

ВІДГУК

офіційного опонента

Мінської Наталі Вікторівни

на дисертаційну роботу Хрипунової Ірини Василівни

«Термоелектричні і фоточутливі приладові структури на основі наноструктурованих шарів нелегованого і легovanого індієм оксиду цинку і їх нанокомпозитів»,

яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

Актуальність теми

Актуальність проведення даного дисертаційного дослідження полягає у створенні нових радіаційно-стійких і механічно стабільних фоточутливих функціональних матеріалів і приладових структур гнучкої оптоелектроніки і термоелектрики із використанням недорогих і придатних для масового виробництва гідрохімічних методів виготовлення наноструктурованих шарів оксиду цинку нелегованого (ZnO) і легovanого індієм (ZnO:In) і їх композитів із біополімером наноцелюлозою та наночастинками срібла на поверхні твердих і гнучких плівкових підкладок та тканин.

В дисертації вирішується комплекс завдань фундаментального і прикладного характеру. Розроблено фізико-технологічні основи виготовлення гідрохімічними методами наноструктурованих плівкових шарів легovanого індієм і нелегованого оксиду цинку на твердих і гнучких підкладках та на поверхні тканин та створення їх композитів із наночастинками срібла і біополімером наноцелюлозою. Досліджено кристалічну структуру плівкових шарів ZnO і ZnO:In та нанокомпозитів на їх основі методом рентген-дифрактометричного аналізу. Визначено морфологію поверхні і хімічний склад функціональних шарів приладових структур на основі ZnO і ZnO:In та їх нанокомпозитів методами скануючої електронної мікроскопії в режимах вторинних і зворотно відбитих електронів та рентгенівського флуоресцентного мікроаналізу і енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії. Досліджено оптичні, електричні та термоелектричні властивості ZnO і ZnO:In і їх нанокомпозитів. Визначено стійкість виготовлених гідрохімічними методами

плівкових шарів ZnO і ZnO:In до впливу обробки водневою плазмою тліючого розряду, високих доз опромінення електронним пучком і опромінення жорстким ультрафіолетом. На основі виготовлених гідрохімічними методами плівок ZnO і ZnO:In створено ефективні гнучкі покриття для захисту від сонячного ультрафіолету в наземних умовах. Виготовлено стабільні в експлуатації чутливі до ультрафіолетового опромінення супергідрофобні тканини з покриттям із наноструктурованих шарів ZnO:In. Розроблено приладові структури для гнучких широкополосних фотодетекторів фоторезистивного типу на основі наноструктурованих шарів ZnO, ZnO:In та їх композитів із наночастинками срібла і біополімером наноцелюлозою. Проведено оцінку їх ампер-ватної чутливості, зовнішньої квантової ефективності і специфічної детективності в спектральній області від ультрафіолетового до видимого і ближнього інфрачервоного діапазонів випромінювання. Розроблено приладові структури для малопотужних гнучких термоелектричних елементів і модулів планарного типу на основі наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In, досліджено і оптимізовано їх вихідні параметри.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри мікро- та наноелектроніки Навчально-наукового інституту комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики НТУ «ХП». Основні результати дисертації було отримано під час виконання планової держбюджетної теми «Фізичні основи створення металевих матеріалів та напівпровідникових приладових структур для ядерної, термоядерної та позаатмосферної геліоенергетики» (номер державної реєстрації 0118U002049, строк виконання 01.01.2018 – 31.12.2020) і проєкту конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених», який рекомендовано до реалізації за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України «Розробка експериментального зразка носимого тонкоплівкового термоелектричного генератора з наноструктурованими напівпровідниковими шарами p-CuI і n-ZnO на тканевій і полімерній гнучких основах» (номер державної реєстрації 0120U105127, строк виконання 02.11.20 – 15.12.21). У наведених вище науково-дослідних роботах авторка дисертації брала участь як виконавець.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Положення та висновки, які наведено в дисертаційній роботі Хрипунової І.В., є в достатній мірі обґрунтованими як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на комплексному підході до вивчення визначених об'єктів, а також на використанні новітніх експериментальних і аналітичних методів дослідження із застосуванням сучасної апаратури.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів експериментальних досліджень кристалічної структури і фізичних властивостей створених в роботі нових функціональних матеріалів, а саме наноструктурованих шарів нелегованого і легovanого індієм оксиду цинку і їх нанокмполітів, підтверджується експлуатаційними параметрами розроблених і виготовлених експериментальних зразків термоелектричних і фоточутливих приладових структур.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1 Дослідження впливу обробки плазмою тліючого розряду H_2^+ із великою щільністю потоку $\sim 8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ на виготовлені методом SILAR шари оксиду цинку на підкладках FTO показало незначне травлення переважно по краях пелюсткоподібних наноструктур ZnO без руйнування їх кристалічної структури. Після обробки плазмою тліючого розряду H_2^+ відносний вміст Zn у нанесеній за допомогою SILAR плівці ZnO збільшується через її хімічну взаємодію з іонами водню, наслідком якої є створення кисневих вакансій V_o . Аналіз впливу плазми H_2^+ на оптичні властивості ZnO виявив зниження прозорості та збільшення енергії Урбаха за рахунок виникнення дефектів V_o . В цілому дослідження впливу обробки плазмою тліючого розряду H_2^+ вказують на високу стійкість отриманих методом SILAR шарів оксиду цинку до радіаційного та хімічного впливу плазми H_2^+ .

