

ЗАТВЕРДЖУЮ

Т.в.о. ректора
Державного закладу
«Південноукраїнський
національний педагогічний
університет імені К. Д. Ушинського»
Ганна МУЗИЧЕНКО
2026 року

ВИСНОВОК

про дисертацію здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» Діани Олександрівни Попряги з теми «Кластерно-модифіковані гетероструктури з нанокластерною підсистемою».

Наукові керівники: кандидат фізико-математичних наук, доцент Дячок Дмитро Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор Ковальчук Володимир Володимирович.

Витяг з протоколу № 11

розширеного засідання кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний імені К. Д. Ушинського»

від 27 лютого 2026 року

На засіданні були присутні: доктори фізико-математичних наук, професори А. Ю. Ків, О. Р. Гохман, В. В. Усов, кандидати фізико-математичних наук, доценти Т. С. Совкова, І. І. Дончев, Д. О. Дячок, Н. А. Волчок, Н. М. Шкатуляк, доктор педагогічних наук, професор О. Ордановська, кандидат педагогічних наук, доцент Л. В. Боднар, доктор філософії І. І. Дончев, викладач-стажист О. Соловейчук, лаборант І. Філіппович;

запрошені: доктори фізико-математичних наук, професори О. Р. Гохман (Гарант ОНП 105 Прикладна фізика і наноматеріали), В. В. Усов, В. В. Ковальчук.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ: доповідь аспірантки Університету Ушинського Діани Попряги за змістом дисертації з теми «Кластерно-модифіковані гетероструктури з нанокластерною підсистемою»; затвердження рекомендацій щодо складу разової СВР.

СЛУХАЛИ: Обговорення дисертації здобувачки наукового ступеня Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» Діани Попряги з теми «Кластерно-модифіковані гетероструктури з нанокластерною підсистемою».

ВИСТУПИЛИ:

Головуючий на засіданні, доктор фізико-математичних наук, професор А. Ю. Ків: пропоную присутнім заслухати доповідь здобувача наукового ступеня Попряги Діани за матеріалами дослідження і висловити свою думку щодо представленої роботи.

Тему дисертаційного дослідження затверджено вченою радою Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (протокол № 4 від 27.10.2022 року).

Діана Попряга: Вельмишановний Голово, члени кафедр та гості! Дозвольте мені представити результати дисертаційного дослідження з теми «Кластерно-модифіковані гетероструктури з нанокластерною підсистемою».

Мета нашого дослідження полягала у теоретичному обґрунтуванні й експериментальній перевірці ефективності впливу нанокластерної підсистеми речовини на властивості гетероструктур у вигляді плівкових гетеропереходів.

Дослідження враховує стратегічне значення та методологічні вектори удосконалення приладів електронної техніки, що вимагають розроблення гетеропереходів нового покоління з активним використанням нанотехнологій.

Розвідки у галузі нанотехнологій наразі набувають стратегічного характеру, зважаючи на необхідність повоєнного відновлення промисловості нашої країни, употужнення емпіричних досліджень у галузі прикладної фізики. Дослідження є надактуальним у контексті підвищення точності, чутливості, швидкодії та надійності функціонування приладів електронної техніки, складовими яких є гетеропереходи (ГП)

У дослідженні встановлено, що гетероструктури утворюються двома (або більше) співставними поверхнями різного типу твердих тіл, зокрема, напівпровідників. Важливим кроком розвитку цього напрямку є введення процедури кластеризації у такий гетероперехід. До складу останніх можуть входити квантово-розмірні утворення – атомарні нанокластери, що стохастично розподілені на границі їх розділу. Така система виокремлена нами як нанокластерна підсистема.

На нашу думку, вивчення механізмів формування нанокластерної підсистеми на поверхні напівпровідника, зокрема, кремнія відкриває нові можливості створення надійних, з великим діапазоном дії електронних приладів. Забезпечення цих умов ми пов'язуємо з розробкою ефективних методів неруйнівного контролю та проведення функціональної діагностики плівкових гетеропереходів з нанокластерною підсистемою.

