

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.

Дослідження фізичних властивостей нелегованих та легованих кристалів та плівок вуглецевомістких матеріалів представляє значний інтерес. Визначення впливу дефектів структури на транспортні властивості матеріалів та вплив на них спіну важливі для прогнозування їх властивостей, таких як провідність, оптичні характеристики, трибологічні, тощо. Ці матеріали перспективні для застосування в електроніці, біомедичних технологіях, енергетиці. Встановлення фізичних механізмів спінів залежних ефектів в цих матеріалах є важливою фізичною задачею. Ефективним інструментом дослідження спінових станів та взаємодій в вуглецевомістких матеріалах, який використовується в дисертації, є метод електронного парамагнітного резонансу.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше в широкому діапазоні температур від 5 К до 295 К за допомогою методу електронного парамагнітного резонансу проведено дослідження впливу домішок германію на електронні та магнітні властивості безводневих алмазоподібних вуглецевих тонких плівок. Це дозволило виявити температурні прояви спінів залежних взаємодій в цих матеріалах.

2. Вперше з аналізу спектрів електрично-детектованого магнітного резонансу у 6H-SiC з високим вмістом азоту виявлено зв'язок між концентрацією домішок та електронним транспортом.

3. Вперше у 4H-SiC виявлено з даних ЕПР прояви спін залежних зв'язків феро/антиферомагнітного типу між локалізованими та делокалізованими електронами, що важливо завдяки їх впливу на електропровідність матеріалу.

Ступінь обґрунтованості. Наукові положення та висновки, сформульовані в дисертаційній роботі, є обґрунтованими та підтверджуються результатами експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків. Результати розрахунків та теоретичного моделювання добре узгоджені. Застосування методів електронного парамагнітного резонансу забезпечують високу достовірність при визначенні фізичних властивостей досліджуваних матеріалів. Отримані результати узгоджуються з відомими літературними даними.

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі наукових результатів підтверджується:

- коректно сформульованими задачами, обґрунтованому використанню сучасних математичних методів аналізу та моделюванню спектрів з використанням реальних вихідних даних досліджуваних вуглецевомістких матеріалів, отриманих в експериментах;
- використанням сучасного стану досліджень вуглецевомістких матеріалів завдяки ґрунтовному огляду наукових публікацій за тематикою дослідження;
- якісним та кількісним узгодженням експериментальних результатів з обраними математичними моделями та теоретичними розрахунками квантових станів спін-гамільтоніанів;
- апробацією наукових результатів.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі загальної фізики та моделювання фізичних процесів КПП 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 КПП ім. Ігоря Сікорського д.ф.-м.н., доц. Савченко Дарії Вікторівни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання визначити фізичні властивості нелегованих та легованих вуглецевомістких кристалів та

плівок за допомогою методів парамагнітного резонансу та виявити вплив спін залежних ефектів, виконано повністю, 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 спінова електроніка та спектроскопія магнітного резонансу.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, 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.

Дисертаційна робота загалом має чітко структурований виклад, що відповідає вимогам МОН України до дисертаційних робіт. Усі розділи мають внутрішню єдність та завершеність. Стиль мовлення – науковий.

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

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи. Означено мету роботи та задачі досліджень для її досягнення. Охарактеризовано роботу в цілому, а також наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. та визначено зв'язок з науковими програмами. Наведено відомості про публікації здобувача. Зроблено висновок, щодо актуальності досліджень спін залежних ефектів у монокристалах SiC з різним вмістом N, у DLC-плівках.

У першому розділі зроблено огляд властивостей вуглецевомістких матеріалів, описано методи їх вирощування та можливі застосування.

У другому розділі зроблено опис методу електронного парамагнітного резонансу, описані теоретичні та експериментальні основи ЕПР спектроскопії-стаціонарного та ехо-детектованого ЕПР. Описано ЕПР спектрометр Bruker ELEXSYS E580, на якому були отримані експериментальні дані, що

аналізувались в дисертаційній роботі. Надано загальні характеристики спектрів ЕПР, типи ліній та їх параметри.

