що летять від вольфрамового катоду, з анодом. Прискорююча напруга в трубці складає 20 кВ – 50 кВ [49].

Рентгенівський дифрактометр є джерелом іонізуючого випромінювання. При закритих шторках вікон та без напруги на рентгенівській трубці дифрактометр є радіаційно-безпечним для обслуговуючого персоналу. Дифрактометр оснащений захисним склом, що містить солі свинцю, яке поглинає рентгенівське випромінювання. Радіаційний захист персоналу повинен бути організований таким чином, що між працівником та вихідним вікном рентгенівської трубки завжди знаходився захисний екран [49]. Усі працюючі на дифрактометрі, як і на інших рентгенівських апаратах, повинні в обов'язковому порядку пройти інструктаж з техніки безпеки, який здійснює офіційно затверджений для цього фахівець [49], в лаб. 103 – це Карпець М.В.

Важливим вражаючим фактором іонізуючого випромінювання є іонізація молекул повітря, мікрочастинок та пилу. Потрапляння іонізованих

частинок в організм людини може завдати шкоду здоров'ю. Забезпечення безпечних умов праці досягається шляхом використання захисних пристроїв, організацією необхідних організаційно-технічних заходів та суворим виконанням правил техніки безпеки. Організаційно-технічні заходи включають раціональне розташування апаратури та допоміжних пристроїв.

Для забезпечення належного захисту працівників від опромінення в залежності від конструкції апаратури та особливостей досліджуваних зразків необхідно проведення наступних заходів:

- визначення за допомогою дозиметрів безпечних зон і зон підвищеної небезпеки біля апарату;
- дозиметричний контроль;
- складання робочих інструкцій і правил техніки безпеки;
- заходи щодо ліквідації аварійної обстановки, спеціальне навчання і профогляди.

Робота на апаратах з відключеними або знятими захисними пристроями суворо заборонена [49].

5.3.2 Випромінювання від ЕОМ

Нормативні показники виробничого випромінювання визначаються санітарними нормами ДСанПіН 3.3.2-007-98 «Гігієнічні вимоги до відеодисплейних терміналів і ПЕОМ і організації роботи» [42].

Під час роботи за ЕОМ на організм працівника може мати вплив невикористані рентгенівські промені, ультрафіолетове випромінювання та електростатичне поле від монітору.

Для попередження соматичних або інших негативних наслідків для організму працівника під час роботи встановлені норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання, що має бути менше за $2,78 \cdot 10^{-2}$ мкР/с (100 мкР/год) на відстані 5 см від будь-якої поверхні яка обернена в сторону працівника. Потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від будь-якої поверхні приладу

не повинна перевищувати 0,07 мкР/с при 41-годинному робочому тижні [45]. Оскільки більша частина роботи проводиться за ЕОМ було вирішено, що час роботи за ЕОМ не має перевищувати 4 годин з технологічними перервами кожну годину.

5.4 Виявлення і аналіз наявності шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку

Шум – це сукупність різних за інтенсивністю та частотою звуків, які виникають внаслідок механічних вібрацій робочої апаратури та можуть заважати сприйняттю корисних сигналів [47].

При виконанні даної магістерської роботи джерелами шуму були вакуумні універсальні пости ВУП-5 та персональні комп'ютери, які знаходяться в приміщенні лабораторії.

Для зниження небажаного впливу шуму на людину можуть бути використані наступні методи:

- зменшення шуму безпосередньо в джерелах;
- ізоляція джерел шуму засобами звуко – та віброізоляції;
- архітектурно-планувальні рішення, спрямовані на раціональне розміщення технологічного устаткування, машин та механізмів;
- акустичне опрацювання робочих приміщень або застосування засобів індивідуального захисту.

ДСН 3.3.6.037-99 встановлює основні принципи визначення параметрів шуму виходячи з класифікації приміщень за їх трудовим призначенням та встановлює граничні величини шуму.