У роботі науково обґрунтовано зміст феномена «нанокластерна підсистема». Ідея полягає в тому, що на поверхні напівпровідника формується нанокластерна підсистема, яка складається з атомарних нанокластерів різної симетрії, різних геометричних розмірів, різної фрактальної розмірності.

Доведено, що нанокластерна підсистема: відтворює властивості атомарних нанокластерів, дозволяє вивчити їх ознаки на перетині реальної і

модельної системи; передбачає сформованість методологічної бази даних для вирішення практичних задач твердотільної електроніки; виявляє і визначає співвідношення різних механізмів утворення атомарних нанокластерів, як в ізольованому стані так і у матричному оточенні.

Представлений нами підхід до вивчення властивостей гетеропереходу з нанокластерною підсистемою представляє собою динамічний синтез теоретичних, прикладних та інженерних складових. Це відкриває нові можливості щодо поглиблення наших уявлень про керування властивостями складної гетероструктури у вигляді плівкового гетеропереходу.

Ми переконані в тому, що за допомогою математичних моделей можна ефективно провести дослідження властивостей не лише реальних атомарних нанокластерів кремнію, але і нанокластерної підсистеми взагалі.

У дисертаційній роботі математична модель описана як комбінований механізм, що передбачає комплексне використання методів квантової хімії з перших принципів (так звані *ab initio* методи, що ґрунтуються на методі функціоналу електронної густини у параметризованому вигляді), а також потенціалів міжатомної взаємодії (зокрема, *Modified Stilling-Weber's potentials*).

У дисертації ми довели, що саме використання нанокластерної підсистеми дозволяє здійснювати керування властивостями гетеропереходу в цілому. До складу приладу входить гетероперехід, де на підкладку з твердотільного кремнію нанесено шар кластеризованого матеріалу – нанокластерна підсистема – що покрита плівкою сірчистої міді.

Запропонований нами підхід фіксує можливість використання модельно-експериментального пошуку з метою розроблення науково обґрунтованого підходу щодо створення приладу, що експлуатує квантово-розмірні ефекти, що спостерігаються у кластеризованій плівці.

Запропонований нами підхід розкриває здатність експериментатора вивчати фізико-хімічні характеристики; забезпечує теоретику адекватний вибір методів дослідження реальних нанорозмірних систем.

Отже, в дисертації запропоновано методи, що спрямовані на з'ясування механізмів формування, фізичної природи та властивостей кластеризованої мікрофази від субколоїдного до нанорозмірного формату в монофазі на субстратній основі та в об'ємі матричного матеріалу. Особлива увага приділена випадкам, коли нанокластери функціонально модифікують властивості базового матеріалу.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що **вперше** введено поняття «кластерно-модифіковані матеріали» – отримало своє обґрунтування. Доведено, що поєднання результатів (експериментальних і теоретичних), що присвячені кластерній тематиці, охоплює новий єдиний напрям, який відкриває широкі перспективи у напівпровідниковій мікроелектроніці.

Запропоновано теоретичні методи модельного дослідження атомної, електронної та фононної структур нанокластерів, на основі методу функціоналу електронної густини.

Проведено молекулярно-динамічні розрахунки з використанням потенціалів взаємодії між атомами і нанокластерами у нанокластерній підсистемі.

Запропоновано теоретичні методи вивчення механізмів формування і фізико-хімічних властивостей нанокластерів. Розглянуто процеси, що пов'язані з фактором симетризації та стабілізації НК

Розроблено методи і досліджено функціонал гетеропереходу, до складу якого входить нанокластерна підсистема, доведено перспективність такої гетероструктури. Запропоновано технологічний метод отримання гетеропереходу з нанокластерною підсистемою.

Доведено, що дія спектрально-інверсованого гетеропереходу $p\text{Cu}_2\text{S}(\text{НКП})-n\text{Si}$ забезпечується поєднанням в одному переході двох істотно різних механізмів вентильного фотоефекту, розділених за відповідними їм активними областями спектру.

Доведено, що зі збільшенням розмірів нанокластерів до сотні і більше ангстрем фотовентильний ефект не тільки не посилюється, але й, навпаки, зовсім зникає.