2 Виявлено стійкість до опромінення електронами, високі дози якого перевищували умови довгострокових космічних застосувань, у нелегованих і легovanаних індієм наноструктурованих плівок оксиду цинку, що були осаджені

методом SILAR на твердих скляних підкладках і на гнучких підкладках із поліетилентерефталату і полііміду. При густині електронного струму до 5.7 А/м^2 , поглиненій дозі до $2.6 \cdot 10^{10} \text{ Гр}$ і густині потоку до $1.5 \cdot 10^{18} \text{ е/м}^2$ відбулося лише незначне травлення плівок ZnO і ZnO:In і невелике погіршення їх кристалічної структури радіаційним впливом, яке частково нівелювалося супутнім відпалом. Разом з тим, високі дози електронного опромінення негативно вплинули на всі види використаних підкладок, призвівши до їх руйнування.

3 Дослідження впливу жорсткого ультрафіолетового світла УФС на виготовлені методом SILAR на скляних підкладках шари ZnO і ZnO:In показало, що їх кристалічна структура не зазнавала деградації. Оптичні дослідження показали, що після вакуумного відпалу при 200°C опромінених УФС зразків плівок ZnO і ZnO:In спостерігалось зменшення енергії Урбаха порівняно з неопроміненими зразками внаслідок зміни точкових дефектів. Дослідження впливу УФС на електричні властивості виготовлених методом SILAR наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In виявило збереження *n*-типу цих напівпровідників при збільшенні на порядок питомого опору і енергії активації електропровідності, що пояснюється змінами в природі точкових дефектів, зокрема скороченням кількості мілких донорів і створенням глибоких точкових дефектів. Виявлено, що ці зміни дефектних станів можуть бути частково знівельованими шляхом вакуумного відпалу зразків при 200°C .

4 Доведено, що виготовлені гідрохімічними методами тонкі наноструктуровані плівки нелегованого та легovanого індієм оксиду цинку на гнучких дешевих поліетилентерефталатних підкладках є придатними для використання у якості гнучкого покриття для захисту від сонячного ультрафіолету в наземних умовах, оскільки відповідають категорії «відмінно» (50+) міжнародного стандарту ISO 2443:2012(E) «Визначення фотозахисту сонцезахисного покриття UVA in vitro». Найкращим виявився матеріал ZnO:In/PET із плівкою ZnO:In товщиною 0.1 мкм на підкладці PET товщиною 20 мкм.

