

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне і практичне значення
результатів дисертації Поповича Андрія Володимировича на тему:
«Вплив домішок 3d-елементів на структурні, оптичні та магнітні
властивості об'ємних кристалів і тонких плівок напівпровідників $A^{II}B^{VI}$ »,
що подається на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
галузі знань 10 «Природничі науки»**

Актуальність теми дисертації

Підвищений інтерес до легування сполук $A^{II}B^{VI}$ 3d-металами насамперед пов'язаний із перспективою отримання магніторозчинених напівпровідників із високою температурою магнітного впорядкування, які можуть бути використані в пристроях спітроніки. Для реалізації таких застосувань, залежно від природи напівпровідникового матеріалу, необхідним є введення значної концентрації магнітних іонів, що зумовлює особливу важливість дослідження механізмів їхнього входження у кристалічну ґратку. Сучасні наукові результати свідчать, що магніторозчинені напівпровідники умовно можна розділити на два типи. До першого типу належать тверді розчини заміщення з випадковим розподілом домішкових атомів у ґратці, у яких магнітне впорядкування формується внаслідок обмінної взаємодії між локалізованими магнітними моментами магнітних іонів і зонними носіями заряду, а також завдяки внутріцентровим взаємодіям між домішковими іонами. До другого типу відносять системи, у яких, зокрема, магнітні властивості зумовлені фазовим розшаруванням і виникненням ділянок із підвищеною концентрацією магнітних іонів або формуванням вторинних фаз.

У межах представленого дисертаційного дослідження розглядаються типові представники халькогенідних та оксидних напівпровідникових сполук $A^{II}B^{VI}$ — телурид кадмію (CdTe) та оксид цинку (ZnO), у матрицю яких введено іони 3d-елементів перехідних металів (Mn, Co, Ni, Cr), а також тонкоплівкові структури

на їхній основі. Халькогенідні й оксидні напівпровідникові сполуки $A^{II}B^{VI}$ істотно відрізняються за розчинністю 3d- або 4f-елементів перехідних металів у їхній кристалічній ґратці. Для CdTe характерна низька рівноважна розчинність 3d-елементів, за винятком мангану, тоді як у ZnO можливе утворення твердих розчинів зі значно вищою концентрацією домішки. Попри вагоме фундаментальне й прикладне значення цієї проблематики, кількість досліджень, присвячених розчинності перехідних металів у сполуках $A^{II}B^{VI}$, механізмам їхнього входження у кристалічну ґратку, особливо за умов сильного легування, закономірностям формування вторинних фаз, визначенню їхнього складу та морфології, а також впливу цих фаз на властивості легованого матеріалу, залишається досить обмеженою.

Разом із тим зниження розмірності досліджуваної системи, у даному випадку перехід до двовимірних структур на основі зазначених магніторозчинених напівпровідників, спричиняє зміну характеру обмінних взаємодій. У поєднанні з квантово-розмірним ефектом це приводить не лише до перебудови енергетичного спектра, а й до зміни магнітного впорядкування. Такий підхід відкриває широкі можливості для практичного використання досліджуваних у роботі матеріалів у спінтроніці та нанoeлектроніці. Саме необхідність розв'язання окреслених питань і визначає актуальність цієї дисертаційної роботи.

Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційне дослідження узгоджується з науковою тематикою та планами кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка. Основні результати дисертантом отримані в рамках виконання таких тем:

1. Кафедральна тема “Вирощування та дослідження електричних, магнітних і оптичних властивостей монокристалів A^2B^6 , A^3B^5 , оксишпінельних матеріалів та наногетероструктур на їх основі ” (2021-2025 роки).

2. Архітектоніка активних середовищ елементів світловипромінюючих

систем: властивості, ієрархічна та інтерфейсна самоорганізація, (№ ДР 0120U102217, 2020 - 2022 pp)

3. “Фотополімерні матриці та наноносії при конструюванні біосенсорів для моніторингу стану довкілля та якості питної води” (2021-2023; державний реєстраційний номер 0121U109539).

4. Magnetism in Ukraine Initiative “Magnetism of (Cd,Cr)Te semiconductor crystals with self-assembled Cr-related doping-induced nanoprecipitates” (№#9918, 2023).

Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі

Дисертаційна робота виконана на кафедрі фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка. Після розгляду звіту з результатами перевірки на плагіат рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Поповича А.В. є результатом самостійних досліджень здобувача та не містить елементів плагіату й запозичень. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела. Внесок автора у наукові роботи, виконані у співавторстві, відображено у переліку опублікованих праць за темою дисертаційного дослідження.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Основні положення та висновки дисертації отримано на основі комплексних досліджень структури, фазового складу, оптичних і магнітних властивостей кристалів, плівок і приповерхневих шарів напівпровідників класу $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$, легованих 3d-елементами, із застосуванням широкого комплексу сучасних експериментальних методів і обладнання. Достовірність одержаних результатів підтверджується їх узгодженістю, отриманою за допомогою незалежних методів дослідження, а також високою відтворюваністю експериментальних даних. Для їх обробки, аналізу та інтерпретації використано сучасні фізичні моделі й

теоретичні підходи, що забезпечують адекватний опис досліджуваних явищ і процесів. Якісна та кількісна узгодженість результатів теоретичних розрахунків, зокрема виконаних у межах теорії сильно легованих напівпровідників Бонч-Бруєвича, з експериментальними даними додатково підтверджує обґрунтованість і достовірність результатів дисертаційного дослідження.

Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше:

1. Здійснено сильне легування кристалів CdTe хромом шляхом його введення під час вирощування з парової фази та методом іонної імплантації. Показано, що обидва підходи дозволяють досягати концентрацій домішки, які перевищують її граничну рівноважну розчинність у матриці CdTe, експериментально оцінену на рівні 0,1 ат. %.

2. Встановлено, що перевищення межі розчинності хрому в CdTe призводить до фазового розшарування кристалографічного типу. Показано, що в кристалах CdTe:Cr, вирощених з парової фази, формується система кристалографічно впорядкованих квазідвовимірних преципітатів моноклінного Cr_3Te_4 , тоді як в імплантованих іонами Cr шарах - нанопреципітати цієї сполуки. Визначено їхні орієнтаційні співвідношення з матрицею CdTe та запропоновано механізм їх утворення.

3. Досліджено еволюцію морфології поверхні полірованих зразків CdTe внаслідок бомбардування іонами Cr за флюенсів, що значно перевищують типові для іонної імплантації цієї сполуки. Показано, що таке опромінення призводить до інтенсивної ерозії поверхні та структурного розупорядкування приповерхневого шару, проте не викликає його аморфізації, що підтверджує високу стійкість CdTe до радіаційних пошкоджень.

4. Встановлено, що сильне легування іонами хрому призводить до суттєвих змін механізмів оптичної екстинкції кристалів CdTe внаслідок перебудови

системи точкових дефектів та утворення домішкових фаз. Показано, що розмиття експоненціального краю фундаментального поглинання зумовлене флуктуаціями локального електричного поля заряджених точкових дефектів, спричиненими неоднорідним розподілом домішки, а також розраховано їхню ефективну концентрацію. Визначено, що в середній та далекій ІЧ-областях спектра екстинкція визначається розсіянням світла на вторинних фазах, тоді як у ближній ІЧ-області додатковий внесок дає селективне поглинання, пов'язане з внутрішньоцентровими переходами замісних іонів Cr^{2+} . Розраховано концентрацію цих іонів, що дало змогу встановити механізми входження домішки в кристалічну ґратку CdTe .

5. Встановлено закономірності зміни краю фундаментального поглинання тонких плівок ZnO при легуванні 3d-елементами в широкому діапазоні концентрацій домішки, що зумовлені проявом s,p-d обмінної взаємодії, та отримано емпіричні залежності ширини забороненої зони плівок від рівня легування.

6. Показано, що магнітне впорядкування у легованих під час вирощування кристалів CdTe:Cr та в матеріалі, імплантованому іонами Cr^+ , переважно визначається феромагнітними нанопреципітатами Cr_3Te_4 за наявності внеску матриці $\text{Cd}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Te}$. Встановлено, що вторинні домішкові фази спричинюють просторову магнітну неоднорідність і анізотропію цих матеріалів.

7. Встановлено феромагнітне впорядкування за кімнатної температури для тонких плівок $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$ та $\text{Zn}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$, отриманих методом іонно-плазмового напилення.

Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Використання результатів роботи

Отримані у дисертаційному дослідженні результати поглиблюють розуміння фізичних процесів, пов'язаних із сильним легуванням напівпровідників AB^{VI} 3d-елементами. Вони можуть слугувати теоретичним

підґрунтям для розроблення нових функціональних матеріалів на основі цих сполук.

Зокрема, отримані результати свідчать про можливість використання фазового розшарування, спричиненого легуванням, для створення композитів, що складаються з феромагнітних нанокристалів, вбудованих у напівпровідникову матрицю, які вважаються перспективними для застосування в галузі спінтроніки. Підхід, заснований на керованому преципітуванні домішки перехідного металу у кристалах сполук $A^{II}B^{VI}$, може розглядатися як потенційна альтернатива епітаксійним технологіям формування таких гібридних структур.

Встановлені закономірності зміни оптичних властивостей об'ємних кристалів CdTe і тонких плівок ZnO, зумовлені зсувом краю фундаментального поглинання та внутрішньоцентровими переходами при легуванні 3d-елементами перехідних металів, можуть бути використані під час розроблення оптоелектронних матеріалів, зокрема активних середовищ твердотільних лазерів середнього ІЧ-діапазону, насичуваних поглиначів для пасивної модуляції добротності та світлодіодів із заданою довжиною хвилі випромінювання. Крім того, ці закономірності можуть бути покладені в основу простого, неруйнівного та ефективного методу діагностики напівпровідників $A^{II}B^{VI}$, легованих 3d-елементами перехідних металів, що базується на аналізі спектрів оптичного пропускання.

Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Результати дисертаційного дослідження опубліковані в 30 наукових працях, а саме в 4 статтях (усі видані у фахових журналах, що мають Impact Factor та індексуються у базах Scopus/Web of Science; 1 стаття в журналі з квантилем Q1, 1 стаття в журналі з квантилем Q2, 1 стаття в журналі з квантилем Q3, 1 стаття в журналі з квантилем Q4) та 26 працях, опублікованих в матеріалах всеукраїнських та міжнародних конференцій.

Наукові статті, опубліковані у виданнях, що входять до списку наукових фахових видань України та проіндексованих у наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection

1. I.D. Stolyarchuk, O.V. Kuzyk, Stefaniuk L, O.O. Dankiv, **A.V. Popovych**, A.I. Stolyarchuk. Structural, optical and magnetic studies of the thin films and nanoparticles of ZnCoO prepared by pulsed laser ablation. *Physics and Chemistry of Solid State*, Volume 27, No. 2, P.409-419 (2026) (Scopus, Q4). (Особистий внесок автора: отримання зразків тонких плівок, проведення експериментальних досліджень оптичних властивостей, участь в теоретичному аналізі отриманих результатів)

Наукові статті, опубліковані у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection

1. I. Stolyarchuk, O. Kuzyk, O. Dan'kiv, A. Dziedzic, G. Kleto, A. Stolyarchuk, **A. Popovych**, I. Hadzaman. Growth of $Zn_{1-x}Ni_xO$ thin films and their structural, optical and magneto-optical properties. *Coatings*, Volume 13, No. 3, P. 601 (2023) (Scopus, Web of Science, Q2). (Особистий внесок автора: отримання зразків тонких плівок, проведення експериментальних досліджень оптичних та магнітних властивостей, участь в теоретичному аналізі отриманих результатів та їх обговоренні)

2. **A.V. Popovych**, V.D. Popovych, P. Potera, L.V Orshanskyi, I.D. Stolyarchuk. Infrared extinction in heavily doped CdTe:Cr single crystals at room temperature. *Semiconductor Science and Technology*, Volume 40, No. 8, P. 085001 (2025) (Scopus, Web of Science, Q3). (Особистий внесок автора: вирощування кристалів CdTe:Cr, виготовлення зразків для дослідження, розрахунок спектрів оптичної екстинкції з експериментальних спектрів оптичного пропускання та їх розклад на спектри поглинання і розсіяння, участь в теоретичному аналізі спектрів, в написанні літературного огляду, обговорення отриманих результатів і формулюванні висновків).