Виготовлення такого фотоелемента включає операцію нанесення на поверхню кремнієвої пластини (при 100°C) кластерного растру колоїдної дисперсності.

Представлений спектрально-інверсійний фотоприймач, крім самостійного застосування, може бути використаний в конструкціях бістабільних оптронів, спільно з біхроматичним світлодіодом на основі арсеніду галію з керованою частотою випромінювання.

Дякую за увагу!

Після доповіді було поставлені запитання.

Кандидат фізико-математичних наук, доцент Н. А. Волчок: Діано Олександрівно, скажіть, будь ласка, що Ви маєте на увазі, коли говорите про прояв у ГП з НКП ефектів екстенсивності?

Діана Попряга: Дякую. Прояв екстенсивності НК – це дійсно феноменальне явище. Коли кількість атомів у НК не змінюється. А властивості їхні змінюються по причині зміни симетрії НК. Дозвольте мені навести приклад. НК з 6 атомів кремнію не є планарною структурою (вона гофрована: один атом вище, другий нижче), як до прикладу бензольне кільце з 6 атомів вуглецю. Тому, планарізація такого НК потребує енергії активації приблизно 0,4 еВ. І навпаки. Якщо дати релаксувати такій системі – то вона миттєво випромінює цю енергію. Ось такий нанометровий акумулятор.

Доктор філософії, викладач І. І. Дончев: У доповіді ви говорили про матричне оточення. Який зміст ви вкладаєте в поняття «матричне оточення»?

Діана Попряга: Дякую. Феноменологію матричного оточення описано у першому розділі нашої роботи. Щодо формування НК, у зв'язку з наявністю матричного матеріалу, стає задіяною значно більша кількість ступенів свободи, аніж при утворенні молекул. Така обставина наділяє НК твердого тіла специфічними властивостями і такий факт має методологічне

значення, оскільки дозволяє провести кількісні оцінки характеристик об'єктів саме з кластерною фазою речовини, визначити динаміку змін, що проходять в окремих мезоскопічних групах атомів з урахуванням конкретних локальних умов. Наприклад, експериментальне вимірювання масштабу неоднорідностей (~ 1 нм), сприяє розбудові теоретичних моделей з геометрією у діапазоні границь таких неоднорідностей.

Викладач-стажист О. М. Соловейчук: У мене запитання стосовно кластерного формату. Чи досліджували ви еволюцію думки вчених щодо ролі кластерного формату у теорії твердого тіла?

Діана Попряга: Дякую. У дисертації ми вивчали еволюцію розгортання наукової думки щодо специфіки класного формату теорії і практики фізики твердого тіла. Насамперед, ми дослідили особливості електронних сольватів і гідратів. У роботі ми спирались на те, що електрони можуть служити ініціюючим чинником, структурними елементами в процесі кластеризації матричного середовища.

Для нашого дослідження вагомими є класичні ідеї Л. Ландау про електрон, що рухається у діелектрику, поляризує останній, орієнтує частинки діелектрика таким чином, що, власне, саме електрон захоплюється і входить у рівновагу з електричним полем середовища.

Продуктивними для розробки концепції нашого дослідження були наукові напрацювання представників київської наукової школи С. Пекара (1951). Вченими доведено, що в результаті локальної поляризації електроном діелектрика виникає ефективна потенціальна «яма» з дискретним спектром, і електрон опиняється в одному з квантових станів.

Наступний крок був зроблений І. Ліфшицем і С. Гредескулом (1969), які розглянули взаємодію електрона з середовищем за допомогою слабких короткодійючих сил, що викликають сильну поляризацію з утворенням кластера.

Результати наших теоретичних досліджень електронних та оптичних властивостей нанокластерів кремнія в ізольованому стані і у матричному оточенні можуть бути використані для подальшого розвитку функціональної кремнієвої електроніки.

Доктор фізико-математичних наук, О. Р. Гохман: Які структурні утворення можна описувати за допомогою такого утворення, як НК?