У третьому розділі в діапазоні температур від 4,2 К до 300 К досліджені ЕПР спектри монокристалів 4Н-SiC із різною концентрацією донорів азоту. Зроблено аналіз ліній та проаналізовано температурні залежності спектрів. Температурна залежність інтенсивності була інтерпретована як така, що подібна температурній залежності магнітної сприйнятливості локалізованих спінів та паулівського внеску. Температурні залежності g-фактора та ширин лінії отримані. Здійснено аналіз спінових взаємодій між локалізованими та нелокалізованими електронами.

У четвертому розділі проаналізовано ЕПР спектри безводневих алмазоподібних вуглецевих плівок товщиною 160 нм, легованих германієм, від гелієвої до кімнатної температури. З даних інтенсивності проаналізовано температурну залежність для магнітної сприйнятливості, за допомогою якої проаналізовано температурний хід величини резонансного поля.

У п'ятому розділі досліджено спектри ЕПР монокристалів 6Н-SiC n-типу з некомпенсованою концентрацією донорів азоту. Проаналізовано спектри ЕПР, отримано параметри спін-гамільтоніану. У спектрах виявлено S-лінії при температурі нижчій 150 К, поява яких обумовлена спін-спіновою взаємодією між локалізованими електронами.

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 опубліковані 7 наукових публікаціях, з яких 3 статті опубліковано у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, з яких 1 стаття у виданні віднесеному до першого квартиля (Q1), 1 стаття у виданні віднесеному до другого квартиля (Q2), 1 стаття у виданні віднесеному до третього квартиля (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача виконано на відповідному науковому рівні, принципів академічної доброчесності у статтях здобувача не було порушено.

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.

1. У розділі 1 не написано, як досягається стабільність збурених гібридизованих станів вуглецю.

2. В пункті 1.3 не наведені товщини плівок DLC та не пояснено, що таке «гладка поверхня на атомному рівні».

3. Рис. 1.7 не описаний в повній мірі, не всі позначення на ньому визначені.

4. З рис. 2.1 не зрозуміло, чому розщеплення не розпочинається починаючи з самого початку розгортки поля і чому воно потім припиняється?

5. Вираз (2.1) класичне наближення, а (2.2) квантове?

6. Який знак g-фактора?

7. Чи враховує спін-гамільтоніан збурені стани, чи розрахунки зроблені тільки для основного стану? Чи не є проявом впливу збурених станів на хід «магнітної сприйнятливості» при високій температурі в розділі 4?

8. Чи аналізувався вплив сильного магнітного поля 5 Тл на спектр при $T=4.2$ К, на скільки суттєво воно може вплинути на заселеність рівнів?

9. Велика за величиною від'ємна/додатна парамагнітна температура можливо вказує, що методика визначення парамагнітної сприйнятливості має обмеження або вона недостатньо точна при низьких температурах, чи поведінка магнітної сприйнятливості не слідує (3.4) чи (4.1)?

10. На користь попереднього зауваження з залежності (4.3) маємо «перенормування парамагнітної температури».

11. Залежність (4.4) прямо пропорційна температурі, а на рис. 4.4 лінійна.

12. Чи можливий ефект згладжування сигналу, коли амплітуда модуляції 0.5 мТл, як в пункті 5.2, а резонансна лінія може бути доволі вузькою лежати в інтервалі 1 мТл, як, наприклад, на рис. 5.2? Як це може вплинути на точність визначення параметрів спін-гамільтоніану?

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

Голяткіної 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.

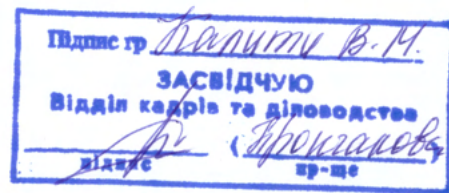
Здобувач Голяткіна Марина Олексіївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент:

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



Віктор КАЛИТА



« 04 » 06 2025 року