

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Костюка Дмитра Миколайовича  
«Фізичні властивості магнітних наночастинок у провідній матриці»  
на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

### 1. Актуальність та практичне значення роботи

У дисертаційній роботі Д.М. Костюка знайшла вирішення наукова проблема у галузі фізики приладів, елементів і систем щодо впливу провідної немагнітної матриці Ag або мультишарового графену на електрофізичні та магніторезистивні властивості упорядкованих масивів магнітних наночастинок  $Fe_3O_4$ ,  $NiFe_2O_4$  і  $CoFe_2O_4$ , а також газову чутливість таких наноструктур до деяких складових атмосфери.

Сучасні методики синтезу наночастинок дозволяють отримувати як прості однокомпонентні так і складні композитні наночастинки, що суттєво підвищує інтерес до їх дослідження. Останніми роками спостерігається стрімке впровадження наночастинок різноманітних матеріалів в різних областях людської діяльності. Зокрема, вони знаходять застосування у широкому спектрі приладів, в тому числі біологічного та медичного призначення. В багатьох випадках такі частинки містять магнітні складові, а їх параметри суттєво визначаються атмосферою оточення, що обумовлює інтерес до дослідження магнітних, резистивних та магніторезистивних властивостей таких матеріалів.

Значне розширення областей використання таких матеріалів може бути одержане у вигляді консолідованих систем, зокрема у вигляді упорядкованих масивів магнітних наночастинок у провідних немагнітних матрицях. Цьому суттєво сприятиме дослідження магніторезистивних та електрофізичних властивостей та їх газова чутливість, які на сьогодні залишаються маловивченими. Для вирішення загальних проблем передбачення таких властивостей, пошуку нових матеріалів, з новими властивостями, що можуть бути перспективними для практичного застосування саме в такому вигляді, необхідне проведення комплексних досліджень структурно-фазового стану, терморезистивних, магнітних, магнітооптичних та інших властивостей наноструктур у вигляді масивів магнітних наночастинок у провідних матрицях.

ОДЕРЖАНО  
Сумським державним  
університетом  
Вх. н. 843  
13-БЕР 2017 20 р.

Додатково до цього, дослідження магніторезистивних властивостей у наноструктурах на основі наночастинок у провідних матрицях дозволяє встановити вплив типу та товщини провідної матриці, розміру магнітних гранул на такі фізичні параметри як електричний опір, коерцитивну силу та поглибити розуміння фізичних процесів, які при цьому відбуваються.

Це і обумовлює актуальність теми та практичне значення дисертаційної роботи Д.М. Костюка.

## 2. Загальна характеристика роботи

В дисертаційній роботі Костюка Д.М. наведена низка експериментальних результатів, що піддані аналізу з точки зору різних моделей та теорій.

В **першому розділі** наведено глибокий та критичний аналіз виконаних наукових досліджень в напрямку теми дисертаційної роботи. Його глибина свідчить про достатню обізнаність дисертанта в цьому напрямку. На основі такого аналізу і були сформульовані напрямки подальших досліджень.

У **другому розділі** здобувачем описані методи формування наноструктурованих плівок (метод Ленгмюра – Блоджетт, спін-коатингу та вакуумної конденсації), експериментальні методи дослідження фізичних властивостей твердих тіл (просвічувальна і растрова електронна та атомно-силова мікроскопія, електронографія, раманівська спектроскопія, чотириточковий метод вимірювання електричного опору, методика вимірювання ефекту Керра, нуль-еліпсометрія), математичні методи обробки експериментальних даних, програмування з елементами моделювання в середовищі LabVIEW. Це свідчить, що робота Костюка Д. М. є комплексною, оскільки в ній використовувалися, як різноманітні експериментальні методики, так і розрахунково-теоретичні моделі, що свідчить про достовірність здобутих у дисертаційній роботі результатів.

В **розділах 3 та 4** здобувач описує нові результати, які отримані в ході виконання дисертаційної роботи. Зокрема, в **третьому розділі** розглядаються особливості формування, морфологічні та оптичні властивості упорядкованих масивів магнітних наночастинок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  та нанорозмірного графену, що дає можливість визначити ряд параметрів, що визначають подальші

властивості наноприладових структур та окреслює область їх можливого використання. В **четвертому розділі** наведено результати вивчення впливу структурного стану масиву наночастинок, товщини та умов термообробки провідної матриці на величину магнітоопору наноструктурованих систем. Крім цього подані результати досліджень електрофізичних властивостей та газової чутливості наноструктурованих шарів.

### **3. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.**

У дисертаційній роботі Д.М. Костюка були проведені комплексні дослідження структурно-фазового стану, магніторезистивних і магнітооптичних властивостей та газової чутливості масивів наночастинок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  і  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  у провідній матриці Ag або у мультишаровому графені та встановлені кореляції між ними.

Проаналізовано розподіл наночастинок, нанорозмірного графену і систем типу провідна матриця/наночастинки/П на кремнієвих підкладках при формуванні чутливих елементів датчиків магнітних величин і  $\text{NO}_2$ . Досліджено магніторезистивні властивості таких наноструктур і встановлено вплив температурної обробки на величину магнітоопору і якісно проаналізовано його залежність від товщини провідної матриці Ag. Модифікована феноменологічна модель електрофізичних властивостей гранульованих плівкових сплавів дала змогу підтвердити залежність магніторезистивних властивостей приладових структур типу НЧ/ПМ/П від товщини провідної матриці і умов термообробки, що добре узгоджується із експериментальними даними. Все це дає можливість стверджувати, що наукові положення і висновки роботи достатньо обґрунтовані.

