

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, доктора фізико-математичних наук, професора, доцента кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету **Шпетного Ігоря Олександровича** на дисертаційну роботу **Петренка Руслана Миколайовича** на тему: «Електрофізичні і магніторезистивні властивості шаруватих структур на основі металевих наночастинок та діелектричних матеріалів», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

### Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальним на сьогодні в контексті розвитку елементної бази спінтроніки та сенсорної техніки залишається проведення фундаментальних досліджень фізичних властивостей структури типу феромагнітний метал-діелектрик, що одночасно поєднують у собі магнітоопір, характерний для магнітних гетероструктур та резистивне перемикання, що реалізується у різних типах напівпровідних або діелектричних матеріалів. Ймовірність реалізації тунельної спін-поляризованої провідності що спричиняє появу тунельного магнітоопору в таких структурах суттєво залежить від співвідношення об'ємних часток компонентів, які входять до їх складу і на сьогоднішній день з'ясовані не повністю.

Для реалізації таких структур на перший план виходить вибір методики їх формування, оскільки саме методика може стати ключовим фактором, який буде визначати особливості структури нанорозмірних композитних матеріалів та впливати на їх фізичні властивості. Одним із можливих варіантів є застосування методу одночасної конденсації феромагнітного металу та діелектрика. Однак даний метод має ряд структурних особливостей. По-перше, відбувається формування структури з широким розподілом розмірів частинок. По-друге, мала рухливість оксидних кластерів призводить до уповільнення процесів коалесценції і рекристалізації металевих гранул. Як наслідок формуються матеріали з діелектричною аморфною матрицею з відносно великим вмістом атомів феромагнітних металів, що суттєво впливає на їх фізичні властивості. Застосування методу пошарової конденсації може дозволити оптимізувати розміри феромагнітних гранул, товщини діелектричних прошарків і отримати структури з мінімальною кількістю окремих атомів магнітних металів, занурених в діелектричну матрицю та мінімальними вкрапленнями діелектрика у металеві гранули, що гіпотетично може спричинити посилення ролі спін-залежного тунелювання електронів.

Таким чином, проблематика, пов'язана з дослідженням розмірних та температурних ефекти в електропровідності і магніторезистивних властивостях шаруватих структур, сформованих на основі Fe та SiO<sub>2</sub> методами пошарової конденсації, є актуальною, а результати досліджень будуть мати значене практичне значення

### **Зв'язок з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету в рамках держбюджетних тем: «Магніторезистивні та магнітооптичні властивості композиційних матеріалів з впровадженими наночастинками» (2019-2021 рр.) № 0119U100777; «Взаємозв'язок між магніторезистивними і магнітними властивостями та електронною структурою багатокомпонентних плівкових сплавів» (2020-2022 рр.) № 0120U102005. Дисертант брав участь у виконанні зазначених НДР як виконавець наукових досліджень та під час підготовки проміжних і заключних звітів.

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дослідженні**

Дисертаційне дослідження Петренка Руслана Миколайовича відзначається високим науково-методичним рівнем та використанням сучасного комплексу методів дослідження. Основні наукові положення та висновки, які викладені в дисертації, логічно випливають з отриманих результатів і мають належне обґрунтування.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових міжнародних та фахових виданнях. Про достовірність отриманих результатів свідчить їх взаємоузгодженість літературним даним.

### **Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження**

Серед найбільш вагомих наукових результатів, що складають наукову новизну роботи, на мій погляд, слід відзначити наступні

1. Уперше показано, що зменшення ефективної товщини шарів Fe у системі  $[\text{Fe}(d_{\text{Fe}})/\text{SiO}_x(5)]_5/\text{П}$  від 10 до 4 нм спричиняє перехід структури від шаруватої з середнім розміром феромагнітної компоненти  $L = 10 - 15$  нм до гранульованої, що складається із наночастинок із середнім розміром 3 – 4 нм.

2. Уперше на основі отриманих температурних залежностей електроопору для невідпалених та відпалених при температурах 400, 500, 600 і 700 К шаруватих структур  $[\text{Fe}/\text{SiO}_x]_5$  встановлені інтервали товщин шарів Fe та  $\text{SiO}_x$  при яких реалізуються різні режими провідності.

3. Уперше встановлено, що для невідпалених шаруватих структур  $[\text{Fe}/\text{SiO}_x]_5$  в інтервалі товщин шарів  $d_{\text{Fe}} = 5 - 10$  нм та  $d_{\text{SiO}_x} = 1 - 10$  нм спостерігається лише анізотропний характер польових залежностей. Перехід до ізотропного магнітоопору відбувається для зразків з  $d_{\text{Fe}} = 4 - 6$  нм та  $d_{\text{SiO}_x} = 5$  нм після відпалювання за температури 400 К.