5 Показано, що виготовлені гідрохімічними методами на поверхні поліестерової тканини наноструктуровані плівки ZnO:In після вакуумному відпалу при 200°C мають супергідрофобну поверхню, про що свідчать характерні для стану

змочування Кассі-Бакстера контактний кут 160° і гістерезис змочування 10° . Під впливом ультрафіолетового опромінювання цей супергідрофобний текстиль ZnO:In/Pe зворотно перетворюється на гідрофобний. Навіть після прання в ультразвуковій ванні супергідрофобний текстиль ZnO:In/Pe не втрачає своїх водовідштовхувальних властивостей.

6 Створено ефективні гнучкі фоточутливі приладові структури на основі наноструктурованих плівок легованого індієм оксиду цинку і тонкоплівкового нанокомпозиту з nanoцелюлозною матрицею та наповнювачем ZnO:In на поліімідних підкладках, який є перспективним для використання в новій конструкції біосумісного гнучкого широкосмугового фотодетектора. Показано, що nanoцелюлозна матриця не тільки захищає функціональний напівпровідник ZnO:In від механічних пошкоджень і атмосферного впливу, але також покращує монохроматичну ампер-ватну чутливість R_λ і зовнішню квантову ефективність EQE фотодетектора. В діапазоні від ультрафіолету до видимого і ближнього інфрачервоного опромінення отримано R_λ від 2 до 0,1 А/Вт, EQE до 800 % при робочій напрузі 2 В. Специфічна детективність D^* приладових структур гнучких широкополосних фотодетекторів фоторезистивного типу ZnO:In/PI та NC/ZnO:In/PI на рівні 10^{10} - 10^{12} Джонсів вказує на їх чутливість до слабого освітлення.

7 Створено гнучкі фоточутливі приладові структури для фотодетекторів фоторезистивного типу із підвищеною ефективністю на основі виготовлених гідрохімічними методами на поліімідних підкладках наноструктурованих плівок оксиду цинку ZnO/PI і нанокомпозиту із наночастинками срібла ZnO_Ag/PI. Завдяки локалізованому поверхневому плазмонному резонансу та подвійним бар'єрам Шотткі на межі Ag-ZnO збільшено ультрафіолетову ампер-ватну чутливість R_λ до 275 А/Вт при робочій напрузі 2 В. В спектральній області від УФ до Vis-NIR дуже високими є зовнішня квантова ефективність EQE обох фотодетекторів від $1 \cdot 10^2$ % до $9 \cdot 10^4$ % і специфічна детективність D^* від $3.5 \cdot 10^{10}$ Джонсів до $8.6 \cdot 10^{13}$ Джонсів, що вказує на придатність розроблених у цій роботі приладових структур фотодетекторів зі світлочутливими матеріалами ZnO/PI та ZnO_Ag/PI для розпізнавання дуже слабких світлових сигналів.

8 Визначено етапи технологічного процесу, які забезпечують кращі термоелектричні властивості наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках: очищення поліїмідних підкладок в ультразвуковій ванні, нанесення зародкових шарів ZnO гідрохімічним методом занурення у розчин, осадження плівок ZnO або ZnO:In методом SILAR, відпал у вакуумі при 300°C.

9 Показано, що необхідне для створення ефективних термоелектричних матеріалів зниження електричного опору досягається шляхом утворення компактних наноструктурованих шарів ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках, а також внаслідок вакуумного відпалу при 300°C за рахунок десорбції з поверхні кисню і створення додаткових кисневих вакансій та інших мілких донорних дефектних рівнів в кристалічній структурі ZnO і ZnO:In.

10 Створено гнучкі тонкоплівкові термоелектричні елементи планарного типу на основі смужок із відпалених у вакуумі при 300°C наноструктурованих шарів ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках і досліджено їх вихідні параметри. Виготовлено функціональну приладову структуру гнучкого тонкоплівкового термоелектричного модуля планарного типу, в якому чотири смужкові ТЕ елементи n-типу провідності на основі наноструктурованого шару ZnO на поліїмідній підкладці поєднано електрично за допомогою тонкоплівкових срібних контактів із елементами p-типу провідності у вигляді тонких дротів із металу хромель. Досліджено вихідні термоелектричні параметри приладової структури гнучкого ТЕ модуля і показано переваги використання в ньому тонкоплівкових термопар із ТЕ елементами n-типу ZnO/PI і хромельсими ТЕ елементами p-типу.

