

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Голяткіної Марини Олексіївни

на тему «Електрофізичні та магнітні властивості домішок і дефектів у вуглецевомістких аморфних та монокристалічних матеріалах»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 Природничі науки
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність теми дисертації.

/Зазначити, чому тема дисертаційної роботи є актуальною, або описати причини неактуальності проведених досліджень/

Фізичні властивості вуглецевомістких матеріалів значною мірою визначаються дефектною структурою та домішковими центрами, що дає можливість отримувати матеріали з керованими властивостями, такими як провідність, оптичні характеристики тощо. Високі тепло- та електропровідність, у доповнення значною зносостійкістю сприяють широкому застосуванню вуглецевомістких матеріалів у пристроях, які працюють у складних експлуатаційних умовах: у корозійних середовищах, за високих температур та механічних напруг. Без сумніву, це перспективні матеріали для застосування в електроніці, біомедичних технологіях, енергетиці. Нещодавнє виявлення в них наявності магнітного впорядкування та зв'язку між спіновими властивостями й електронною провідністю встановлює новий напрямок використання вуглецевомістких матеріалів у спінтроніці, квантових технологіях і сенсорних пристроях.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

/Описати, чим забезпечується достовірність наукових результатів, зазначити їх новизну та обґрунтованість/

1. Вперше проведено комплексне дослідження впливу домішки германію на електронні та магнітні властивості безводневих алмазоподібних вуглецевих тонких плівок за допомогою методу ЕПР в діапазоні частот Х-діапазону в

широкому діапазоні температур від 5 К до 295 К. Це дозволило виявити особливості спінової динаміки та магнітного впорядкування в цих матеріалах.

2. Вперше проведено аналіз спектрів електрично-детектованого магнітного резонансу у 6H-SiC з високим вмістом азоту, що дало змогу виявити зв'язок між концентрацією домішок та електронним транспортом, а також сприяло розвитку технологій для спінової електроніки.

3. Вперше встановлено природу спінового обміну між локалізованими та делокалізованими електронами у 4H-SiC, що дозволяє краще розуміти їх вплив на електропровідність матеріалу.

Ступінь обґрунтованості. Наукові положення та висновки, сформульовані в дисертаційній роботі, є обґрунтованими та підтверджуються результатами експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків. Апробовані методи ЕПР та електрично-детектованого магнітного резонансу забезпечують високу точність у визначенні взаємозв'язку електрофізичних і магнітних властивостей матеріалів. Отримані дані узгоджуються з відомими літературними даними.

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі наукових результатів підтверджується:

- ✓ коректною постановкою задачі, використанням апробованого математичного апарату і реальних вихідних даних;
- ✓ використанням світового досвіду у формі детального аналітичного огляду наукових публікацій за тематикою дослідження;
- ✓ узгодженням експериментальних результатів з обраними математичними моделями;
- ✓ узгодження експериментальних результатів, моделювання та розрахунків з існуючими достовірними науковими публікаціями за тематикою дослідження;
- ✓ проведеною апробацією наукових результатів на семінарах та міжнародних наукових конференціях.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі загальної фізики та моделювання фізичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках ініціативної теми «Магнітні взаємодії та спінова динаміка у монокристалічному 4H-SiC з високим ступенем легування донорами азоту» (№ 0119U100485, 01.01.2023-31.12.2023) та за груповим грантом “Magnetic interactions and spin dynamics in heavily nitrogen-doped 6H-SiC monocrystals” (01.12.2023-30.11.2024, № 9918) у рамках конкурсу «Magnetism for Ukraine 2023» від IEEE Magnetism Society під егідою УНТЦ та Інституту Магнетизму НАН України та МОН України під керівництвом завідувача кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського д.ф.-м.н., доц. Савченко Дарії Вікторівни.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання по визначенню впливу домішок та дефектів на електрофізичні та магнітні властивості вуглецевмістких аморфних та монокристалічних матеріалів на основі їх систематичного дослідження електрофізичними методами та методами магнітного резонансу виконано повністю. Складається враження, що здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Голяtkіної М. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Фізика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям магнітних наноматеріалів і спектроскопії магнітного резонансу.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Голяtkіної Марини Олексіївни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

/Охарактеризувати послідовність, доступність викладення, стиль мовлення, використання загальноприйнятої термінології та інші характеристики./

Дисертаційна робота загалом має науковий, чітко структурований виклад, що відповідає вимогам МОН України до дисертаційних робіт. Послідовність викладу матеріалу логічна: починається з теоретичних основ, далі представлені методи дослідження, експериментальні результати та їх аналіз. Усі розділи мають внутрішню єдність та завершеність. Змістове наповнення підрозділів відповідає змісту відповідних розділів. Стиль мовлення є формальним і науковим, хоча подекуди зустрічаються мовні конструкції, які можуть ускладнювати сприйняття матеріалу. Використана термінологія загалом відповідає загальноприйнятій, зокрема, у спектроскопії ЕПР, хоча в деяких місцях потрібні уточнення або стандартизація термінів. В цілому, текст

дисертації є змістовним, проте окремі формулювання могли б бути більш чіткими для полегшення сприйняття матеріалу.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому, дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків та списку літератури (257 найменувань). Загальний обсяг дисертації 176 сторінок.