3. **A.V. Popovych**, V.D. Popovych, R. Mroczka, P. Dluzewski, M. Golebiewski, P. Sagan, P. Drozd, Y.V. Pavlovskyy, LI. Demkiv, R. Zdyb, M. Kuzma, and I.D. Stolyarchuk. Structural, morphological, and compositional evolution of chemically polished CdTe surfaces under heavy Cr^+ ion implantation. *Applied Surface Science*, Volume 739, P. 166947 (2026) (Scopus, Web of Science, Q1). *(Особистий внесок автора: аналіз зображень скануючої електронної мікроскопії, обчислення параметрів шорсткості з атомно-силових вимірювань, ідентифікація рефлексів X-променевої дифракції, розклад раманівських спектрів та їх аналіз, участь в написанні літературного огляду, обговорення отриманих результатів і формулюванні висновків).*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Столярчук І.Д., Грицьків Т.В., **Попович А.В.**, Прийма Ю.А. Оптичні та магнітооптичні властивості наночастинок $\text{Zn}_{1-x}\text{Me}_x\text{O}$ (Me: Mn, Co), отриманих методом імпульсної лазерної абляції в рідині. Матеріали наукового семінару «Оптика і спектроскопія кристалів» присвяченого 150-річчю кафедри експериментальної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка, 8 грудня 2022 року, Львів, Україна, ст. 49–51.

2. Маркіян Бац, **Андрій Попович**, Ігор Столярчук. Тонкі плівки ZnNiO : одержання та структурні властивості. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій «Актуальні проблеми сучасної науки», 10–11 травня 2023 року, Дрогобич, Україна – ст. 90–91.

3. Stolyarchuk I.D., Popovych V.D., Kuzyk O.V., Dan'kiv **O.O.**, **Popovych A.V.**, Stolyarchuk A.I. Structural, optical and magneto-optical properties of Mn- doped II-VI based diluted magnetic semiconductor nanoparticles. Abstract book of the International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO–2023), August 16–19, 2023, Bukovel, Ukraine – p. 94.

4. Popovych V.D., Dluzewski P., Morawiec K., Zajkowska W., Stolyarchuk I.D., Hadzaman I.V., **Popovych A.V.**, Żywczak A., Kuzma M., Shiojiri M. Magnetism of highly doped CdTe:Cr crystals with self-assembled doping-induced nanoprecipitates. Abstract book of the International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO-2023), August 16–19, 2023, Bukovel, Ukraine – p. 568.

5. Popovych V.D., Dluzewski P., Morawiec K., Zajkowska W., **Popovych A.V.**, Stolyarchuk I.D., Hadzaman I.V., Żywczak A., Kuzma M., Shiojiri M. Doping-induced phase separation in (Cd,Cr)Te magnetic materials. XIX International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, October 09–14, 2023, Ivano-Frankivsk, Ukraine – p. 45.

6. Віталій Ковалів, Олег Бачинський, **Андрій Попович**, Андрій Столярчук. Структурні та оптичні дослідження тонких плівок ZnCoO. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій «Актуальні проблеми сучасної науки», 25–26 квітня 2024 року, Дрогобич, Україна - ст. 188–189.

7. **Андрій Попович**, Олесь Зубрицький, Юрій Павловський, Володимир Попович. Вплив легування хромом на дефектну структуру та механічні властивості монокристалів CdTe, вирощених з газової фази. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій «Актуальні проблеми сучасної науки», 25–26 квітня 2024 року, Дрогобич, Україна – ст. 212–214.

8. Володимир Попович, **Андрій Попович**, Ігор Столярчук, Роман Пецкович. Вплив сильного легування на ІЧ-пропускання монокристалів CdTe. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій «Актуальні проблеми сучасної науки», 25–26 квітня 2024 року, Дрогобич, Україна - ст. 215–217.

9. Popovych V.D., Dluzewski P., Morawiec K., Zajkowska W., **Popovych A.V.**, Stolyarchuk I.D., Żywczak A., Kuzma M., Shiojiri M. Doping-induced extrinsic magnetism in CdTe:Cr crystals. Proceedings of the XI-th International Conference “Topical Problems of Semiconductors Physics”. Drohobych, Ukraine, May 27–31, 2024 – p. 20.

10. **Popovych A.V.**, Rehei M.A., Shakleina I.O., Popovych V.D. Doping-induced second phases in vapour-grown CdTe crystals. Proceedings of the XI-th International Conference “Topical Problems of Semiconductors Physics”. Drohobych, Ukraine, May 27–31, 2024 – p. 23.

