

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента
доктора технічних наук, професора

Фечана Андрія Васильовича

на дисертаційну роботу

Щербань Наталії Олексіївни

на тему "Контрольована модифікація електрофізичних характеристик кремнієвих мікрочисталів легуванням домішками перехідних металів для сенсорної техніки",

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка.

Актуальність теми.

Одною з причин великого комерційного потенціалу пристроїв магнітоелектроніки на основі кремнієвих мікрочисталів є те, що вони можуть виготовлятися швидко, дешево і у великих кількостях не використовуючи інтегральну технологію. Більше того, завдяки поєднанню термопровідних властивостей з механічними, магнітними та іншими властивостями напівпровідникових матеріалів, які притаманні їм за рахунок модифікації домішками перехідних металів, вони є перспективним класом матеріалів для створення надчутливих магніторезистивних сенсорів, для яких характерне мале енергоспоживання. Відтак успіхи сучасної електроніки в значній мірі визначають технічний рівень багатьох галузей промисловості. Тому актуальність досліджень дисертаційної роботи Щербань Н.О не викликають сумніву. Звертає увагу особливість підходу в дисертації до даної проблеми через вивчення фізичних процесів, що протікають під час дослідження впливу магнітної домішки на магнетотранспортні властивості кристалів кремнію, концентрація носіїв заряду у яких знаходиться в околі фазового переходу метал-діелектрик.

Дослідження, результати яких наведені в дисертації, проводились у відповідності з програмою наукової тематики кафедри напівпровідникової електроніки Національного університету «Львівська політехніка» та науково-дослідних робіт, що є частиною комплексно-цільових державних та регіональних програм.

Наукова новизна роботи полягає у тому що:

Автором проведено комплексне дослідження електрофізичних властивостей мікрочисталів кремнію у широкому інтервалі температур, що є передумовою розроблення фізичних основ створення мікроелектронних

сенсорів на базі ниткоподібного кремнію, який модифікований домішками перехідних металів. Окрім того:

- експериментально встановлено для кристалів Si<B, Ni> гістерезис намагніченості для температури скрапленого гелію, що свідчить про наявність магнітного моменту в кристалах. За результатами теоретичних досліджень за допомогою проекційно-доповнених хвиль та дослідження намагніченості визначено концентрацію магнітних домішок, яка становить $4 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$
- визначено, що максимальний магнітний момент для суперкомірки $\text{Si}_{61}\text{B}_1\text{Ni}_1$, яка реалізована згідно незаповнених вакансій, становить $1,16 \mu_B$. Ці результати використано для прогнозування характеристик високочутливих сенсорів магнітного поля з магніторезистивним принципом дії;
- встановлено зв'язок між магнітоопором кристалів та їх спіновою впорядкованістю, а також виявлено кореляцію між поляризаційними ефектами та особливостями змін електрофізичних і магнітних властивостей у значному діапазоні температур, які покладені в основу концепції розроблення та прогнозування властивостей сучасних приладів мікросистемної техніки;

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає у тому, що результати досліджень використано для створення елементів сенсорної техніки, а також багатофункційних приладів, що здатні суміщати в собі вимірювання кількох фізичних величин:

1. На основі сильнолегованих ниткоподібних мікрокристалів кремнію, модифікованих домішкою нікеля, розроблено сенсор магнітного поля з чутливістю $18 \text{ \%} \cdot \text{Тл}^{-1}$ за температури 4.2 К. Працездатність роботи чутливого елемента сенсора забезпечується значним магнеторезистивним ефектом, який відображається в залежності магнітоопору від індукції магнітного поля, сягаючи 253% при 14 Тл за гелієвих температур.
2. Запропоновано використання чутливого елемента на основі ниткоподібного кремнію, що модифікований домішками бору та нікелю, для яких рівень легування відповідає безпосередній близькості до фазового переходу метал-діелектрик, як чутливого елемента деформації, для якого коефіцієнт тензочутливості в області гелієвих температур досягає значення $K_{4,2\text{К}} = 165$ при деформації стиску $\varepsilon = -5.29 \times 10^{-3}$ відн. од.
3. Розроблено конструктивно-технологічні основи створення багатофункційних сенсорів магнітного поля та деформації на основі ниткоподібних кристалів кремнію, модифікованих домішками бору та нікелю.