Діана Попряга: Дякую. Справа в тому, що представлений нами геомеричний формат, у вигляді НК, що є основою для формування НКП, призводить до появи характерних особливостей у коливальних властивостях твердого тіла, змінює механізм релаксації електронного стану, визначає специфіку переносу зарядів. З нашої точки зору НК не є екзотичними одиничними утвореннями, аналогічно до дефектів у кристалах. Вони більш подібні до фрагментів, з яких повністю можуть бути сформовані аморфні тіла. В такому контексті їх можна вважати аналогами елементарної комірки кристалів, або квантово-розмірними системами в матричному оточенні.

Кандидат фізико-математичних наук, доцент І. І. Дончев: Чи можна узагальнити ефект впливу НКП на властивості інших напівпровідників, а не лише кремнію?

Діана Попряга: Дякую. Безперечно можна. Тут можуть бути НК у бінарних напівпровідниках типу A_2B_6 , або A_3B_5 , або у напівпровідникових матеріалів з елементів IV-ої групи таблиці Менделєєва. Зокрема германію. Головне тут підібрати плівку структурні характеристики якої мають схожі значення із значеннями підкладинки. У нашому випадку стала кристалічної ґратки кремнія і плівки сірчастої міді мають розбіжність у третьому значенні після коми (тобто до тисячних долей ангстрем). Це основний критерій відбору. Інші залежності нами не оцінювалися.

Доктор фізико-математичних наук, професор А. Ю. Ків: Назвіть, будь ласка, методики, які Ви використовували для діагностики стану сформованості виокремлених Вами показників аналітико-оцінного критерію науково-дослідницької культури майбутніх учителів.

Діана Попряга: Дякую! Так. Алгоритм модельного дослідження формування кластерної підсистеми був запропонований нами у рамках фрактального підходу. На рис. 4.4 він схематично представлений. Тут показано як здійснюється перехід від малих НК кремнія, що є фрагментами твердотільної речовини і складаються з декількох атомів аж до наночастинок, розміри яких сягають 10 нм. На рисунку є позначення характеристик. А саме: «Діаметр» атомарного НК поліедричної форми (П-АКС), n - кількість атомів у НК, r_a - радіус наночастки, $E_{св}$ - енергія зв'язку НК. Важливо тут зрозуміти перехід від використання методів квантової хімії до використання потенціалів міжатомної взаємодії та фрактальних методів опису наночастинок. Так у розділі 4 наведені експериментальні дані, що отримані методом азотної десорбції, розподілу структур, де містяться реальні нанокластери з 40, 60 та 10 атомами Si. Порівнюючи наші розрахункові дані фрактальної розмірності наноструктур з результатами експерименту (розділ 4) на рис.4.3 наведений саме той алгоритм, що дозволяє провести діагностичну оцінку дослідження наночастинок за допомогою фрактального підходу.

ОБГОВОРЕННЯ

Науковий керівник, доктор фізико-математичних наук, професор В. В. Ковальчук: Актуальність пропонованого Діаною Попрягою Олександрівною дисертаційного дослідження є безсумнівною, оскільки сьогодні надзвичайно важливим є створення приладів електронної техніки нового покоління, розвиток функціональної наноелектрики і саме у цьому аспекті нанофізика виходить на перший план, на новий горизонт.

Дисертантка вирізняється вміннями генерувати інноваційні ідеї й ефективну можливість використання модельно-практичного дослідницького пошуку з метою розроблення наукової стратегії створення приладу, який експлуатує квантово-розмірні ефекти, що спостерігаються у кластеризованій плівці.

Це дозволило їй розробити і впровадити методи, що спрямовані на з'ясування механізмів формування, фізичної природи та властивостей кластеризованої мікрофази від субколоїдного до нанорозмірного формату в монофазі на субстратній основі та в об'ємі матричного матеріалу.

Діаною Попрягою у повному обсязі виконано навчальний план та індивідуальний плани наукової роботи. Згідно з індивідуальним навчальним планом вивчено заплановані освітньо-науковою програмою навчальні дисципліни, пройдено асистентську практику відповідно до спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

З огляду на зазначене, прошу підтримати Діану Попрягу та її наукові та експериментальні напрацювання.