11 Завдяки застосуванню оптимізованих гідрохімічних методів виготовлення наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках, а також через збільшення усередненої товщини напівпровідникових плівок ZnO і ZnO:In збільшено до восьми разів коефіцієнти термоелектричної потужності цих матеріалів.

12 Виготовлено тонкоплівкові алюмінієві омичні контакти до гнучких термоелектричних елементів планарного типу на основі наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках, які одночасно із застосуванням оптимізованих гідрохімічних методів виготовлення наноструктурованих плівок ZnO

і ZnO:In забезпечили вихідні термоелектричні параметри TE елементів, які дорівнюють вихідним параметрам сучасних мініатюрних та гнучких термоелектричних приладів.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому що розроблено гідрохімічні методи виготовлення наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In із високою стійкістю до впливу обробки водневою плазмою тліючого розряду, високих доз опромінення електронним пучком і до жорсткого ультрафіолетового опромінення. Визначено етапи технологічного процесу, які забезпечують оптимальні термоелектричні властивості наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In на гнучких підкладках. Досліджено вплив обробок жорстким ультрафіолетовим опроміненням, водневою плазмою тліючого розряду, високими дозами опромінення електронним пучком та відпалами у вакуумі на точкові дефекти і їх комплекси в кристалічній решітці виготовлених гідрохімічними методами наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In. Досліджено умови надання вкритим наноструктурованими плівками ZnO:In тканинам супергідрофобних властивостей за моделлю Кассі-Бакстера і показано вплив ультрафіолетового опромінювання на водовідштовхувальні властивості такого текстилю. Визначено вплив вакансій кисню V_O , які виникають внаслідок вакуумних відпалів в наноструктурах ZnO і ZnO:In, на розширення спектру фоточутливості оксиду цинку від ультрафіолетового до видимого і ближнього інфрачервоного діапазонів. Досліджено вплив локалізованого поверхневого плазмонного резонансу та подвійних бар'єрів Шотткі на межі Ag-ZnO на фоточутливість виготовлених гідрохімічними методами гнучких приладових структур для фотодетекторів фоторезистивного типу відносно світла ультрафіолетового, видимого і ближнього інфрачервоного діапазонів.

Отримані результати мають практичне значення. Так в дисертації створено гнучкі покриття для захисту від сонячного ультрафіолету в наземних умовах на основі виготовлених гідрохімічними методами тонких наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In на гнучких дешевих поліетилентерефталатних підкладках, які відповідають категорії «відмінно» (50+) міжнародного стандарту ISO 2443:2012(E) «Визначення фотозахисту сонцезахисного покриття UVA in vitro». Виготовлено

