

## ВІДГУК

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

### Актуальність теми дисертації

У дисертаційній роботі Д.М. Костюка проведені комплексні дослідження магніторезистивних, магніто-оптичних, структурних властивостей (магнітоопір (МО), коерцитивність, структура, морфологія поверхні, фазові перетворення, газова чутливість), впорядкованих масивів магнітних наночастинок (НЧ), систем типу провідна матриця/НЧ/підкладка залежно від температурної обробки, типу і товщини провідної матриці або наночастинок. Експериментальні дослідження проводились із використанням сучасних точних приладів і власно розроблених програмно-апаратних комплексів.

З такої постановки задачі досліджень витікає їх актуальність, оскільки більшість відомих робіт присвячена методикам отримання упорядкованих бездефектних ансамблів НЧ або використанню наночастинок у медицині. У той самий час дослідження з вивчення електрофізичних, магніторезистивних та магніто-оптичних властивостей (магніто-оптичний ефект Керра) практично відсутні. Очевидно, що дослідження особливостей отримання та вказаних властивостей дозволяє не тільки зрозуміти особливості формування упорядкованих масивів НЧ та багат шарових плівкових систем зі включеними шарами НЧ, але і дослідити реальні фізичні процеси в наноструктурованих матеріалах та оцінити можливість практичного використання в сучасній мікро- та наноелектроніці, спінтроніці, сенсоричі тощо.

Робота виконувалась в рамках держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України та індивідуальних грантів державної програми МОН на стажування в провідних ВНЗ та наукових установах за кордоном (Інститут фізики Університету Йоганна Гутенберга, м. Майнц, Німеччина, 2012, 2014 рр.) і стипендіальної програми академічної мобільності SAIAO (Словацька Академія Наук, м. Братислава, Словаччина, 2013 р.).



## Характеристика дисертації та наукова новизна результатів

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Першим розділом є літературний огляд, у якому розглядаються методики синтезу магнітних наночастинок і мультишарового графену, їх структурно-фазовий стан та теоретичні основи виникнення магніторезистивних властивостей і газової чутливості у наноструктурах на основі цих матеріалів. Окрім цього робиться короткий огляд експериментальних результатів дослідження магніторезистивних властивостей та газової чутливості структур типу провідна матриця/наночастинки/підкладка. Одержання наноструктурованих зразків та методи їх дослідження розглянуті у другому розділі. Наступні два розділи присвячені вивченню особливостей формування упорядкованих масивів нанорозмірних матеріалів і структур типу провідна матриця/наночастинки/підкладка із використанням методики Ленгмюра-Блоджет та спін-коатингу, їх структурних, магнітних та магніторезистивних властивостей і газової чутливості. Серед нових наукових результатів, одержаних в дисертації, можна відмітити наступні:

1. У роботі вперше продемонстровано розмірну залежність магнітоопору масиву наночастинок  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  у провідній матриці Ag від товщини провідної матриці, та показано при якій товщині величина магнітоопору має найкращу повторюваність.

2. Уперше досліджено вплив проведення термообробки провідної немагнітної матриці на формування приладових наноструктур, що представляють собою масиви спін-вентильних переходів типу НЧ/ПМ. Показано, що у таких структурах величина магнітоопору суттєво залежить від температури обробки як провідної матриці так і масиву наночастинок, а її максимальна величина порядку 23% була зафіксована після відпалу УМНЧ при температурі  $T = 1100 \text{ K}$  і провідної матриці при температурі  $T = 600 \text{ K}$ .

3. Уперше досліджено вплив декорування шару мультишарового графену масивами наночастинок  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  на покращення величини чутливості до шкідливого газу  $\text{NO}_2$  на 40%.

## **Достовірність результатів та ступінь обґрунтування наукових положень**

Достовірність результатів, одержаних у даній дисертаційній роботі та ступінь обґрунтування наукових положень і висновків обумовлено:

1. Широким спектром сучасних методів одержання зразків та дослідження їх фізичних властивостей (методика Ленгмюра-Блоджетт та спін-коатингу, Раманівська спектроскопія, МОКЕ, спектрофотометрія тощо) з використанням високоточного обладнання.

