

Рецензія

на дисертаційну роботу

Боринського Владислава Юрійовича

“Магнітні та резонансні властивості багатошарових наноструктур з антиферомагнітними компонентами”,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
зі спеціальності 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”
в галузі знань 10 – “Природничі науки”

Синтетичні антиферомагнетики (САФ) знайшли широкий спектр застосувань в галузях науки та технологій у якості елементів магнітної пам'яті, магнітних хвилеводів, сенсорів тощо. Одним з важливих напрямків є використання таких систем у галузі спінтроніки. Попри значну і достатньо тривалу увагу наукової спільноти до дослідження САФ для потреб нано-електроніки, велике коло питань залишається невирішеним, що пов'язано з рядом змін як у динаміці перемагнічування, так і спіновій динаміці при переході до наномасштабів. Тому дисертаційна робота Боринського В.Ю., присвячена вивченню магнітних і резонансних властивостей багатошарових нанорозмірних систем синтетичних антиферомагнетиків з метою оптимізації дизайну та функціональних характеристик елементів нано-електроніки, є безумовно **актуальною**.

В дисертаційній роботі використано комплекс взаємодоповнюючих магнітних та резонансних методів дослідження, аналітичних розрахунків та моделювання, що дозволило отримати ряд **нових наукових результатів**, серед яких слід відмітити наступні:

- експериментально показано, що використання композитного спейсера з серією повторень прошарків Cr між легованими слабо-феромагнітними FeCr позбавляє структуру прямого обмінного зв'язку на інтерфейсах, покращуючи ефективність перемикачності намагніченості, і дозволяє оптимізувати перемикачність САФ у вузькому температурному інтервалі у порівнянні з випадком однорідного спейсера;
- в системі Ru/FeMn продемонстровано можливість багатократного ізотропного збільшення частоти резонансу феромагнітного шару внаслідок встановлення сильної обертової анізотропії у сусідньому антишферомагнітному (АФМ) шарі, причиною якої є термічно активоване відхилення спінів від строго антиферомагнітного порядку як на інтерфейсі, так і вглибині АФМ. Показано, що даний механізм підсилення частоти є ізотропним і спостерігається навіть за кімнатної температури, що є важливим для керування частотними характеристиками елементів спінтроніки;

- встановлено, що порушення симетрії відносно магнітостатичної дипольної взаємодії у еліптичному САФ призводить до розщеплення граничної спін-хвильової моди на коливання акустичного та оптичного типів, гібридизовані між двома шарами нанoeлементів САФ;
- продемонстровано можливість контролю над розщепленням граничної моди за допомогою термомагнітного фазового переходу спейсера NiCu, що перетворює нано-САФ у квазі-одношарові елементи з типовими центральною та граничною модами.

Викладені в дисертаційній роботі результати мають як *фундаментальне, так і прикладне значення*. Фундаментальне значення має ряд результатів, наведених в попередньому абзаці, які розширюють уявлення про вплив магнітних ефектів та взаємодій, що виникають у багатошарових структурах внаслідок зменшення геометричних розмірів антиферомагнітних компонент, на процеси перемагнічування та резонансну динаміку таких систем.

Практичне значення результатів обумовлено тим, що вони можуть бути використані для розробки магнітних наноматеріалів з заданими магнітними характеристиками. Визначені ж в роботі фізичні закономірності дозволяють контролювати керувати поведінкою гетероструктур з антиферомагнітними компонентами під впливом зовнішніх факторів.

Достовірність наукових положень висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, обумовлена адекватно обраними науково-методичними підходами до вирішення поставленої мети та завдань, значним обсягом експериментальних зразків у вигляді багатошарових наноструктур, використанням комплексу взаємодоповнюючих експериментальних методів дослідження, аналітичних розрахунків, моделювання, а також відповідною обробкою та аналізом отриманих результатів. Ілюстративне підтвердження текстового матеріалу цілком достатньо відображає результати проведених досліджень, які є високоінформативним, а аналіз та узагальнення результатів роботи є ґрунтовними.

До дисертаційної роботи є ряд *зауважень*:

1. У підрозділі 3.3, як і в інших розділах дисертації, розглядається концепція чисельного методу мікромагнітних моделювань, але надається лише стислий опис принципу розрахунків просторових мап коливань магнітних моментів з посиланнями на відповідні літературні джерела. Зважаючи на те, що значна частина фізичних інтерпретацій та пояснень досліджуваних у роботі спін-хвильових процесів ґрунтується на аналізі саме просторових мап коливань, було б доцільним дещо деталізувати методику проведення моделювань з наведенням відповідних формул.
2. У підрозділі 4.1, зокрема на рис. 4.1, наведено дані магнітометрії структур САФ для значень атомарного складу заліза у сплаві Fe_xCr_{1-x} композитних спейсерів $S_{1,2}$ 35 ат.% та 17,5 ат.%, відповідно, які автор вважає за оптимальні. Виникає питання, чи впливає

концентрація заліза на ширину температурного інтервалу перемикання? Водночас, область перемикання стану САФ для інших значень концентрації заліза залишається поза температурним діапазоном, в межах якого були проведені дослідження. Відповідно, характер цього перемикання складно пояснити, виходячи лише з температурних залежностей магнітометрії, наведених на рис. 4.1.