Науковий керівник, кандидат фізико-математичних наук, доцент Д. О. Дячок: Актуальність обраної Діаною Попрягою проблематики не викликає сумнівів, так як у сучасному часі надважливою є розробка приладів нового покоління. Упродовж роботи над темою дисертантка опрацювала належну кількість наукових джерел з фізики твердого тіла, наноматеріалів, нанотехнологій.

Дисертаційна робота охоплює сучасні напрями фізики твердого тіла та нанофізики. Авторка в межах роботи досліджує властивості речовини на атомному й молекулярному рівнях, включно з наноматеріалами та процесами кластеризації. Результати дослідження наразі вирізняються суттєвим прикладним значенням, адже орієнтовані на створення нових матеріалів із заданими характеристиками для електроніки, енергетики та біомедицини.

Вважаю інноваційною, логічною, науково обґрунтованою концепцію дисертаційного дослідження Діани Попряги, що фіксує методологічний, теоретичний та експериментальний концепти.

Упродовж роботи над дисертацією Діана Попряга виявила принциповість та послідовність у науковому обґрунтуванні власних умовиводів та аргументованість в обстоюванні авторської наукової позиції. Дисертантка представляє потужну наукову школу фізики твердого тіла та нанотехнологій Півдня України, розвиває у дослідженні концептуальні ідеї фундатора наукової школи А. Брюханова.

З огляду на зазначене, прошу підтримати інноваційні ідеї здобувачки, проведений нею експеримент.

Рецензент, кандидат фізико-математичних наук, доцент Т. С. Совкова: У процесі становлення та розвитку сучасних нанотехнологій суттєвий інтерес викликають питання з визначення енергетичного спектру, атомної структури та складу речовини на поверхні твердих тіл (ТТ) та у складі твердотільної гетероструктури (ГС). Інформаційна база даних швидко розростається, ускладнюється, при цьому збільшується цінність нових концептуальних положень, ідей, виявлених закономірностей про фізичні властивості, структуру ТТ. Це мотивує вивчення особливостей кінетичних і релаксаційних процесів на поверхні ТТ, дослідження механізмів формування нанокластерів (НК) речовини у матричному оточенні. Актуалізована у дисертації Діани Попряги проблематика фіксує сучасні вектори вивчення

міжатомної взаємодії, визначення нових закономірностей формування і фізичних властивостей низьковимірних систем у вигляді нанокластерної підсистеми (НКП) ТТ тіла. Отже, фіксуємо безсумнівну актуальність роботи.

Отримані Діаною Попрягою наукові результати є новими і, за своєю сукупністю, дозволяють вирішити поставлену в роботі наукову задачу.

Наукова новизна роботи :

- встановлено загальні фізичні закономірності утворення низьковимірних систем у вигляді Si-нанокластерів на основі принципів масштабної інваріантності переходу від модельної до реальної у вигляді багаторівневої НКП;
- визначено фізичні властивості ТТ ГС гетероструктур на основі Si з НКП; розроблено принципи виготовлення ТТ ГС у вигляді гетеропереходу (ГП), який включає операцію нанесення тонкої плівки на поверхню кластеризованої підкладинки кремнію;
- виявлено спектрально-інверсований ефект у ГП типу pCu_2S -НКП- nSi та аномально високу чутливість фотоелементів на цій основі при надвеликих дозах опромінення фотонами.

Практична значущість роботи: розроблено метод контролю фізичних властивостей та складу ТТ ГС з НКП; розроблено технологію виготовлення фотопристрою за допомогою операції нанесення на поверхню пластини кластерного растру субколоїдної дисперсності.

Матеріал дисертації структуровано логічно, репрезентовано науково-технічною мовою. Стиль викладання матеріалів дослідження, наукових положень, висновків та рекомендацій дозволяє легко сприймати матеріал дисертації, що свідчить про вміння автора аргументовано викладати власні думки.

Оцінюючи в цілому позитивно дисертаційну роботу, висловимо низку зауважень і побажань:

1. Матеріал першого розділу дисертації не надає вичерпного уявлення про параметри, що було використано у математичній моделі.
2. Бажано було б додатково описати наявність/відсутність впровадження умови термічної або іншої стабілізації нанокластерів у матричному оточенні.
3. У тексті дисертації відсутня інформація про випадки виникнення так званих «магічних» нанокластерів у іншому матричному оточенні.
4. Текст роботи не позбавлений технічних недоліків.

