



ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
к.т.н., доц.
Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

«28» лютого 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу №02-25 від 20.02.2025 р. спільного засідання
кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів та
кафедри загальної фізики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів:
- завідувач кафедри, д.ф.-м.н., доц. Савченко Д. В.;
- професор, д.ф.-м.н., проф. Горобець О. Ю.;
- доцент, д.ф.-м.н., доц. Саріков А. В.;
- доцент, к.п.н., доц. Гарєєва Ф. М.;
- доцент, к.ф.-м.н., доц. Носачов Ю. Ф.;
- доцент, к.ф.-м.н., доц. Чурсанова М. В.;
- доцент, к.т.н., доц. Штофель О. О.
- старший викладач Дрозденко О. В.;
- старший викладач Керита О. О.;
- старший викладач Кузь О. П.;
- старший викладач Немировський А. В.;
- старший викладач Подласов С. О.;
- старший викладач Чижська Т. Г.;
- асистент Ватолкін Д. П.;
- аспірант Урядов А. В.;

- з кафедри загальної фізики:

- завідувач кафедри, д.ф.-м.н., проф. Решетняк С. О.;
- професор, д.ф.-м.н., проф. Калита В. М.;
- професор, д.ф.-м.н., проф. Русаков В. Ф.;
- професор, д.ф.-м.н., проф. Снарський А. О.;
- доцент, к.ф.-м.н., доц. Братусь Т. І.;
- доцент, к.ф.-м.н., доц. Климук О. С.;
- доцент, к.ф.-м.н., доц. Шут А. М.;
- старший викладач, PhD з фізики та астрономії Гусєва Ю. І.;
- старший викладач, к.ф.-м.н. Забуга А. Г.;
- старший викладач Дімарова О. В.;
- старший викладач Довженко О. П.;
- старший викладач Самар Г. В.;
- старший викладач Строкач М. С.;
- асистент Колган В. В.;

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспірантки кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів Голяткіної Марини Олексіївни за матеріалами дисертаційної роботи «Електрофізичні та магнітні властивості домішок і дефектів у вуглецевомістких аморфних та монокристалічних матеріалах», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія». Освітньо-наукова програма «Фізика».

Тему дисертаційної роботи «Електрофізичні та магнітні властивості домішок і дефектів у вуглецевомістких аморфних та монокристалічних матеріалах» затверджено на засіданні Вченої ради фізико-математичного факультету (протокол № 3 від «10» листопада 2021 року)

та перезатверджено на засіданні Вченої ради фізико-математичного факультету (протокол № 6 від «12» жовтня 2022 року).

Науковим керівником затверджена д.ф.-м.н., доц. Савченко Д. В.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

- д.ф.-м.н., проф. Горобець О. Ю.;
- д.ф.-м.н., проф. Калита В. М.;

- д.ф.-м.н., проф. Решетняк С. О.,

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

- д.ф.-м.н., проф. Горобець О. Ю.,
- д.ф.-м.н., проф. Калита В. М.;
- д.ф.-м.н., проф. Решетняк С. О.;
- д.ф.-м.н., проф. Русаков В. Ф.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження. Фізичні властивості вуглецевмістких матеріалів значною мірою визначаються дефектною структурою та домішковими центрами, це дає можливість отримувати матеріали з керованими властивостями, такими як провідність, оптичні характеристики тощо. Високі тепло- та електропровідність, зносостійкість сприяли широкому застосуванню вуглецевмістких матеріалів у пристроях, які працюють у складних експлуатаційних умовах: у корозійних середовищах, за високих температур та напруг тощо. Це перспективні матеріали для застосування в електроніці, біомедичних технологіях, енергетиці. Встановлення наявності магнітного впорядкування та зв'язку між спіновими властивостями й електронною провідністю необхідне для використання вуглецевмістких матеріалів у спінтроніці, квантових технологіях і сенсорних пристроях.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота над дисертацією виконувалася в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", а також за груповим грантом у рамках конкурсу «Magnetism for Ukraine 2023» від IEEE Magnetics Society під егідою УНТЦ та Інституту Магнетизму НАН України та МОН України. Повна назва гранту: "Magnetic interactions and spin dynamics in heavily nitrogen-doped 6H-SiC monocrystals" (01.12.2023-30.11.2024, № 9918), керівник – д.ф.-м.н., доц. Д.В. Савченко та в рамках ініціативної теми кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів «Магнітні взаємодії та спінова динаміка у монокристалічному 4H-SiC з високим ступенем легування донорами азоту» (№ 0119U100485, 01.01.2023-31.12.2023).

3. Наукова новизна отриманих результатів.

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.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи:

- Розширено уявлення про електронні та магнітні властивості вуглецевмістких матеріалів, зокрема встановлено вплив домішок і дефектів на електронну структуру вуглецевмістких матеріалів та визначено механізми взаємодії локалізованих і делокалізованих електронних станів.