Новизну практичних розробок захищено патентом України.

Достовірність та ступень обґрунтованості отриманих результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій.

Сформульовані висновки логічно виходять зі змісту дисертаційної роботи і підтверджуються великим обсягом експериментальних даних і відтворюваністю результатів, одержаних на великій кількості зразків широкого спектру матеріалів, а також теоретичним обґрунтуванням і повним практичним підтвердженням розроблених технологічних рішень.

В основу експериментальних досліджень легованих мікрокристалів кремнію за низьких температур покладено спеціально розроблені методики з використанням сучасних цифрових метрологічних засобів у Міжнародній лабораторії сильних магнетних полів та низьких температур (м. Вроцлав, Польща).

Суть висновків, отриманих у результаті виконаних досліджень, дає змогу застосовувати їх і в подальших наукових дослідженнях, і в промисловому виробництві, розвивати технологію сенсорів різноманітних фізичних величин нового покоління.

Робота виконана на високому науковому рівні, а практичні результати підтверджені рядом експериментів. Основні положення дисертації викладено в 11 наукових публікаціях та використані під час виконання низки науково-дослідних робіт.

Відповідність теми дисертації профілю спеціальності, відсутність порушень академічної доброчесності

Напрямок досліджень та вирішена в дисертації науково-практична задача відповідає паспорту спеціальності 153– мікро- та наносистемна техніка. Підстав для сумнівів у науковій доброчесності здобувача під час детального ознайомлення з дисертацією не виявлено. Узгодженість тексту дисертації з науковими працями дисертанта свідчить про відсутність ознак фальсифікації. Проведений аналіз основних ідей та методів дотичних до тематики інших робіт містить відповідні посилання.

Ще раз наголошуючи на високому теоретичному рівні дисертаційного дослідження та його практичній значущості, не можемо обійти увагою деякі недоліки. До недоліків роботи слід віднести наступне:

- 1) У дисертації (розділ 3) відсутні відомості і не вказано чому відповідає нульове значення енергії суперкомірки різних модифікацій під час теоретичних розрахунків за допомогою програмно – апаратного комплексу ABINIT.
- 2) Було б доцільним більш детально подати відомості щодо контролю концентрації носіїв заряду у мікрокристалах кремнію (наприклад, розділ 4).

- 3) В розділі 3 підписи осей зроблені англійською мовою, а також не вказано їх інтерпретація у зносках українською мовою.
- 4) Незрозумілою є доцільність ілюстрування результатів експериментальних досліджень намагніченості для мікрокристалів кремнію для різних інтервалів магнітних полів, а також відсутнє пояснення щодо розмірності по осі ординат (розділ 4, рис. 4.9).
- 5) Є зауваження до оформлення термінологічного апарату дисертаційної роботи, а також відсутність єдиного шаблону щодо нумерації формул, які вказані без номеру розділу (розділ 3).

Проте висловлені зауваження та побажання не є концептуальними і не знижують загальної високої оцінки рецензованого дослідження.

Висновок

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.17 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та КМ від 12 січня 2022 р. №44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії» з останніми змінами, внесеними постановою КМ №341 від 21.03.2022 р. Автор дисертації "Контрольована модифікація електрофізичних характеристик кремнієвих мікрокристалів легуванням домішками перехідних металів для сенсорної техніки" Щербань Наталія Олексіївна заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка

Офіційний рецензент
доктор технічних наук,
професор кафедри «Програмного забезпечення»
Національного університету «Львівська політехніка»

А. В. Фечан

Підпис проф. Фечана А. В. ЗАСВІДЧУЮ:
Вчений секретар
Національного університету
"Львівська політехніка"



Р. Б. Брилинський