

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Харлан Юлії Ігорівни

***«Вплив структури та конфігурації феромагнітних планарних наносистем на їхні
магніторезонансні властивості»,***

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 «Природничі науки»

за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота Харлан Ю. І. присвячена вивченню впливу структури і конфігурації феромагнітних нанoeлементів на їхні магнітні властивості та встановлення методів керування такими характеристиками як частота феромагнітного резонансу, закон дисперсії спінових хвиль, ширина резонансної лінії та магнітна анізотропія. Зазначені структури є елементною базою для створення приладів електроніки, заснованих на принципах магнетоніки, яка пропонує використання спінових хвиль для запису і зчитування інформації. Використання спінових хвиль у перспективі дозволить на кілька порядків зменшити теплові втрати і значно підвищити швидкість запису інформації. У роботі здобувачем розглянуто вплив конфігурації намагніченості та анізотропії форми магнітних нанoeлементів, а також параметрів двійникової структури в магнітних сплавах з ефектом пам'яті форми на їх магнітодинамічні властивості, зокрема на дисперсійне співвідношення спінових хвиль. Використовуючи класичні методи математичної фізики для розв'язання рівняння Ландау–Ліфшиця, в дисертації було побудовано теоретичні моделі для опису низки експериментальних ефектів, виявлених за допомогою метода феромагнітного резонансу. Таким чином, результати, одержані в дисертаційній роботі, свідчать про **перспективність та актуальність** обраної дисертантом тематики досліджень. Слід зазначити, що дисертаційна робота виконувалася в рамках 5 науково-дослідних робіт і грантів, що теж, безумовно, свідчить про актуальність її тематики.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків роботи забезпечується успішним порівнянням частини отриманих теоретичних результатів з даними експериментів, використанням стандартних, добре відомих методів досліджень, вибором адекватних моделей тих фізичних явищ, які розглядаються. Здобувачем були проведені аналітичні розрахунки і пошук розв'язків рівняння Ландау–Ліфшиця, розрахунки ширини лінії феромагнітного резонансу з використанням статистичної моделі просторової неоднорідності мартенситного стану, а також виміри феромагнітного резонансу для відповідних зразків. Визначення та аналіз магнітних параметрів

здійснювалися за допомогою сучасного обладнання та загальноприйнятих експериментальних підходів. Загалом у дисертаційній роботі були застосовані методи математичної фізики, варіаційний метод Рітца, статистичні методи усереднення по ансамблю, теорія фазових переходів Ландау, феромагнітний резонанс; числові розрахунки виконувалися в середовищі Python.

Новизна отриманих у дисертації результатів. Усі основні наукові результати дисертації є **оригінальними та отримані дисертантом вперше**. Зокрема, вперше показано, що в сплавах Гейслера можливий слабкий антиферомагнітний обмінний зв'язок між феромагнітними двійниковими варіантами, який на два-три порядки нижче, ніж у звичайних антиферомагнітних твердих тілах, що демонструє сильну подібність між субмікронним двійниковим мартенситом і штучними антиферомагнітними надгратками; вперше виявлено, що феромагнітний обмінний зв'язок в сплавах Гейслера між двійниковими варіантами з одновісними анізотропіями в площині плівки, орієнтованими ортогонально, призводить до формування гігантської двовісної магнітної анізотропії за умови, що обмінна взаємодія порівняна з полем одновісної анізотропії; вперше теоретично досліджено модифікацію магнітних властивостей у просторово-неоднорідних епітаксціальних плівках сплавів з ефектом пам'яті форми у мартенситному стані зі зміною температури і показано, що просторова неоднорідність матеріалу призводить до дисперсії локальних температур мартенситного перетворення та температур Кюрі, що призводить до варіації значень локальної магнітної анізотропії та намагніченості відповідно.

