

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Попадюк Дарії Леонідівни**
«Вплив кристалічної структури на магнітостатичні та магнітодинамічні
властивості епітаксіальних плівок сплавів Гейслера»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 10 «Природничі науки»
за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Актуальність теми дисертації. Незважаючи на значний прогрес у розвитку напівпровідникової наноелектроніки, актуальною залишається проблема підвищення швидкодії та енергоефективності інформаційних систем, що стимулює перехід до використання магнітних нанoeлементів і спінових явищ. Спінтроніка та магنونіка відкривають можливість подолання обмежень сучасних технологій завдяки використанню спін-поляризованих струмів і спінових хвиль, що забезпечує істотне зменшення теплових втрат і підвищення швидкості обробки інформації, а також створення високочутливих датчиків. Водночас розвиток магнітної наноелектроніки потребує розв'язання фундаментальних і прикладних задач керування магнітною динамікою та пошуку матеріалів, сумісних із промисловими технологіями. У цьому контексті особливий інтерес становлять суцільнометалеві магнітні елементи на основі сплавів Гейслера, які поєднують технологічність, можливість інтеграції в мікросхеми, високий рівень спінової поляризації та низький коефіцієнт магнітного затухання, що робить їх перспективними для застосувань у спінтроніці та магنونіці.

Основною метою досліджень, проведених у дисертаційній роботі Попадюк Д. Л., було визначення впливу мікро та мезоскопічної кристалічної структури епітаксіальних плівок сплавів Гейслера на їх магнітні та магнітодинамічні характеристики, а також встановлення технологічних методів їх контролю. У роботі було визначено закономірності формування нанодвійникової структури в епітаксіальних плівках сплавів Гейслера з ефектом пам'яті форми та проаналізовано вплив нанодвійникової структури на магнітостатичні та магнітодинамічні характеристики таких епітаксіальних плівок. Було встановлено вплив технологічних параметрів, таких як температура підкладки та температура відпалу, на кристалічну структуру та ступень впорядкованості епітаксіальних плівок сплавів Гейслера, а також виявлено зв'язок між їх кристалічною структурою та магнітодинамічними характеристиками. Таким чином, результати, одержані в дисертаційній роботі, свідчать про **перспективність та актуальність** обраної дисертантом тематики досліджень. Слід зазначити, що дисертаційна робота виконувалася в рамках гранту НФДУ і двох відомчих НДР, що теж, безумовно, свідчить про актуальність її тематики.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертаційної роботи забезпечується коректністю постановки та методології експериментальних досліджень, використанням сучасних апробованих методів

вимірювань, а також відтворюваністю отриманих результатів та їх статистичною обробкою з урахуванням експериментальних похибок. Достовірність результатів підтверджується застосуванням взаємодоповнювальних експериментальних методів, контролем можливих систематичних факторів та узгодженістю отриманих даних із відомими фізичними закономірностями і літературними даними. Здобувач приймала участь в експериментальному дослідженні феромагнітного резонансу та магнітних характеристик, проводила обробку експериментальних даних та їх порівняльний аналіз з даними кристалографічних досліджень. Також нею були проведені експериментальні дослідження спектрів брілюенівського розсіювання світла та їх аналіз, експериментальні дослідження з використанням методик атомної силової мікроскопії, обробка результатів та їх аналіз.

Новизна отриманих у дисертації результатів. Усі основні наукові результати дисертації є **оригінальними та отримані дисертанткою вперше**. Зокрема, (1) вперше систематично досліджено формування нанодвійникової структури в епітаксialьних плівках сплавів $\text{Ni}(\text{Co})\text{MnSn}$ з магнітним ефектом пам'яті форми різної товщини та показано, що отримані експериментальні результати узгоджуються з феноменологічною моделлю, яка враховує конкуренцію напружень, що виникають на інтерфейсі плівка/підкладина та на границях двійників; (2) вперше експериментально продемонстровано, що магніторезонансні властивості нанодвійникової епітаксialьної плівки сплаву $\text{Ni}(\text{Co})\text{MnSn}$ є аналогічними до резонансних властивостей синтетичних антиферомагнетиків; (3) вперше проведені систематичні дослідження кореляції між технологією отримання, кристалічною структурою та магнітостатичними і магнітодинамічними характеристиками тонких епітаксialьних плівок Co_2FeGe , та встановлені оптимальні умови для отримання зразків з максимальними значеннями намагніченості, обмінної жорсткості та мінімальною спінодинамічною дисипацією енергії, що є необхідним для створення елементів високошвидкісних спітронних пристроїв; (4) показана наявність сильної гібридизації спінових хвиль в тонких епітаксialьних плівках Co_2FeGe у геометрії Деймона–Ешбаха, що має перспективу застосування у магніонних схемах обробки сигналів.