стабільний в експлуатації супергідрофобний текстиль на основі поліестерової тканини з покриттям із наноструктурованих шарів ZnO:In, який не втрачає своїх водовідштовхувальних властивостей після прання та/або опромінення ультрафіолетом сонячного світла. Створено ефективні гнучкі фоточутливі приладові структури на основі наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках, а також на основі тонкоплівкового нанокompозиту з наноцелюлозною матрицею та наповнювачем ZnO:In, що є перспективним для використання в новій конструкції біосумісного гнучкого широкопалосового фотодетектора, в якому наноцелюлозна матриця не тільки захищає функціональний напівпровідник ZnO:In від механічних пошкоджень і атмосферного впливу, але також підвищує монохроматичну ампер-ватну чутливість, зовнішню квантову ефективність і специфічну детективність гнучкого широкопалосового фотодетектора фоторезистивного типу до рівня кращих сучасних зразків. Створено гнучкі фоточутливі приладові структури для фотодетекторів фоторезистивного типу із підвищеною ефективністю на основі виготовлених гідрохімічними методами на поліїмідних підкладках наноструктурованих плівок оксиду цинку ZnO/Pi і нанокompозиту із наночастинками срібла ZnO_Ag/Pi, в якому завдяки локалізованому поверхневому плазмонному резонансу та подвійним бар'єрам Шотткі на межі Ag-ZnO збільшено до рівня кращих сучасних зразків гнучких широкопалосних фотодетекторів ампер-ватну чутливість, зовнішню квантову ефективність і специфічну детективність. Створено гнучкі тонкоплівкові термоелектричні елементи планарного типу на основі відпалених у вакуумі при 300°C наноструктурованих шарів ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках. Виготовлено функціональну приладову структуру гнучкого тонкоплівкового термоелектричного модуля планарного типу на основі наноструктурованого шару ZnO на поліїмідній підкладці і показано переваги використання в ньому тонкоплівкових термопар із ТЕ елементами n-типу ZnO/Pi і металічними хромелевими ТЕ елементами p-типу. Виготовлено гнучкі термоелектричні елементи планарного типу на основі наноструктурованих плівок ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках із тонкоплівковими омичними контактами, вихідні термоелектричні

параметри яких відповідають сучасним мініатюрним та гнучким термоелектричним приладам, але мають значну перевагу у собівартості.

Практичні результати роботи захищено патентом України на корисну модель № 150983 («Спосіб виготовлення гнучкого текстильного термоелектричного модуля» Опубл. Бюл. № 20 від 18.05.2022). Результати дисертації впроваджено у технологічний процес Товариством з обмеженою відповідальністю «МИНЕНЕРГОКОМ» (м. Харків). Це підтверджено Актом передачі та використання науково-технічних результатів дисертаційного дослідження.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень було представлено та обговорено на шести міжнародних конференціях і опубліковано в 19 роботах, з яких 11 є статтями в наукових фахових виданнях, що входять до міжнародної науково-метричної бази Scopus, 7 робіт є матеріалами міжнародних конференцій. Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Хрипунової І.В. складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, приведена апробація дисертаційної роботи і публікації.

В першому розділі подано огляд сучасної літератури стосовно фоточутливості наноструктурованих матеріалів на основі оксиду цинку відносно ультрафіолетового, видимого і ближнього інфрачервоного випромінення, радіаційної стійкості наноструктурованих матеріалів на основі оксиду цинку до позаземного сонячного опромінення та космічних променів, використання властивостей

наноструктурованих матеріалів на основі оксиду цинку для створення малопотужних термоелектричних приладів. Здійснено постановку завдання.

У другому розділі наведено описання методів виготовлення та дослідження об'єктів. Серед цих методів наступні. Гідрохімічні методи виготовлення наноструктурованих плівкових шарів легованого індієм і нелегованого оксиду цинку та осадження на їх поверхню наночастинок срібла. Методи створення приладових структур на основі виготовлених гідрохімічними методами наноструктурованих плівкових шарів нелегованого і легованого індієм оксиду цинку і нанокомпозитів на їх основі. Методи дослідження кристалічної структури плівкових шарів ZnO і ZnO:In і нанокомпозитів на їх основі. Методи дослідження морфології поверхні і хімічного складу приладових структур на основі виготовлених гідрохімічними методами наноструктурованих плівкових шарів нелегованого і легованого індієм оксиду цинку і нанокомпозитів на їх основі. Методи дослідження оптичних властивостей приладових структур на основі виготовлених гідрохімічними методами плівкових шарів нелегованого і легованого індієм оксиду цинку і нанокомпозитів на їх основі. Методи дослідження радіаційної стійкості виготовлених гідрохімічними методами плівкових шарів ZnO і ZnO:In. Методи визначення змочуваності текстильних поверхонь із виготовленими гідрохімічними методами плівковими шарами ZnO:In. Методи дослідження електричних і термоелектричних властивостей виготовлених шарів та параметрів приладових структур. Методи дослідження фоточутливості гнучких приладових структур із виготовленими гідрохімічними методами шарами ZnO, ZnO:In та нанокомпозитами на їх основі NC/ZnO:In і ZnO_Ag на поліімідних підкладках