Практична цінність отриманих результатів. Завдяки реалізації антиферомагнітного обміну між двійниковими компонентами в мартенситній фазі магнітних сплавів з ефектом пам'яті форми з'являється можливість використовувати такі матеріали в якості самоорганізованих синтетичних антиферомагнетиків, а виявлений ефект гігантської анізотропії четвертого порядку має перспективні наукові та технологічні наслідки, такі як можливість створення пристроїв пам'яті з декількома виродженими магнітними станами, розробка топологічних спінових текстур, а також можливість суттєво зменшити критичні струми в перенесенні спіну або застосування спін-орбітального крутного моменту. Розроблений в дисертаційній роботі підхід опису резонансних властивостей мартенситної плівки також може бути використаний для аналізу магнітної сприйнятливості, петлі магнітного гістерезису тощо, а також є ключовим фактором до розуміння складної температурної поведінки чистої магнітної анізотропії реальних зразків магнітних сплавів з ефектом пам'яті форми. Ідеї і моделі, розроблені та проаналізовані в дисертації, а також виявлені фізичні ефекти можуть бути використані в подальшому для

теоретичного та експериментального вивчення електромагнітних явищ у спінтронних системах.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи **повністю висвітлені у публікаціях здобувача**. Результати дисертації опубліковані в **6 статтях** у наукових фахових журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, з яких 4 статті опубліковано в журналах, які входять до кuartилію **Q1** відповідно до SCImago Scientific Journal Rankings. Результати дисертаційної роботи пройшли добру апробацію: матеріали представлені на **12 міжнародних наукових конференціях і симпозиумах** із опублікуванням відповідних тез доповідей.

Академічна доброчесність. Матеріал дисертації є оригінальним, відповідає змісту опублікованих статей, тез та праць 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 Анотації (стор. 2) помилково зазначено, що «Дисертаційна робота складається з п'яти розділів», хоча загалом у дисертації чотири розділи.
- 2) У другому розділі, де автор описує експерименти з епітаксialними плівками $\text{Ni}_{46.0}\text{Mn}_{36.8}\text{Sn}_{11.4}\text{Co}_{5.8}$, було б варто більш детально описати, як саме вимірювалися або розраховувалися параметри обмінної взаємодії. Також варто було б, на мою думку, звернути увагу на те, чи враховано можливі джерела похибок у експериментах.
- 3) Результати щодо гігантської магнітної анізотропії четвертого порядку в нанодвійникованих епітаксialних плівках NiMnGa (підрозділ 2.2) є переконливими, і варто було б більш детально зазначити, як саме цей ефект може бути використаний у спінтроніці.
- 4) Рисунки 2.1–2.3, 3.1 і 3.2 наведені раніше, ніж згадуються й описуються в тексті дисертації, що створює певні незручності під час роботи з матеріалом дисертації.
- 5) У Розділі 3, на мою думку, було б доцільним обговорити переваги статистичної моделі просторової неоднорідності мартенситного стану порівняно з іншими підходами.
- 6) У п. 4.1.4 Модель зрізаної піраміди в формулі (4.12) описується дія оператора Лапласа на функцію $\psi_{nm}(x, y)$, яка не описана в тексті. Відповідно, незрозуміло яким чином були знайдені власні значення зазначеного оператора.

- 7) У дисертації спочатку йде посилання на джерело [131], а після нього – на [130] (стор. 113–114).
- 8) У тексті дисертації присутня певна кількість граматичних помилок.

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

Загальний висновок. Вважаю, що дисертаційна робота Ю.І. Харлан «Вплив структури та конфігурації феромагнітних планарних наносистем на їхні магніторезонансні властивості» є завершеною науковою працею, яка за актуальністю тематики, науковим і практичним значенням, новизною та обґрунтованістю наукових результатів, повнотою їх викладення в фахових публікаціях відповідає галузі знань 10 «Природничі науки», спеціальності 104 «Фізика та астрономія», 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, за оформленням – відповідає “Вимогам до оформлення дисертації”, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 (зі змінами), а автор дисертації, Харлан Юлія Ігорівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент:

Провідний науковий співробітник
ІМаг НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
2 квітня 2025 р.



Ігор ГЕРАСИМЧУК

Підпис Ігоря ГЕРАСИМЧУКА засвідчую:
Вчений секретар
ІМаг НАН України



Ірина ШАРАЙ