Практична цінність отриманих результатів. Явище нанодвійникування в епітаксialьних плівках сплавів з магнітним ефектом пам'яті форми може бути використано для створення магніонних та магнітофотонних кристалів, причому технологія виготовлення таких кристалів є достатньо простою, а період отриманих структур можна варіювати в широкому діапазоні. Нанодвійникові епітаксialьні плівки сплаву $\text{Ni}(\text{Co})\text{MnSn}$ можуть бути використані в якості магніторезистивних датчиків, а також мають широку перспективу застосування в різноманітних пристроях спітроніки та магніоники. Проведені в дисертаційній роботі систематичні дослідження кореляції між технологією отримання, кристалічною структурою та магнітостатичними і магнітодинамічними характеристиками тонких епітаксialьних плівок Co_2FeGe дають

можливість створювати матеріали з контрольованими значеннями магнітних параметрів, що є необхідним для високошвидкісних спітронних пристроїв. Наявність сильної гібридизації спінових хвиль в тонких епітаксialьних плівках Co_2FeGe є перспективною для застосувань в магнонних схемах обробки сигналів. Ідеї, які були розроблені та проаналізовані в дисертаційній роботі, а також виявлені фізичні ефекти можуть бути використані для подальшого вивчення електромагнітних явищ у відповідних спітронних і магнонних системах.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи **повністю висвітлені у публікаціях здобувача**. За результатами дисертації опубліковано **4 статті** у провідних наукових фахових журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, з яких **2 статті** опубліковано в журналах, які входять до квартилю **Q1**, і ще **2 статті** – до квартилю **Q2**, відповідно до SCImago Scientific Journal Rankings. Результати дисертаційної роботи пройшли добру апробацію: матеріали було представлено на **8 міжнародних наукових конференціях і симпозіумах** із опублікуванням відповідних тез доповідей.

Академічна доброчесність. Матеріали дисертації є оригінальними, відповідають змісту опублікованих статей та тез конференцій. У тексті дисертації **відсутні прояви плагіату та академічної недоброчесності**.

Зауваження та побажання. Незважаючи на загальне позитивне враження від дисертації, до її тексту можна висловити деякі зауваження та побажання:

- 1) У дисертаційній роботі основну увагу зосереджено на впливі товщини плівок на структурні та магнітні властивості, тоді як аналіз впливу окремих технологічних параметрів осадження та післяосаджувальної обробки подано доволі стисло – можливо, це буде предметом подальших досліджень.
- 2) Запропонована в дисертації феноменологічна модель формування нанодвійникової структури в епітаксialьних плівках сплавів $\text{Ni}(\text{Co})\text{MnSn}$ якісно пояснює експериментальні результати, зокрема, вплив товщини плівок на двійникову структуру і магнітодинамічні властивості, однак її подальший розвиток у напрямку більш детального мікроскопічного опису й розширеного аналізу еволюції обмінної взаємодії між двійниковими варіантами зі зміною товщини та температури сприяв би глибшому розумінню відповідних фізичних механізмів. Зокрема, чи можна оцінити критичну товщину, за якої антиферомагнітна взаємодія стає домінуючою?
- 3) Результати розділу 4 свідчать про суттєвий вплив двійникової структури на спектри феромагнітного резонансу, у зв'язку з чим було б цікаво обговорити можливості керування двійниковою структурою зовнішніми впливами (зокрема, магнітним полем) та очікувані зміни магнітодинамічних характеристик.
- 4) У дисертації йде посилання на джерело [147] (стор. 95), а наступне після нього – [153] (стор. 97); водночас у тексті відсутнє посилання на джерело [148].

- 5) У Списку опублікованих праць за темою дисертації (стор. 8) було б доцільно виділити прізвище та ініціали здобувача жирним шрифтом, натомість у посиланні №4 помилково виділено жирним шрифтом прізвище іншого співавтора.
- 6) У тексті дисертації присутня допустима кількість граматичних помилок.

Висловлені зауваження та побажання **не є принциповими** і не знижують загальну високу оцінку наукового рівня дисертації.

Загальний висновок. Вважаю, що дисертаційна робота Д. Л. Попадюк «Вплив кристалічної структури на магнітостатичні та магнітодинамічні властивості епітаксціальних плівок сплавів Гейслера» є завершеною науковою працею, яка за актуальністю тематики, науковим і практичним значенням, новизною та обґрунтованістю наукових результатів, а також повнотою їх викладення в фахових публікаціях відповідає галузі знань 10 «Природничі науки», спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», чинним вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами), за оформленням відповідає “Вимогам до оформлення дисертації”, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 (із змінами), а автор дисертації, Попадюк Дарія Леонідівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент:

Провідний науковий співробітник
ІМаг НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Ігор ГЕРАСИМЧУК

19 грудня 2025 р.