### **4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертації відображені у 18-ти публікаціях, серед них 7 статей у періодичних наукових виданнях, які відображають основні та додаткові результати дослідження та індексуються науково метричною базою Scopus і 11-ти тезах доповідей у матеріалах Міжнародних та Всеукраїнських конференцій.

У публікаціях відсутні матеріали, що дублюються, а автореферат повністю відповідає змісту дисертації.

## 5. Достовірність та наукова новизна одержаних результатів

Достовірність результатів, отриманих в дисертаційній роботі Д.М. Костюка, обумовлена застосуванням сучасних і апробованих технологічних методик формування плівкових матеріалів, експериментальних методів дослідження їх структури, фазового складу, електрофізичних, магніторезистивних і магнітооптичних властивостей.

Коректність результатів підтверджується їх комплексністю, повторюваністю, узгодженням із результатами інших авторів, а модифікована феноменологічна модель електрофізичних властивостей у таких системах якісно пояснює експериментальні результати.

Знайомство з оригінальними результатами дисертаційної роботи дозволяє сформулювати положення, які визначають її **наукову новизну**:

1. Уперше проведені дослідження магніторезистивних властивостей масивів наночастинок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  вбудованих до провідної немагнітної матриці Ag; встановлено вплив товщини провідної немагнітної матриці (від 5 до 20 нм) та умов її термообробки на характер зміни величини магнітоопору;

2. Здійснено подальший розвиток феноменологічної моделі електрофізичних властивостей гранульованих плівкових сплавів для наноструктур типу масив наночастинок/провідна матриця;

3. Вперше проведені дослідження впливу декорування шару багат шарового графену наночастинами  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  на чутливість до газу  $\text{NO}_2$ .

## 6. Наукове та практичне значення результатів дисертації

Отримані результати експериментальних досліджень щодо формування масивів наночастинок та приладових систем типу наночастинок/провідна матриця, їх магніторезистивних властивостей та газової чутливості можуть бути використані для розробки або удосконалення чутливих елементів датчиків магнітних величин, шкідливого газу і т.п. Модифікована феноменологічна модель електрофізичних властивостей гранульованих плівкових сплавів дає можливість покращити оцінки внеску розсіювання електронів на магнітних моментах наночастинок у загальну величину електричного опору систем типу

наночастинки/провідна матриця. Весь комплекс отриманих результатів із великим ступенем новизни сприяє розширенню уявлень про фізичні процеси у таких структурах. Результати дисертаційних досліджень Д. М. Костюка можуть бути впроваджені у навчальний процес у вищих навчальних закладах.

## 7. Зауваження до роботи

1. В дисертації розглядаються масиви наночастинок різного складу. Однак досить часто автор використовує термін "упорядковані масиви наночастинок", або в скороченому вигляді УМНЧ. Однак в дисертації є не зрозумілим про який тип впорядкування йде мова і які параметри, що характеризують таку впорядкованість.

2. На жаль, поза увагою дисертанта залишилися питання стехіометрії металічних компонент в сполуках, що можуть бути записані у загальному вигляді  $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$  або  $\text{Ni}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ . Для стехіометричних сполук  $x=1$ , але така стехіометрія може порушуватися локально, що обумовить різницю хімічних складів наночастинок. Якщо так, то чи знайде це відображення на отриманих результатах.

3. Запропонована феноменологічна модель провідності системи «НЧ у провідній матриці», не може бути розповсюджена на випадок системи «НЧ + мультишаровий графен», і тому виникає питання про можливий механізм провідності останньої системи, чи приймають в ньому участь НЧ.

4. Із тексту дисертації і автореферату залишається незрозумілим чи можна проградувати чутливі елементи у вигляді МНЧ в ПМ та МШГ/УМНЧ/МШГ/П і, таким чином, реєструвати концентрацію молекул  $\text{NO}_2$ .

5. Співвідношення (4.26) у дисертації або (2) в авторефераті має складний характер і містить велику кількість параметрів. Однак дисертант майже не пояснює, яке їх походження, метод оцінки і спосіб узгодження із феноменологічною моделлю.

6. У дисертації не знайшли свого пояснення механізми спін-залежного розсіювання носіїв заряду в структурах НЧ в ПМ або МШГ, що, на думку дисертанта, стали причиною зміни їх магнітоопору після відпалювання за різних температур (наприклад, рис. 4.14 або 4.19).

7. Можна відмітити деяку неуважність автора при оформленні роботи. Наприклад, не коректним є підпис до рис.4.7 на стор.95, по всьому тексту дисертації зустрічаються два скорочення одного і того ж поняття (УМНЧ та ВМНЧ), англомовне написання одиниць вимірювання та орфографічні й граматичні помилки.

### 8. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Усі вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Костюка Д.М. Без сумніву, робота представляє собою завершену кваліфікаційну працю, яка базується на значному обсязі експериментального матеріалу, надійності та коректності отриманих результатів. У роботі одержані нові та науково обґрунтовані результати, які розширюють і поглиблюють розуміння фізичних процесів у наноструктурах типу наночастинки/провідна матриця.

Враховуючи актуальність тематики, обґрунтованість і новизну результатів, достовірність висновків та практичну цінність, вважаю, що дисертаційна робота «Фізичні властивості магнітних наночастинок у провідній матриці» задовольняє встановленим вимогам ДАК МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме, пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Костюк Дмитро Миколайович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Офіційний опонент,  
професор кафедри фізики металів  
Київського національного університету  
Імені Тараса Шевченка, доктор  
фізико-математичних наук, професор

М. П. Семенко

Підпис засві-  
вчений секретар  
КАРАУЛЬНА Н. В.  
07.03.201



*[Handwritten signature]*