

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Заморського Владіслава Олексійовича
«Керування магнітними характеристиками та контроль
гістерезисних втрат у феритових наночастинках та нанокompозитах»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

Актуальність теми дисертації

Тенденції розвитку сучасного фізичного матеріалознавства пов'язані з пошуком шляхів створення нових функціональних матеріалів з наперед заданими властивостями. Причому ці властивості (електрофізичні, магнітні, гальваномагнітні, калориметричні тощо) повинні бути прогнозованими, керованими та стабільними в температурному і часовому інтервалі експлуатації. До таких нових матеріалів відносяться магнітні наночастинки феритів-шпінелей, оптимальними магнітними характеристиками яких можна управляти зміною фазового і хімічного складу. Такі наночастинки під дією змінного зовнішнього магнітного поля можуть здійснювати нагрів середовища, в яке вони поміщені. Ця здатність наночастинок використовується у магнітній гіпертермії, яка дозволяє локально розігріти тканини в організмі до 45 °С та, як наслідок, уразити ракові клітини.

З огляду на те, що мета дисертаційної роботи Заморського В.О. пов'язана із встановленням закономірностей трансформації статичних та динамічних магнітних параметрів наночастинок феритів-шпінелей $(\text{Ni,Zn})\text{Fe}_2\text{O}_4$, композитів $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ і $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CoFe}_2\text{O}_4$ з архітектурою ядро/оболонка та фериту натрію NaFeO_2 для розробки методів локального контрольованого нагріву під дією зовнішнього змінного магнітного поля, тематика дисертації представляється актуальною.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами

Результати досліджень, які включені до дисертаційної роботи, отримані в рамках чотирьох науково-дослідних робіт Інституту магнетизму НАН України та МОН України, у якій дисертант був виконавцем та які фінансувались за рахунок коштів відомчих та конкурсних проєктів НАН України та МОН України.

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетному тематичному напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року «Фундаментальні проблеми фізики», «Оптичні, радіопрозорі, електричні, магнітні, напів- та надпровідні, низьковимірні і розумні матеріали та системи і прилади на їх основі».

Ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, сформованих у дисертації

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків забезпечується такими обставинами. По-перше, синтезом наночастинок у авторитетних українських та іноземних лабораторіях, які оснащені відповідним обладнанням.

По-друге, використанням для дослідження структурних характеристик, фазового і елементного складу, магнітних і калориметричних властивостей наночастинок традиційних апробованих методів, але з використанням сучасного обладнання, виготовленого авторитетними виробниками.

По-третє, узгодженням результатів експериментальних досліджень з розрахунковими на основі відомих моделей.

Четверте, відповідністю результатів отриманих у дисертації відомим експериментальним даним інших авторів.

Також слід відмітити, що основні результати отримані у рамках дисертації, опубліковані у журналах, які індексуються базами даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, редакційні колеґії яких відповідально підходять до рецензування рукописів.

Наукова новизна

Аналізуючи роботу в цілому, слід відмітити, що при її виконанні було проведене комплексне дослідження фазового і елементного складу, магнітних і калориметричних властивостей феритових наночастинок та при цьому було експериментально отримано ряд нових наукових результатів. На наш погляд, найбільш вагомими є наступні:

1. У роботі на прикладі нікель-цинкових наноферитів різних концентрацій експериментально підтверджено, що за умов дії змінного магнітного поля ефективність нагріву магнітних наночастинок суттєво зменшується за наближення їх температури до точки Кюрі, що дозволяє розробити системи, які унеможливають їх нагрів вище заданої температури.

2. Показано, що для композитних магнітних наночастинок з архітектурою ядро/оболонка ($\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ та $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CoFe}_2\text{O}_4$), які складаються із магнітно-твердого (CoFe_2O_4) та магнітно-м'якого матеріалів (Fe_3O_4), нанесення

оболонки дозволяє у широких межах керувати коерцитивною силою, ефективною константою анізотропії та параметрами енергетичних втрат, і може приводити до суттєвого збільшення питомих втрат потужності.

3. Автором було експериментальне показано, що за умов дії магнітного поля рідина на основі наночастинок NaFeO_2 починає ефективно нагріватися, якщо його амплітуда перевищує деяке порогове значення, яке визначається коерцитивною силою.

Наукова та практична цінність результатів

Результати, отримані в роботі, мають як фундаментальне, так і прикладне значення. Фундаментальне значення має ряд нових системних результатів (наведені у розділі «Наукова новизна»), які розширюють уявлення про процеси взаємодії змінного магнітного поля з наночастинками феритів-шпінелей різного хімічного складу та композитів на їх основі.

Практичне значення результатів обумовлено тим, вони можуть бути використані у прикладних розробках магнітних рідин, які є індукторами тепла, та підходів до лікування онкозахворювань за допомогою магнітної гіпертермії.

Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

Аналізуючи наукові праці здобувача, варто зазначити, що основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових працях з яких: 6 статей у наукових періодичних виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, у т.ч. 2 статті у фахових виданнях України категорії «А», та 8 тез доповідей у матеріалах конференцій.

В опублікованих працях автором у повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертації.

Наукові положення та результати досліджень, що отримані дисертантом, пройшли апробацію та доповідались на наукових конференціях як національного, так і міжнародному рівнів.

Оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеність

Дисертація Заморського В.О. є *завершеною науковою роботою*, яка складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

Матеріали дисертаційної роботи викладені на 118 сторінках, з яких основна частина становить 92 сторінки. Матеріали досліджень проілюстровано на

47 рисунках та подано у 3 таблицях. Список використаних джерел містить 77 найменувань розміщених на 8 сторінках. Кількість додатків – 1 на 3 сторінках.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває її наукові результати.

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, сформульовано мету і основні завдання, визначено об'єкт та предмет дослідження, описані наукова новизна і практична цінність одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведені дані про структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** розглядаються механізми енергетичних втрат у магнітних наночастинках, поміщених у зовнішнє магнітне поле, та принципи вибору магнітних наночастинок для застосування у магнітній гіпертермії. На основі матеріалу цього розділу проведено аналіз та обґрунтовано напрям, мету та завдання дисертаційної роботи.

У **другому розділі** описані методики синтезу наночастинок та проведення досліджень.

Третій розділ присвячений результатам експериментальних досліджень фазового і елементного складу, магнітних і калориметричних властивостей ансамблів наночастинок нікель-цинкового фериту $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ у широкому діапазоні концентрацій $0 \leq x \leq 0,8$.

У **четвертому розділі** основна увага приділяється результатам досліджень магнітних властивостей двох типів композитних магнітних наночастинок з архітектурою ядро/оболонка: $(CoFe_2O_4/Fe_3O_4$ та $Fe_3O_4/CoFe_2O_4)$, які складаються із магнітно-твердого ($CoFe_2O_4$) та магнітно-м'якого матеріалів (Fe_3O_4).

У **п'ятому розділі** описані результати магнітних і калориметричних досліджень ансамблю наночастинок $NaFeO_2$ із середнім розміром близько 32 нм.

Висновки в повній мірі відповідають поставленій меті та завданням дисертаційної роботи та чітко та логічно витікають із проведених наукових досліджень.

Академічна доброчесність

Порушення академічна доброчесність в дисертації та наукових публікаціях дисертанта у яких висвітлені основні наукові результати дисертації не виявлено.

Оформлення дисертації

За структурою, мовою та стилем викладання дисертація відповідає встановленим вимогам до її оформлення, які затверджені МОН України (наказ №40 від 12 листопада 2017 року).

Зауваження до роботи

1. Із тексту дисертації не зрозуміло, яка природа зломів на петлях гістерезису (рис. 4.6 і рис. 5.7). Можливо, у першому випадку в композитних наночастинах відбувається пошарове перемагнічування? А, у другому випадку причина не зрозуміла.

2. З результатів досліджень методом просвічуючої електромікроскопії, які наведені на рисунках 3.2 і 4.4, слідує, що наночастинки нікель-цинкового фериту та композитні наночастинки зі структурою ядро/оболонка здатні до агломерації (на відміну від фериту натрію (рис. 5.2)). З тексту дисертації не зрозуміло, яким чином здійснювалася деагломерація при виготовленні магнітних рідин.

3. Об'єкт дослідження вказаний не вірно, оскільки за означенням це процес або явище, а в дисертації вказано, що це магнітні наночастинки на основі оксидів заліза.

4. Доцільно було б на рисунку 4.5 вказати площини, від яких утворюються дифракційні максимуми. Взагалі, для кращого сприйняття читачем результатів фазового аналізу, потрібно приводити таблиці із розшифруванням дифрактограм.

5. На основі даних рентгенографії за шириною дифракційних максимумів можна визначити середній розмір областей когерентного розсіювання, а не середній розмір кристалітів, як стверджує автор.

6. Інформація, наведена у висновку 3 до розділу 3, не обговорювалась у тексті розділу.

7. Стиль оформлення формул у різних розділах відрізняється. Стиль оформлення рисунків також по тексту дисертації різний. Наприклад, на рисунках 2.1, 3.2, 3.3, 5.3 шрифти занадто дрібні, а на рисунках 1.3, 3.1, 4.1, 4.14 – 4.17, 5.1, 5.11 – 5.13 – занадто великі.

8. У дисертації зустрічаються: некоректні вислови типу «коерцитивна сила прагне до нуля»; некоректні підписи до рисунків, зокрема «рентгенограма наночастинок...» замість «рентгенограма від наночастинок...»; використовуються позасистемні одиниці вимірювання: ангстреми (таб. 3.1 на стор. 47), °C (стор. 81, 98); дублювання формул (3.2) і (4.13) тощо.

Загальний висновок

Приведені зауваження не зменшують цінності отриманих результатів і самої роботи та не носять принципового характеру. Дисертація є односібнo створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку. Те-

матика досліджень повністю відповідає спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

У цілому дисертаційна робота Заморського В.О. «Керування магнітними характеристиками та контроль гістерезисних втрат у феритових наночастинках та нанокompозитах» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані експериментальні результати, що дозволяють вирішити важливі практичні питання і завдання, зокрема пов'язані з застосуванням феритових наночастинок при діагностиці і лікуванні ряду захворювань.

Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, а дисертант Заморський Владіслав Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Офіційний опонент
проректор з наукової роботи
Сумського державного університету,
доктор фізико-математичних наук,
професор

Анатолій ЧОРНОУС

«25» серпня 2023 року