3. Згідно з проведеним автором аналізом у розділі 4, значну роль у результуючій гістерезисній поведінці гетероструктур САФ, окрім міжшарової взаємодії, відіграють анізотропні властивості феромагнітних шарів Fe у складі цих структур. Однак, опису, яким чином визначалася різниця ефективних полів анізотропії між верхнім та нижнім шарами, детально наведено не було. На мій погляд, варто було б продемонструвати дані контрольних зразків та навести відповідні коментарі. Також виникає питання, чи враховувалася магнітокристалічна анізотропія шарів FeCr композитного спейсера?
4. У підрозділі 6.2 автором в якості причини розщеплення граничної спін-хвильової моди пропонується подібність форми нанодисків САФ до форми купола, однак не надається уточнюючих даних щодо наслідків її впливу на міжшаровий дипольний зв'язок. Не зазначено, яким чином під час мікромагнітних моделювань враховувалася ця особливість форми елементів. Чи є вказана конкретна форма принциповою для спостереження ефекту, або ж розщеплення також відбуватиметься, якщо нанодиски матимуть, наприклад, конічну форму?
5. В дисертації зустрічаються одруківки, некоректні терміни. Наприклад: речення на стор. 30 «ефективно закріплює його магнітний момент у певному виділеному напрямку, роблячи його стійким до полів перемикання вільного» несподівано переривається; стор. 41 «по-етапної» замість «поетапної»; стор. 51 стоїть кома перед «тощо».

Також англійська версія анотації містить ряд граматичних та стилістичних помилок.

Всі наведені зауваження переважно стосуються подачі результатів дослідження і не впливають на загальне позитивне враження від роботи, наукову новизну, достовірність та актуальність отриманих результатів. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

Основні результати дисертації *опубліковані* в одній монографії та 6 наукових статтях, що індексуються в міжнародних базах Web of Science та Scopus, з яких 3 статті опубліковано у журналах, які входять до першого квартилю відповідно до SCImago Scientific Journal Rankings). Відповідно до статті 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», кількість статей, у яких відображені основні наукові результати, прирівнюється до 9 публікацій, що значно перевищує мінімально

необхідну кількість. В опублікованих працях автором у повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертації. Результати проведених досліджень пройшли відповідну апробацію на 10 всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Дисертація за своїм **оформленням** повністю відповідає **вимогам** наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. “Про затвердження Вимог до оформлення дисертації” (з наступними змінами). У тексті відсутні прояви **плагіату**.

Вважаю, що дисертація **Боринського В.Ю.** *«Магнітні та резонансні властивості багатошарових наноструктур з антиферромагнітними компонентами»* є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що свідчать про її систематичність та важливе значення для галузі природничих наук. Дисертація повністю відповідає “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 № 44 від 12 січня 2022 року, а її автор **Боринський В.Ю.** заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”.

Завідувач лабораторії нанокристалічних структур
відділу фізики мезо- та нанокристалічних магнітних структур
Інституту магнетизму НАН України та МОН України,
кандидат фіз.-мат. наук, старший дослідник

Дмитро ДЕРЕЧА

«21» листопада 2023р.

Підпис Деречі Д.О. засвідчую:
начальник відділу кадрів Інституту магнетизму
НАН України та МОН України

Валерія МАСЛОВСЬКА

необхідну кількість. В опублікованих працях автором у повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертації. Результати проведених досліджень пройшли відповідну апробацію на 10 всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Дисертація за своїм **оформленням** повністю відповідає **вимогам** наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. “Про затвердження Вимог до оформлення дисертації” (з наступними змінами). У тексті відсутні прояви **плагіату**.

Вважаю, що дисертація **Боринського В.Ю.** «*Магнітні та резонансні властивості багатощарових наноструктур з антиферомагнітними компонентами*» є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що свідчать про її систематичність та важливе значення для галузі природничих наук. Дисертація повністю відповідає “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 № 44 від 12 січня 2022 року, а її автор **Боринський В.Ю.** заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”.

Завідувач лабораторії нанокристалічних структур
відділу фізики мезо- та нанокристалічних магнітних структур
Інституту магнетизму НАН України та МОН України,
кандидат фіз.-мат. наук, старший дослідник

Дмитро ДЕРЕЧА

«21» листопада 2023р.

Підпис Деречі Д.О. засвідчую:
начальник відділу кадрів Інституту магнетизму
НАН України та МОН України



Валерія МАСЛОВСЬКА