У вступі відображений сучасний стан проблем, які існують на теперішній момент стосовно впливу домішок та дефектів на властивості вуглецевмістких аморфних та монокристалічних матеріалів. Зроблено висновок, що, попри інтенсивні дослідження, залишаються нез'ясованими такі питання як природа спінового обміну локалізованих і нелокалізованих електронів та зв'язок між магнітними й електричними характеристиками у гексагональних політипах монокристалів SiC з різним вмістом N, магнітні властивості домішкових станів і вплив дефектів на електронні процеси у DLC-плівках.

У першому розділі виконано огляд властивостей вуглецевмістких аморфних та монокристалічних матеріалів та методи їх вирощування. Розглянуто типи гібридизації атомів карбону, за рахунок яких можливе утворення різних алотропних форм вуглецю, та різницю в гібридизації поверхневих і глибоких шарів вуглецевих матеріалів. Зазначено суттєвий вплив гібридизації на властивості вуглецевих матеріалів.

Другий розділ присвячено огляду застосування спектроскопії ЕПР для дослідження вуглецевмістких матеріалів. Розглянуто теоретичні та експериментальні основи методу, зокрема детально описано основні компоненти спектрометра ЕПР. Зазначено, які параметри парамагнітних систем можуть бути визначені з аналізу експериментальних параметрів спектра.

У третьому розділі представлено результати дослідження електрофізичних та магнітних властивостей монокристалів 4H-SiC із різною концентрацією донорів азоту. Проаналізовано механізми спінового обміну між локалізованими та нелокалізованими електронами, дослідження проведено за допомогою безконтактного мікрохвильового резонаторного методу та спектроскопії ЕПР в стаціонарному та імпульсному режимах.

У четвертому розділі проведено ЕПР дослідження безводневих алмазоподібних вуглецевих плівок, легованих германієм, в широкому діапазоні температур. Проаналізовано температурні залежності спінової сприйнятливості, положення резонансного магнітного поля та ширини лінії спектру ЕПР.

П'ятий розділ присвячено вивченню зв'язку між магнітними та електричними властивостями донорів азоту в монокристалах 6H-SiC з низьким

питомим опором. З даною метою досліджено природу сигналу ЕДМР у монокристалах 6H-SiC з високим вмістом азоту.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 3 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, з яких 3 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1 — Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

/Оцінити науковий рівень публікацій здобувача та дотримання в наукових публікаціях принципів академічної доброчесності та особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих із співавторами та зарахованих за темою дисертації./

Якість та кількість публікацій відповідають «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

/Описати недоліки та зауваження/

Не зважаючи на високу загальну оцінку дисертаційної роботи, вимушений зробити декілька зауважень.

- Перше стосується форми та обсягу матеріалу. На мій погляд оглядова частина тексту могла б бути меншою. Там розлого описані особливості численних дослідницьких методик використаних під час досліджень, проводиться детальний розбір тонкощів молекулярної структури та електронних орбіталей досліджуваних систем. Це було б слушно при написанні навчального посібника для слухачів другого та третього начальних рівнів. Разом з тим, така форма викладення має певний потенціал, якщо авторка доопрацює матеріал до рівня монографії чи підручника. В принципі, обсяг оригінальної частини, де викладено результати власних досліджень, цілком достатній і відповідає вимогам щодо написання дисертацій.

- Хочу звернути увагу на незвичну форму спінового гамільтоніану у зовнішньому полі (2.6), (2.7), адже в системі існує один виділений напрямок, що співпадає з напрямком зовнішнього поля. При записі зесманівської взаємодії енергія стану зі спіном в напрямку магнітного поля повинна мати найменше, від'ємне значення. Не зрозуміло, чому за додатний напрямок обрано орієнтацію спіну антипаралельну до поля?
- Маю певні зауваження до обробки результатів експериментальних досліджень, представлених на Рис.3.7 де наводиться обернена магнітна сприйнятливість у співставленні з теоретичними розрахунками за формулою (3.5). Судячи з цієї формули, при збільшенні температури ріст оберненої сприйнятливості повинен сповільнюватися і виходити на насичення до величини $1/\chi_0$. Замість того у теоретичних кривих спостерігається прискорене зростання при збільшенні температури. Ці обставини потребують пояснення.
- В роботі трапляються дещо поверхневі вислови. Так із висловлювання на стор.21 складається враження, що здобувач вважає періодом відкриття алмазу та графіту середину XIX сторіччя. Потрібні уточнення.
- Хочу також зазначити, що на мій погляд назва роботи сформульована не зовсім вдало. Складається враження, що метою були дослідження властивостей дефектів та допуючих включень, у той час, як надалі з'ясовується, що всеж таки досліджується вплив дефектів і включень на фізичні властивості матеріалу.

Разом з тим вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Голяtkіної М. О. на тему «Електрофізичні та магнітні властивості домішок і дефектів у вуглецевістких аморфних та монокристалічних матеріалах» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 10 Природничі науки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Голяткіна Марина Олексіївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

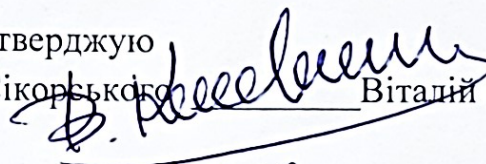
Рецензент:

професор кафедри загальної фізики
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
д.ф.-м.н., проф.



Юрій ДЖЕЖЕРЯ

Підпис професора Юрія Джежері підтверджую
Декан ФМФ НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського



Віталій Котовський

М.П.

«19» 05 2025 року