Зазначені недоліки не знижують загальний рівень та значущість одержаних наукових та практичних результатів дисертаційної роботи.

Висновок. Дисертаційна робота Діани Попряги є завершеною, самостійною науковою роботою, має внутрішню єдність, свідчить про особистий внесок авторки і відповідає вимогам МОН України до дисертаційних робіт. Отже, роботу можна рекомендувати до захисту в спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Рецензент, доктор фізико-математичних наук, професор **В. В. Усов**: Розвиток нанотехнологій у напрямку створення наноматеріалів з керованими властивостями сьогодні пов'язують з прогресом у багатьох галузях практичного виробництва, зокрема в твердотільній електроніці.

Дисертація Діани Попряги пов'язана з нанометровою тематикою у фізиці твердого тіла, що є актуальним напрямком досліджень сучасної науки.

На думку авторки, модифікація матеріалів засобами кластеризації визначає нові горизонти фізичного матеріалознавства, зокрема у наноелектроніці.

Результативність зміни агрегатного стану речовини термічними, або ж радіаційними засобами у прикладній фізиці є провідним механізмом вивчення характеристик твердотільних об'єктів. Застосування методів кластерної модифікації твердотільної речовини є ефективним підходом, який запропонований здобувачкою та описаний емпірично. Реалізація ідеї модифікації твердотільних матеріалів засобами кластеризації, дозволяє отримати на практиці метод керування властивостями твердотільної речовини шляхом створення підсистеми з нанокластерів та варіюванням атомарної структури останніх, що є, на нашу думку, інноваційним у роботі Діани Попряги.

Стосовно питання зародження нових фаз, слід підкреслити, наскільки важливими є властивості нової фази, що зароджується в процесі епітаксії усіх видів, отже питання зародження нової фази мають вирішуватися на мікрорівні. Отже, прогнозування властивостей фази, що зароджується є ще одним важливим та перспективним вектором, який впливає з отриманих здобувачкою досліджень.

У дисертаційній роботі запропоновано технологію виготовлення фотоелементу, що включає операцію нанесення на поверхню твердотільної підкладки кластерного растру, з метою формування гетероструктури. Авторка розробила алгоритм модельної репрезентації таких систем у вигляді принципово нового типу гетероструктур – кластеризованих гетероструктур.

Дисертанткою доведено, що саме такі гетероструктури суттєво відрізняються від некластеризованої речовини. На основі з'ясованого здобувачкою надлінійного фотовентильного ефекту, що сприяє підвищенню фоточутливості елементів при великому освітленні, запропоновано алгоритм проведення функціонального модифікування властивостей базового матеріалу. Особливе значення при цьому має різка екстенсивність властивостей кластерної фази.

Незважаючи на системність та актуальність представленої роботи, висловимо низку зауважень.

1. Рисунок 5.12 бажано було б доповнити параметрами зміни розташування точки інверсії, або пояснити причини при зміні типу речовини.
2. Не зовсім чітко пояснені епюри на рис.5.12, що робить провідне теоретичне положення п'ятого розділу не вповні аргументованим.

3. В тексті роботи використано надмірну кількість графічних матеріалів, які слід було б розмістити у додатках.
4. Основний текст роботи містить нечисленні орфографічні помилки та неточності.

Натомість, висловлені зауваження ні в якому разі не знижують цінності дисертаційного дослідження. Структура дисертації, має чітку, логічну послідовність, обґрунтовані та доцільні всі її змістові компоненти. Зміст висновків відповідає меті, завданням, гіпотезі та основним етапам проведеного дослідження.

З огляду на зазначене, вважаю, що проведене дослідження є актуальним, самостійним і завершеним, відповідає вимогам МОН України, що ставляться до дисертацій, а її дисертація може бути подана до розгляду і захисту за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Кандидат фізико-математичних наук, доцент І. І. Дончев: Впродовж чотирьох років аспірантури ми всі спостерігали як дисертантка поступово опрацювала тематику нанокластерної підсистеми речовини у гетеропереходах, яка разом з науковими керівниками розробляли прилад до складу якого входить гетероперехід, де на підкладку з твердотільного кремнію нанесено шар кластеризованого матеріалу.