4. Уперше за результатами дослідження температурних залежностей намагніченості шаруватих структур  $[\text{Fe}(5)/\text{SiO}_x(3)]_5/\text{П}$  отриманих при вимірюванні в процесі охолодження у магнітному полі індукцією 100 мТл та без магнітного поля встановлена відсутність атомів Fe та дуже дрібних частинок феромагнітного матеріалу в діелектричній матриці.

### **Практична цінність отриманих результатів**

Ряд результатів, одержаних в роботі, має безумовну цінність. Серед них наступні:

1. Отримані в роботі експериментальні результати мають свою цінність як із фундаментальної, так і прикладної точки зору. У першому випадку мова йде про одержання великої кількості експериментальних результатів стосовно електро- і магніторезистивних властивостей для функціональних елементів сенсорів на основі композиційних матеріалів, що мають шарувату структуру, у залежності від ефективної товщини магнітних і немагнітних шарів.

2. Результати досліджень можуть стати методологічною основою для використання даного типу матеріалів як одного з функціональних шарів елементної бази наноелектроніки чи спінтроніки, а також безпосередньо для створення надчутливих елементів сенсорів магнітного поля зі стабільним в часі робочими характеристиками.

### **Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи Петренка Р.М. опубліковані у 14 працях з них 3 статті у закордонних виданнях, 1 стаття у фаховому виданні України і 1 стаття у матеріалах конференцій, які індексуються наукометричною базою даних Scopus та 9 наукових працях у матеріалах Міжнародних та Всеукраїнських конференцій.

В усіх опублікованих працях Петренком Р.М. ґрунтовно та в повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертації. Наукові положення та результати досліджень, що отримані дисертантом, проходили апробацію на різних рівнях, обговорювалися на наукових конференціях як національного, так і міжнародного рівня.

Таким чином, виклад основних результатів дисертації в опублікованих працях є повним та достатнім, що відповідає вимогам п. 8 «Порядку присудження ступеня доктор філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступення доктор філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

### **Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення**

Дисертаційна робота Петренка Р.М. має закінчений змістовний обсяг наукової праці. За структурою, мовою та стилем викладання, оформлення дисертації відповідає вимогам, затвердженим МОН України, наказ № 40 від 12.11.2017 р.

### **Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження**

Дисертаційна робота містить дискусійні моменти та недоліки, висвітлення яких сприятиме більш повній та об'єктивній характеристиці

результатів, отриманих автором:

1. У літературному огляді акцентується увага на стані досліджень фазового складу, магнітних та магніторезистивних властивостях композитних структур на основі феромагнітних та діелектричних матеріалів, однак не аналізуються роботи пов'язані з вивченням електрофізичних властивостей зазначених матеріалів. Це було б доречно для у контексті заявленої тематики дисертаційної роботи.
2. На рисунку 4.8 наведені температурні залежності намагніченості в режимах ZFC-FC. У тексті роботи проведено аналіз даних залежностей та не акцентується увага на величині температури блокування  $T_b$ , яка дозволяє оцінити середній розмір феромагнітних наночастинок, що знаходяться у діелектричній матриці. Також це дозволило б визначити як змінюється їх розмір у процесі термообробки до 700 К. Однак, цього в роботі не було зроблено.
3. У тексті дисертації зустрічаються незначні граматичні та стилістичні помилки, зокрема, в деяких місцях відсутні або зайві розділові знаки, неправильне написання деяких слів, некоректна побудова речень.

Проте наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

#### **Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам**

Дисертаційна робота Петренка Руслана Миколайовича на тему: «Електрофізичні і магніторезистивні властивості шаруватих структур на основі металевих наночастинок та діелектричних матеріалів» є завершеним самостійним науковим дослідженням, що носить як теоретичну новизну, так і практичне застосування. Вона характеризується актуальністю та затребуваністю тематики дослідження, впровадженням отриманих результатів та методико-теоретичних положень.

Дисертація цілком відповідає вимогам п. 6-9 наказу «Порядку присудження ступеня доктор філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступення доктор філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44, а її автор – Петренко Руслан Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент

доцент кафедри електроніки,  
загальної та прикладної фізики  
Сумського державного університету,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор



*Авт*

Ігор ШПЕТНИЙ