Вібрація має механічний вплив на організм людини та може бути причиною порушення його функціонування. Джерелом вібрацій під час виконання магістерської роботи 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 фундамент. Джерела коливань ізолювані від опорних конструкцій гумовими прокладками, пружинами або іншими віброізоляторами.

5.5 Електричний струм

Згідно з діючими правилами улаштування електроустановок ПУЕ-2017 приміщення лабораторії № 403 за безпекою електротравм відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки [50]. Це сухе приміщення з оптимальною температурою повітря та струмонепровідною підлогою. Електричні установки, що використовувались при виконання даної магістерської роботи живляться напругою 220 В (ОЕМ) та 380 В (вакуумний універсальний пост ВУП-5М, електронограф ЕМР – 100) з частотою 50 Гц.

Причинами можливого ураження електричним струмом можуть бути:

- 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, неухважність при роботі.

Дія електричного струму на організм може мати небезпечні для здоров'я людини наслідки і навіть привести до смерті. При проходженні через тіло людини струм здійснює термічний (опіки, пошкодження судин), електролітичний (розкладення органічних сполук) та біологічний вплив. Напруга доторкання та струми, які протікають через тіло людини при нормальному (неаварійному) режимі електроустановки, для струму з частотою 50 Гц не повинні перевищувати значення: $U_{dot{om}} = 2,0$ В та $I = 0,3$ мА.

В лабораторії захисне заземлення електроустаткування і приладів проведено правильно. Причиною можливого ураження електричним струмом може бути пробій на корпусі установки або пошкодження ізоляції кабелів.

5.6 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків. Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. № 1198 [42].

Під час виконання науково-дослідницької роботи можливе виникнення наступних надзвичайних ситуацій: пожежі, вибуху, землетрусу, аварії на електроенергетичних системах, раптового руйнування будівлі.

5.6.1 Пожежна безпека

Проаналізуємо імовірність виникнення пожежі в приміщенні та засобів її запобігання.

Пожежа відноситься до 1 класу надзвичайних ситуацій (ситуацій техногенного характеру).

Згідно з ОНТП24-86 приміщення лабораторії 403-9 за пожежонебезпекою відноситься до категорії “В” (В лабораторії є горючі та важкогорючі рідини, також тверді горючі та важкогорючі речовини. Приміщення, в якому вони знаходяться, не відносяться до категорії А або Б) [50].

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;
- ремонт устаткування на ходу;
- неправильне користування устаткуванням.

Для гасіння полум'я на електроустановці, що знаходиться під наругою необхідно використовувати вуглекислотний чи вуглекислотно брометиловий вогнегасник.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вуглекислотно брометиловий вогнегасник ОУБ-3 (ГОСТ 111564-65), а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Також в корпусі, на кожному поверсі є план евакуації (рис. 5.2).

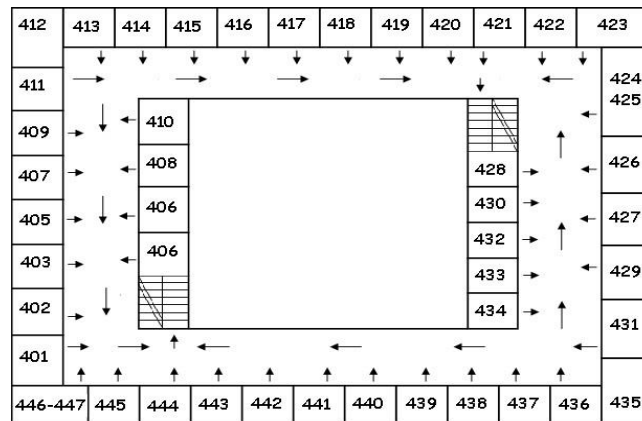


Рисунок 5.2 – План евакуації під час пожежі

Основними заходами профілактики пожежної безпеки є:

- 1) регулярна перевірка працездатності засобів пожежогасіння та систем пожежної сигналізації;

- 2) не допускання паління у непризначених для цього місцях та поблизу легкозаймистих речовин;
- 3) перевірка справності електричної проводки;
- 4) щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500 В [49].