- Визначено механізми спінових процесів, а саме: встановлено магнітне впорядкування та спінові релаксаційні процеси у допованих вуглецевмістких матеріалах, а також зв'язок між магнітними властивостями та електропровідністю.

- Поглиблено розуміння ЕПР як інструменту дослідження домішкових і дефектних станів та визначено особливості застосування ЕПР для вуглецевих структур, таких як DLC-плівки та SiC.

- Встановлення впливу домішки германію на властивості DLC-плівок дозволяє зрозуміти механізми впливу дефектної структури на електрофізичні параметри плівок та оцінити можливості їхньої модифікації, що сприятиме розробці нових матеріалів для антикорозійних покриттів, оптоелектроніки та біомедичних імплантів.

- Встановлення механізмів взаємодії азотно-пов'язаних центрів у SiC сприятиме удосконаленню напівпровідникових пристроїв: високочутливих сенсорів, потужних діодів та транзисторів, що працюють у складних умовах.

- Визначення впливу концентрації азотних домішок на електронний транспорт і магнітні властивості SiC є ключовим для оптимізації напівпровідникових пристроїв, вироблених на основі SiC. Отримані результати також можуть сприяти розробці нових схем зчитування та керування спіновими станами для квантових сенсорів і спінових кубітів.

5. Апробація результатів дисертації. Результати були представлені в наступних на міжнародних конференціях та семінарах:

1. IEEE Magnetics Society "Magnetism for Ukraine Initiative" Workshop. Kyiv, Ukraine, 14 November 2024.

2. 9-та Українська наукова конференція з фізики напівпровідників. Ужгород, Україна, 22-26 травня 2023.

3. Ukrainian Conference with International Participation "Chemistry, Physics and Technology of Surface" and Workshop "Microwaves and nanoparticles for real-time detection of human pathogens". Kyiv, Ukraine, 19-20 October 2022.

4. Українська наукова конференція «30 років Інституту електронної фізики НАН України». Ужгород, Україна, 21-23 вересня 2022.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Голяткіної М. О. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, копіювання, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 7 наукових публікацій, у тому числі:

- 3 статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection віднесених до кuartилів Q1 – Q3;
- 4 тези виступів на наукових конференціях.

Список статей:

1. Holiatkina, M., Solodovnyk, A., Laguta, O., Neugebauer, P., Kalabukhova, E., & Savchenko, D. (2024). Nature of electrically detected magnetic resonance in highly nitrogen-doped 6H-SiC single crystals. *Phys. Rev. B*, 110(12), 125205. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.110.125205> (*Закордонне видання, що входить до WoS та Scopus, кuartиль Q1 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank*).

Особистий внесок здобувача: здобувачкою виконано огляд літератури; значною мірою виконані вимірювання ЕПР у монокристалічному 6H-SiC з високим вмістом азоту в температурному діапазоні 120 – 293 К. Проведено аналіз спектрів ЕДМР, отриманих у монокристалічному 6H-SiC з високим вмістом азоту. Проведено аналіз та обговорення результатів зі співавторами та взято участь у підготовці публікації до друку.

2. Holiatkina, M., Pöpl, A., Kalabukhova, E., Lančok, J., & Savchenko, D. (2023). Spin exchange dynamics in 4H-SiC monocrystals with different nitrogen donor concentrations. *Journal of Applied Physics*, 134(14), 145702. <https://doi.org/10.1063/5.0172320> (*Закордонне видання, що входить до WoS та Scopus, кuartиль Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank*).

Особистий внесок здобувача: здобувачкою виконано огляд літератури; значною мірою взято участь у проведенні розрахунків параметрів спінового Гамільтоніана для донорів азоту в монокристалічному 4H-SiC з різними концентраціями донорів азоту. Значною мірою взято участь в аналізі температурних залежностей параметрів спектрів ЕПР монокристалічного 4H-SiC з різними концентраціями донорів азоту та в оцінці температурної залежності провідності та енергії активації донорів азоту в монокристалічному 4H-SiC за допомогою мікрохвильового резонаторного методу. Проведено

аналіз та обговорення результатів зі співавторами та взято участь у підготовці публікації до друку.

3. Holiatkina, M., Savchenko, D., Kocourek, T., Prokhorov, A., Lančok, J., & Kalabukhova, E. (2023). ESR study of hydrogen-free germanium-doped diamondlike carbon films. *Physica Status Solidi B*, 260(2), 2200155. <https://doi.org/10.1002/pssb.202200155> (*Закордонне видання, що входить до WoS та Scopus, кuartиль Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank*).

Особистий внесок здобувача: здобувачкою виконано огляд літератури та моделювання спектрів ЕПР безводневих алмазоподібних вуглецевих плівок, легованих Германієм. Значною мірою взято участь в аналізі температурних залежностей параметрів спектрів ЕПР DLC:Ge плівок. Проведено аналіз та обговорення результатів зі співавторами та взято участь у підготовці публікації до друку.