2. Використанням самостійно спроектованих програмно-апаратних комплексів при вимірюваннях та обробці результатів досліджень.

3. Оригінальністю, комплексністю та повторюваністю одержаних результатів та їх узгодженістю з роботами інших авторів.

## **Практичне значення результатів роботи і рекомендації щодо їх використання**

Практична цінність дисертації Д.М. Костюка не викликає сумнівів, оскільки у роботі обґрунтовано можливість використання упорядкованих масивів наночастинок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoF}_2\text{O}_4$  вбудованих до провідних матриць Ag і нанорозмірного графену у якості чутливих елементів датчиків магнітних величин і хімічних сенсорів шкідливих газів. Одержані у роботі результати можуть бути використані у лабораторіях ВНЗ та різних підприємств (КНУ ім. Тараса Шевченка, НТУ «ХП», НТУ «КП», Запорізький національний технічний університет, Інститут магнетизму НАН України, Інститут металофізики НАН України та ін.).

Основні результати дисертації пройшли широку апробацію на Міжнародних наукових конференціях і опубліковані у фахових журналах, що також характеризує практичну цінність роботи.

### **Зауваження до роботи**

- Не приділено увагу фізичним механізмам взаємодії молекул шкідливих газів з наноструктурними поверхнями, за рахунок чого відбувається зміна їх електромагнітних і оптичних властивостей. Тому не зрозуміло, яким чином вибирається хімічний склад наноструктур, матриць і підкладок для аналізу шкідливого газу NO<sub>2</sub>.
- На рис. 2.2 наведено графік залежності контактного кута від часу обробки ультрафіолетом 15 підкладок. На графіку не показано похибки вимірювань у вигляді середньоквадратичного відхилення від середньої величини.
- На рис. 2.10 наведено схему установки для проведення вимірювань чутливості наночіпів до шкідливих газів, на якій підписи не відповідають зображеним елементам. Тому ж не показана електрична складова установки.
- Деякі висновки до розділів ( наприклад: розділ 2: висновки 2, 4; розділ 3: висновок 1) мають описовий характер проведених досліджень и не містять їх аналізу.

### **Оформлення:**

- Низку рисунків винесено на окрему сторінку, хоча самі рисунки займають не більш ніж пів сторінки. (Рис 2.3, стор. 37; рис. 4.6 стор 94 та інш).
- У роботі використовується багато стандартного обладнання відомих світових виробників, при цьому достатньо докладно вказано тип приладів, компанія виробних та країна. Доцільно було б винести цю інформацію в окремий додаток.
- Не зовсім вдало використовується англomовний термін spin-coating у вигляді спін-коатінг або центрифугування.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Д.М. Костюка є завершеною науковою працею, що побудована на значній за обсягом роботі автора. У цій роботі одержані нові,

науково обґрунтовані експериментальні результати, що дозволяють вирішити важливі питання та завдання, які пов'язані з дослідженням фізичних процесів у наноструктурах для чутливих елементів сенсорики.

Результати дисертації відображені в 18 публікаціях, у тому числі в 7 статтях у журналах, що обліковуються науково-метричною базою даних «Scopus» та 11 тезах доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях. Зміст автореферату повністю відображає суть дисертаційної роботи та її спеціальність.

Таким чином, за актуальністю теми, новизною одержаних результатів, їх науковим рівнем та обсягом, обґрунтованістю та достовірністю висновків і положень, науковим і практичним значенням дисертація Костюка Д.М. відповідає встановленим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пунктам 9, 11, 12 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор Костюк Дмитро Миколайович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Офіційний опонент

в.о. завідувача відділу фізики пучків заряджених частинок  
Інституту прикладної фізики НАН України,  
доктор фізико-математичних наук, професор

О.Г. Пономарьов

Підпис Пономарьова О.Г.

доктора фізико-математичних наук, професора,  
в.о. завідувача відділу Фізики пучків заряджених частинок **завіряю.**

Вчений секретар

Інституту прикладної фізики НАН України  
кандидат фізико-математичних наук



О.І. Ворошило