5.6.2 Безпека в аварійних ситуаціях

В разі пробою електричної напруги на корпус вакуумної установки ВУП-5М необхідно відключити пристрій від напруги та повідомити про це відповідальну особу за безпеку правці в лабораторії № 403-19.

При ураженні особи електричним струмом від установки необхідно відключити установку від напруги, покласти потерпілого на рівну поверхню, підкласти під голову подушку та викликати невідкладну допомогу за телефоном 103. За необхідності надати першу медичну допомогу.

В разі вимкнення напруги необхідно відтиснути всі кнопки на панелі керування вакуумною системою та вимкнути подачу напруги на установку. Подачу води необхідно залишити до повного охолодження дифузійного насоса.

Про відсутність охолоджуючої рідини сповіщає сигнал «НЕТ ВОДЫ». В разі його спрацювання необхідно негайно вимкнути установку та охолодити дифузійний насос вологим ганчір'ям або переносним вентилятором.

5.7 Висновки до розділу 5

Було проведено аналіз параметрів робочого приміщення, які мають вплив на здоров'я та працездатність людини, а саме: мікроклімату, освітленості, шуму, вібрації, електричної та пожежної безпеки. Мікроклімат та освітленість задовольняють вимоги санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та випромінення знаходяться в межах допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що тонкоплівкові матеріали на основі еквіатомного сплаву FePd з впорядкованою $L1_0$ структурою є перспективним матеріалом для використання в якості середовища надщільного магнітного запису наступного покоління, завдяки їх високим значенням магнітної анізотропії, коерцитивної сили та намагніченості насичення.

2. Відпал тонких плівок FePd/Me (Me = Au, W) у вакуумі призводить до формування аксіальної текстури FePd (111) не залежно від елемента додаткового підшару. Рентгеноструктурний аналіз не виявив ознак формування впорядкованої структури в тонких плівках.

3. Термічна обробка тонких плівок FePd/Me (Me = Au, W) у вакуумі призводить до зміни їх магнітних властивостей. Спостерігається зростання коерцитивної сили при збільшенні температури та тривалості відпалу, що свідчить про зародження упорядкованої фази $L1_0$ -FePd. Додавання підшару Au(0,3нм) призводить до зменшення коерцитивної сили та виникнення перпендикулярної магнітної анізотропії плівки FePd.

4. За результатами проведених досліджень був підготований стартап проект, який є економічно доцільним та може бути реалізованим у жорстких дисках великої ємності.

5. Встановлено, що умови мікроклімату, рівень шуму, вібрацій та випромінювання, а також організація робочого місця в лабораторії відповідають вимогам діючих санітарних норм.

CONCLUSIONS

1. It is established that thin-film materials based on an equiatomic FePd alloy with $L1_0$ ordered structure are promising materials for use as next-generation ultra-high density magnetic recording medium due to their high values of magnetic anisotropy, coercivity and saturation magnetization.

2. Annealing in vacuum of FePd/Me thin films (Me = Au, W) leads to the formation of FePd (111) axial texture regardless of the additional sublayer element. X-ray diffraction analysis showed no evidences of an ordered structure formation in thin films.

3. Thermal treatment in vacuum of FePd/Me thin films (Me = Au, W) leads to a change in their magnetic properties. There is an increase in coercivity with rise of temperature and annealing duration, indicating the emergence of an $L1_0$ -FePd ordered phase. Addition of the Au(0.3 nm) sublayer leads to a decrease in the coercivity and the appearance of perpendicular magnetic anisotropy of the FePd film.

4. Based on this research, a startup project has been prepared, that is economically feasible and can be implemented in high-capacity hard drives.