Вважаю, що робота є цікавою за ідеєю та актуальною, відповідає усім вимогам та у подальшому може бути рекомендованою до захисту в спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Кандидат фізико-математичних наук, доцент Н. А. Волчок: Кластерні гетеропереходи використовуються для створення квантових ям, точок і надґраток, що лежать в основі сучасної наноелектроніки та оптоелектроніки. У нанофізиці кластеризація дозволяє керовано формувати наноматеріали з бажаними характеристиками (наприклад, провідність, оптична прозорість, магнітні властивості). Це відкриває шлях до створення сенсорів, каталізаторів, елементів пам'яті та фотонних пристроїв. В умовах необхідності відновлення економіки країни, промислового виробництва, дослідження Діани Попряги вирізняється стратегічним значенням, адже представляє реальні, емпіричним чином здобуті результати застосування механізму кластеризації в твердо тільних структурах. Отже, робота значно посилює функціонал сучасного наноматеріалознавства.

Я оцінюю дисертаційну роботу Діани Попряги високо і рекомендую її до захисту в спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Доктор фізико-математичних наук, професор О. Р. Гохман: Як гарант освітньо-наукової програми 105 Прикладна фізика та наноматеріали підтримував Діану Попрягу в її науковому пошуку, спостерігав як вона конструювала алгоритм проведення експерименту. Дисертантка ґрунтовно опрацювала наукові джерела, статті у наукометричній базі, свідомо підійшла до планування експерименту із модифікації твердотільних матеріалів засобами кластеризації.

Я підтримую роботу адже вважаю, що вона відповідає усім вимогам та у подальшому може бути рекомендованою до захисту в спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Доктор фізико-математичних наук, професор А. Ю. Ків: прошу долучитись до дискусії та розглянути склад СВР для проведення публічного захисту дисертації у такому складі:

голова ради: доктор фізико-математичних наук, професор А. Ю. Ків;
рецензенти: кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін Університету Ушинського І. І. Дончев, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін Університету Ушинського В. М. Соловійов;
опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету математики, фізики та інформаційних технологій Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова Ю. А. Ніцук, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної радіотехніки, електроніки та наноматеріалів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара О. В. Коваленко.

Відомості про повноту надрукованих наукових результатів автора

Статті в наукових фахових виданнях України

1. **Попряга Д. О.,** Ковальчук В. В. Формування нанокластерної підсистеми плівкового гетеропереходу *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2025. Т. 22, № 3 С. 58-65
URL: <http://semst.onu.edu.ua/article/view/339805/328770>
DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2025.3.339805>
2. **Попряга Д. О.,** Ковальчук В. В. Dipole moments of a nanocluster subsystem. *Journal of physics and electronics*. Vol. 33(1-2), 2025. С.41-49
URL: <https://jphe.dnu.dp.ua/index.php/jphenew/article/view/207>
DOI: <https://doi.org/10.15421/332505>
3. **Попряга Д. О.,** Дячок Д. О., Ковальчук В. В., Корчевський Д. О. Методи формування матричного оточення нанокластерів у випадку біологічних об'єктів. ISSN 3041-2269. *Acta Carpathica*. №2 С.106-114
URL: <https://journals.dspu.in.ua/index.php/actacarthica/article/view/659>
DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.2.11>
4. **Попряга Д. О.,** Дячок Д. О., Ковальчук В. В. Плівковий гетероперехід з нанокластерною підсистемою для фотоелементів нового типу. *Technology and design in electronic equipment*. №3-4 С.9-14
URL: <https://tkea.com.ua/index.php/journal/issue/view/TKEA2025.3-4>
DOI: <https://doi.org/10.15222/TKEA2025.3-4>

Публікації в іноземному науковому періодичному виданні

1. **Popriaha D.** Kovalchuk V. Optical Properties of the Semiconductor

Nanoclusters. *Technium (2025): Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, 28, P.35–42

URL: <https://techniumscience.com/index.php/technium/article/view/12625>

DOI: <https://doi.org/10.47577/technium.v28i.12625>

Публікації апробаційного характеру

1. **Попряга Д. О., Ковальчук В. В.** Нанокластерна підсистема, як складова твердотілого гетеропереходу *Modern Science, Economy and Digital Innovation* The 2nd International scientific and practical conference “ *Modern Science, Economy and Digital Innovation* ” March 12-14, 2025, Bucharest, Romania. 2025. С. 203-205.