Публікації у збірниках матеріалів конференції:

4. M. O. Holiatkina, A. S. Solodovnyk, O. V. Laguta, P. Neugebauer, E. N. Kalabukhova, D. V. Savchenko. The nature of electrically detected magnetic resonance in highly nitrogen-doped 6H-SiC single crystals. Book of Abstracts of IEEE Magnetics Society “Magnetism for Ukraine Initiative” Workshop. – Kyiv, Ukraine, 14 November 2024. – P. 43-44.

Особистий внесок здобувача: здобувачкою виконано огляд літератури; значною мірою виконані вимірювання ЕПР у монокристалічному 6H-SiC з високим вмістом азоту в температурному діапазоні 120 – 293 K. Проведено аналіз спектрів ЕДМР, отриманих у монокристалічному 6H-SiC з високим вмістом азоту. Проведено аналіз та обговорення результатів зі співавторами та взято участь у підготовці тез.

5. М. О. Голяткіна, К. М. Калабухова, Д. В. Савченко. Взаємодія між локалізованими та делокалізованими електронами у монокристалах 4H-SiC n-типу. Матеріали 9-тої Української наукової конференції з фізики напівпровідників. – Ужгород, Україна, 22-26 травня 2023. – с. 312-313.

Особистий внесок здобувача: здобувачкою виконано огляд літератури; значною мірою взято участь у проведенні розрахунків параметрів спінового Гамільтоніана для донорів азоту в монокристалічному 4H-SiC з різними концентраціями донорів азоту. Значною мірою взято участь в аналізі температурних залежностей параметрів спектрів ЕПР монокристалічного 4H-SiC з різними концентраціями донорів азоту та в оцінці температурної залежності провідності та енергії активації донорів азоту в монокристалічному 4H-SiC за допомогою мікрохвильового резонаторного методу. Проведено аналіз та обговорення результатів зі співавторами та взято участь у підготовці тез. Здійснено виступ на конференції.

6. M. O. Holiatkina, D. V. Savchenko, T. Kocourek, A. A. Prokhorov, J. Lančok, K. M. Kalabukhova. ESR study of hydrogen-free germanium-doped

diamond-like carbon films. Proceedings of Ukrainian Conference with International Participation "Chemistry, Physics and Technology of Surface" and Workshop "Microwaves and nanoparticles for real-time detection of human pathogens". – Kyiv, Ukraine, 19-20 October 2022. – P. 79.

Особистий внесок здобувача: здобувачкою виконано огляд літератури та моделювання спектрів ЕПР безводневих алмазоподібних вуглецевих плівок, легованих Германієм. Значною мірою взято участь в аналізі температурних залежностей параметрів спектрів ЕПР DLC:Ge плівок. Проведено аналіз та обговорення результатів зі співавторами та взято участь у підготовці тез. Підготовлено постер та здійснено виступ на постерній сесії конференції.

7. М. О. Голяtkіна, Д. В. Савченко, Т. Коцоурек, А. А. Прохоров, Я. Ланчок, К. М. Калабухова. Дослідження безводневих алмазоподібних вуглецевих плівок, легованих германієм, методом електронного парамагнітного резонансу. Збірник матеріалів конференції «30 років Інституту електронної фізики НАН України»:.. – Ужгород, Україна, 21-23 вересня 2022. – с. 134-135.

Особистий внесок здобувача: здобувачкою виконано огляд літератури та моделювання спектрів ЕПР безводневих алмазоподібних вуглецевих плівок, легованих Германієм. Значною мірою взято участь в аналізі температурних залежностей параметрів спектрів ЕПР DLC:Ge плівок. Проведено аналіз та обговорення результатів зі співавторами та взято участь у підготовці публікації тез. Здійснено виступ на конференції.

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.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Голяtkіної М. О. «Електрофізичні та магнітні властивості домішок і дефектів у вуглецевомістких аморфних та монокристалічних матеріалах», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського «Фізика» зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія».

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Електрофізичні та магнітні властивості домішок і дефектів у вуглецевомістких аморфних та монокристалічних матеріалах», подану Голяtkіною Мариною Олексіївною на здобуття

наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д.ф.-м.н., проф., професор кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів **Горобець Оксана Юрївна**;

Члени:

Рецензенти:

д.ф.-м.н., проф., професор кафедри загальної фізики **Джежеря Юрій Іванович**;

д.ф.-м.н., проф., професор кафедри загальної фізики **Калита Віктор Михайлович**;

Офіційні опоненти:

д.ф.-м.н., с.н.с., завідувач відділу теорії магнітних явищ та магнітної динаміки конденсованих середовищ Інституту магнетизму імені В.Г. Бар'яхтара НАН України **Голуб Володимир Олегович**;

д.ф.-м.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу оптики і спектроскопії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України **Кончиць Андрій Андрійович**.

Головуючий на засіданні

д.ф.-м.н., проф., завідувач
кафедри загальної фізики



Сергій РЕШЕТНЯК

Вчений секретар
кафедри загальної фізики та
моделювання фізичних процесів



Олександра ДРОЗДЕНКО