В третьому розділі досліджено радіаційну стійкість наноструктурованих шарів ZnO і ZnO:In. Проаналізовано вплив обробки плазмою тліючого розряду H_2^+ на шари оксиду цинку на підкладках FTO, вплив високих доз опромінення електронним пучком на структуру та хімічний склад плівок ZnO і ZnO:In на твердих і гнучких підкладках та вплив жорсткого ультрафіолетового опромінення на структуру і властивості шарів ZnO і ZnO:In

В четвертому розділі досліджено фоточутливі приладові структури на основі виготовлених гідрохімічними методами плівкових шарів ZnO і ZnO:In і їх

нанокомпозитів. Серед них гнучкі покриття для захисту від сонячного ультрафіолету в наземних умовах із виготовленими методом SILAR плівками ZnO і ZnO:In. Чутливі до ультрафіолетового опромінення супергідрофобні тканини з покриттям із виготовлених гідрохімічним методом SILAR наноструктурованих шарів ZnO:In Приладові структури для фотодетекторів фоторезистивного типу на основі наноструктурованого шару ZnO:In та нанокомпозиту NC/ZnO:In на гнучких поліїмідних підкладках. Приладові структури для фотодетекторів фоторезистивного типу на основі наноструктурованого шару ZnO та нанокомпозиту ZnO_Ag на гнучких поліїмідних підкладках.

В п'ятому розділі описано використання термоелектричних властивостей плівкових шарів ZnO і ZnO:In для створення малопотужних тонкоплівкових термоелектричних елементів і модулів. А саме, оптимізація гідрохімічних методів виготовлення наноструктурованих шарів ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках та розробка приладових структур тонкоплівкових термоелектричних елементів і модуля планарного типу на їх основі, а також розробка ефективних приладових структур гнучких тонкоплівкових термоелектричних елементів планарного типу із омічними контактами на основі наноструктурованих шарів ZnO і ZnO:In на поліїмідних підкладках.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 183-х найменувань повний, сучасний і включає переважно зарубіжні публікації світового рівня.

Анотація відображає основний зміст дисертації та повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих

наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

В роботі представлено процес виготовлення наноструктурованих покриттів на основі оксиду цинку на поверхні тканин, але відсутня інформація про створення відповідного термоелектричного текстилю.

В дисертації слабо обґрунтовано рішення про використання програмного забезпечення для реалізації поставлених в роботі задач.

В дисертації наявна певна кількість граматичних, орфографічних і стилістичних помилок, а також похибок.

В літературному огляді майже відсутні роботи українських дослідницьких груп за даною тематикою.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Хрипунової Ірини Василівни «Термоелектричні і фоточутливі приладові структури на основі наноструктурованих шарів нелегованого і легованого індієм оксиду цинку і їх нанокompозитів» за своїм змістом відповідає спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали». Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає у створенні і дослідженні нових ефективних термоелектричних і фоточутливих приладових структур на основі наноструктурованих шарів нелегованого і легованого індієм оксиду цинку і їх нанокompозитів.

Подана дисертаційна робота «Термоелектричні і фоточутливі приладові структури на основі наноструктурованих шарів нелегованого і легованого індієм оксиду цинку і їх нанокompозитів», відповідає спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувачка Хрипунова І.В. заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент

доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології

Національного університету цивільного захисту

д.т.н., доц.

Наталя МІНСЬКА

30.03.2023 р.



Наталя Мінської
ЗАСВІДАЧУЮ

КАНДИДАТ ПСИХОЛОГІЧНИХ НАУК, СТАРШИЙ НАУКОВИЙ СПІВРОБІТНИК
АНДРІЙ ПОБІДАШ