2. **Попряга Д. О.** Дослідження властивостей матеріалів і речовини з використанням нанокластерного підходу *Scientific Forum: Theory and practice of research: Proceedings of the IIIV International Scientific and Theoretical Conference* (March 21, 2025) San Francisco, USA. Scientia. 2025. С. 115-119.

ВИСНОВОК

1. Уважати, що дисертація Діани Олександрівни Попряги з теми «Кластерно-модифіковані гетероструктури з нанокластерною підсистемою», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є завершеним самостійним дослідженням з актуальної проблеми, відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Уважати, що дисертаційне дослідження містить **наукову новизну**: встановлено загальні фізичні закономірності утворення низьковимірних систем у вигляді Si-нанокластерів на основі принципів масштабної інваріантності переходу від модельної до реальної у вигляді багаторівневої НКП; визначено фізичні властивості ТТ ГС гетероструктур на основі Si з НКП; розроблено принципи виготовлення ТТ ГС у вигляді гетеропереходу (ГП), який включає операцію нанесення тонкої плівки на поверхню кластеризованої підкладинки кремнію; виявлено спектрально-інверсований ефект у ГП типу pCu_2S -НКП- nSi та аномально високу чутливість фотоелементів на цій основі при надвеликих дозах опромінення фотонами.

При цьому отримано нові результати: розроблено математичну модель об'єкта нанометрового діапазону зі складною просторовою структурою, яка на відміну від відомих добре описує геометрію та морфологію НК кремнію; показано, що визначальне значення має різка екстенсивність властивостей НК; запропоновано модель формування НКП речовини шляхом синергетичного гетерофлуктуаційного об'єднання НК; виявлено ефекти, що можуть бути використані у методах керування властивостями плівкового напівпровідникового ГП; запропоновано метод виготовлення фотоелемента, який включає операцію нанесення на поверхню кремнієвої пластини НКП; виявлено спектрально-інверсований фотоперехідний ефект у плівковому ГП з НКП, що може бути запропонований для проведення діагностики

чутливості фотоелементів при великих дозах освітлення.

Уважати, що дисертаційне дослідження має **практичну значущість**: розроблено метод контролю фізичних властивостей та складу ТТ ГС з НКП; розроблено технологію виготовлення фотопристрою за допомогою операції нанесення на поверхню пластини кластерного растру субколоїдної дисперсності.

2. **Ухвалили**: з урахуванням виправлення висловлених зауважень, рекомендувати дисертаційну роботу Діани Попряги з теми «**Кластерно-модифіковані гетероструктури з нанокластерною підсистемою**» до попереднього розгляду і захисту в спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Затвердити склад СВР для проведення захисту дисертації Діани Попряги у такому складі: **голова ради**: доктор фізико-математичних наук, професор А. Ю. Ків; **рецензенти**: кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін Університету Ушинського І. І. Дончев, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін Університету Ушинського В. М. Соловійов; опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету математики, фізики та інформаційних технологій Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова Ю. А. Ніцук, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та методики її навчання Криворізького державного педагогічного університету Р. М. Балабай.

Результати голосування:

присутні – 14,

«за» – 14,

«проти» – немає.

Висновок прийнято одностайно.

Рецензенти:

Кандидат фізико-математичних наук, доцент

Тетяна СОВКОВА

Доктор фізико-математичних наук професор,
завідувач кафедри технологічної та професійної освіти

Валентин УСОВ

Головуючий на розширеному засіданні кафедри

(Доктор фізико-математичних наук, професор)



Арік КІВ