5. The conditions of the microclimate, the level of noise, vibrations and radiation, as well as the organization of the workplace in the laboratory have been found to meet the requirements of the current sanitary standards.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gaspare Varvaro Francesca Casoli. Ultrahigh-Density Magnetic Recording Storage Materials and Media Designs / Gaspare Varvaro Francesca Casoli // CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business – 2016 – P. 528.
2. Будик А. АСТС: к 2025 году ёмкость HDD вырастет до 100 Тбайт. /А.Будик// – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/905638/> – Дата доступа: 25.10.2019
3. ДСТУ 2813-94 Носії магнітного запису. Терміни та визначення.
4. Piramanayagam S.N. Recording media research for future hard disk drives/ S.N. Piramanayagam, K. Srinivasan //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2009. – 321. – P. 485-494.
5. Технологии записи на магнитные диски // Пятифан – Режим доступа: <http://5fan.ru> – Дата доступа: 29.10.19.
6. Бех І.І. Фізичні основи комп'ютерної електроніки/ І.І. Бех, С.М. Левицький – 2010. – С.203-210.
7. 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.
8. Wood R. Perpendicular Magnetic Recording Technology / R. Wood, Y. Hsu, M. Schultz // Hitachi Global Storage Technologies, Technical Library, White Paper. – 2007.
9. Хлопов Б.В. Особенности магнитной записи в системах связи. / Б.В. Хлопов// Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2014. – №3. – том 8.– С. 6.
10. Новые технологии жестких дисков – Режим доступа: <http://ichip.ru/novie-tehnologii-jestkih-diskov.html> – Дата доступа: 28.10.2019.
11. Соколовский А.А. Перспективы развития устройств хранения информации на магнитных носителях / А.А. Соколовский, А.Ю. Митягин, Б.В. Хлопов, А.С. Кузьминых // 2008. — 499с.

12. Подгорная Е.А. Современные методы магнитной записи сигналов: Учебное пособие. / Е.А. Подгорная –СПб.: изд. СПбГУКиТ, 2010. 64с., 19 илл.
13. Grunberg P. Layered magnetic structures in research and application / Grunberg P – Acta Mater. – 2000. – V. 48. – P.239-251.
14. Adrian D. Torres Giant Magnetoresistance: New Research. / Adrian D. Torres, Daniel A. Perez. — Nova Science Publishers, 2008. — 289 p.
15. The Nobel Prize in Physics 2007 // The Official Web Site of the Nobel Prize. Режим доступа: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/index.html — Дата доступа: 24.10.19. — The Nobel Prize in Physics 2007.
16. Ферт А. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники // А. Ферт. УФН, 2008.
17. Третьяк О.В. Фізичні основи спінової електроніки. // О.В. Третьяк, В.А. Львов, О.В. Барабанов. — К. : Київський університет, 2002.
18. Denny D. Tang Magnetic Memory: Fundamentals and Technology // Denny D. Tang, Yuan-Jen Lee. — Cambridge University Press, 2010.
19. Perpendicular magnetic anisotropy of epitaxially grown $L1_0$ -FePd nanoparticles with preferential. / Hiroshi Naganuma, Kazuhisa Sato et al. // Journal of Applied Physics. – 2006.– 100, № 2. – P. 074914.
20. Chemical order and crystallographic texture of FePd thin alloy films / M. Perzanowski, Y. Zabala, M. Krupinski et al. // J. Appl. Phys – 2012.
21. A comparison of rapid-annealed FePt and FePd thin films: Internal stress, $L1_0$ ordering, and texture. / S.N. Hsiao, S.H. Liu, C.C. Chen, et al. // – Vacuum – 2015.
22. Enhancing magnetocrystalline anisotropy of the FePd magnetic shape memory alloy. / S. Kauffmann-Weiss, S. Hamann, M.E. Gruner et al. // Acta Materialia – 2012.
23. Кубашевски О. Диаграммы состояния двойных систем на основе железа: Пер. с англ. / Под ред. Л.А. Петровой // М.: Металлургия. — 1985. — 184 с.
24. Куприна В.В. Журнал неорганической химии / В.В. Куприна, А.Т. Григорьев. — 1959. — №3. С 655-661.

25. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т.2 / Под общ. Ред. Н.П. Лякишева // Машиностроение. — 1997. — 1024 с.
26. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа / О.А. Банных, П.Б. Будберг, С.П. Алисова и др. // Металлургия. — 1986 г.
27. Kawasaki Y. Electron Diffraction Study on the Superlattice Formation in the Gold-Palladium Alloy System / Y. Kawasaki, S. Ino, S. Ogawa // J. Phys. Soc. Japan. — 1971. — V.30, №6. — P. 1758-1759.
28. Минайчев В.Е. Нанесение тонких пленок в вакууме. / Минайчев В.Е. — М.: Высш. шк., 1989 — с.47, 110 с.
29. Данилин Б.С.. Исследование магнетронных систем ионного распыления материалов. / Б.С. Данилин, В.К. Неволин, В.К. Сырчин — Электронная техника. Сер. Микроэлектроника, 1977, вып. 3 (69), — с. 37 — 44.
30. Хунгер Г.Й. Избранные методы исследования в металловедении. / Г.Й Хунгер — М.:Наука, 1981 — 872 с.
31. Fischer R. Grain-size dependence of remanence and coercive field of isotropic nanocrystalline composite permanent magnets / R. Fischer, T. Schrefl, H. Kronmuller, J. Filder // J. Magn. Magn. Mater. — 1996. — 35. — P. 153.
32. Горелик С.С. Рентгеноструктурный и электроннооптический анализ / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков // М. : Металлургия. — 1970. — 366 с.
33. Барабаш Р.И. Методические указания к лабораторным работам по курсу рентгенография металлов / Р.И. Барабаш, О.Г. Пахаренко, Е.В. Иващенко // К. : КПИ. — 1989. — 60 с.
34. Ван дер Пау. Режим доступа: <http://electron.mit.edu/vanderpauw.pdf>. Дата доступа: 15.11.2019 г. — Ван дер Пау.
35. Метод Ван дер Пау. Режим доступа; https://enwiki.academic.ru/Van_der_Pauw_method. Дата доступа: 20.11.2019 г.
36. Минайчев В.Е. Нанесение пленок в вакууме / В.Е. Минайчев. — М: Высшая школа. 1989. — 211с.

37. SQUID VSM User's Manual, Part Number 1500-100, C0 Seventh edition of manual. – January 2009.
38. Великанов Д.А. Сквид-магнитометр для исследования магнитных свойств материалов в интервале температур 4,2-370 К / Д.А. Великанов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. — 2013. — No. 2. — P. 48.
39. Webster J.G. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook Second Edition: Electromagnetic, Optical, Radiation, Chemical, and Biomedical Measurement / J.G. Webster. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. – 1921 p.
40. Schatz G. Nukleare Festkörperphysik / G. Schatz, A. Weidinger, B. G. Teubner // Stuttgart. — 1992.
41. Mayer M. SIMNRA User's Guide. Tech. rep. Garching: Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, IPP 9/113. – 1997. – С. 67.
42. ДСан ПiН 3.32 -007 – 98 – Будiвельнi норми i правила.
43. Основи охорони працi: Пiдручник. 22-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халiмовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мiтюк. За ред. К.Н. Ткачука i М.О. Халiмовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.
44. ДСН 3.3.6.042-99. – Державнi санiтарнi норми мiкроклiмату виробничих примiщень.
45. ДБН В.2.5-28 2006 – норми природного i штучного освiтлення.
46. Березюк О.В. Безпека життєдiяльностi : навчальний посiбник / О.В. Березюк, М.С. Лемешев. – Вiнниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.
47. НРБУ-97– Норми радiацiйної безпеки України.
48. СП2191-80/ДНАОП0.03-1.66-80 – Санитарными правилами при проведении рентгеновской дефектоскопии.
49. ПУЕ 2017 — Правила улаштування електроустановок.
50. НАПБ Б.07.005-86 – Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.