11. Stolyarchuk A.I., **Popovych A.V.**, Hadzaman TV., Kuzyk O.V. Optical characteristics of ZnMnO nanoparticles prepared by ball milling technique. Proceedings of the XI-th International Conference “Topical Problems of Semiconductors Physics”. Drohobych, Ukraine, May 27–31, 2024 – p. 69.

12. Sagan P., Popovych V., **Popovych A.**, Dluzewski P., Kopia A., Parlinska M. The effect of the laser wavelength on the ablation of the (Cd,Cr)Te and CrTe material. Book of Abstracts of XI Conference of Nanotechnology. Lublin, Poland, June 30 – July 5, 2024 – p. 104.

13. I.D. Stolyarchuk, V.D. Popovych, **A.V. Popovych**, P. Dluzewski, W. Zajkowska, A. Żywczak, M. Kuzma, M. Shiojiri. Magnetism of highly doped CdTe:Cr crystals with quasi-2D dopant-related precipitates. Program & book of abstracts of Workshop «Magnetism for Ukraine Initiative» of IEEE Magnetics Society, November 14, 2024, Kyiv, Ukraine - p. 39–40.

14. **А.В. Попович**, В.Д. Попович, Р. Potera, І.Д. Столярчук. Інфрачервоне гасіння у сильнолегованих монокристалах CdTe:Cr за кімнатної температури. Збірник тез конференції молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкарівські читання – 2025» з міжнародною участю, 3–4 квітня 2025 року, Київ, Україна. – ст. 43–44.

15. V.D. Popovych, **A.V. Popovych**, R. Bottger, R. Heller, R. Mroczka, P. Dluzewski, A. Żywczak, P. Sagan, M. Kuzma. Structure, phase composition and

magnetism of CdTe crystals implanted with high fluence of Cr^+ ions. II Międzynarodowa Konferencja «Bezpieczeństwo Energetyczno–Ekologiczne Surowców Rozproszonych» (Książka Abstraktów), 25 kwietnia 2025 r., Stalowa Wola, Polska – str. 59–60.

16. **Андрій Попович**, Володимир Попович, Ігор Зінько, Marian Kuzma. Вплив легування галогенами на оптичні спектри пропускання монокристалів CdTe. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій «Актуальні проблеми сучасної науки», 6–7 травня 2025 року, Дрогобич, Україна – ст. 134–137.

17. I. Stolyarchuk, **O. Kuzyk**, **O. Dan'kiv**, A. Stolyarchuk, **A. Popovych**, O. Bachynskyi. Structural, optical and magneto-optical properties of ZnMeO (Me – Mn, Co, Ni) thin films. Тези доповідей X Української наукової конференції з фізики напівпровідників УНКФН–10, 26–30 травня 2025 року, Ужгород, Україна - ст. 153-154.

18. I. Stolyarchuk, **O. Kuzyk**, **O. Dan'kiv**, A. Stolyarchuk, **A. Popovych**, O. Bachynskyi. Synthesis of ZnNiON oxynitride nanostructured thin films and their optical properties. Тези доповідей X Української наукової конференції з фізики напівпровідників УНКФН–10, 26–30 травня 2025 року, Ужгород, Україна – ст. 163.

19. В.Д. Попович, **А.В. Попович**, І.Д. Столярчук, R. Bottger, R. Heller, P. Dluzewski, W. Zajkowska, A. Żywczak, M. Kuzma. Структура, фазовий склад та магнетизм монокристалів CdTe, імплантованих високими дозами іонів Cr^+ . Тези доповідей X Української наукової конференції з фізики напівпровідників УНКФН-10, 26–30 травня 2025 року, Ужгород, Україна – ст. 357-358.

20. **А.В. Попович**, В.Д. Попович, R. Mroczka, P. Sagan, І.Д. Столярчук, В.Р. Карпій, М. Kuzma. Дослідження поверхні монокристалічного CdTe, імплантованих іонами хрому. Тези доповідей X Української наукової конференції з фізики напівпровідників УНКФН-10, 26–30 травня 2025 року, Ужгород, Україна

- ст. 388–389.

21. Stolyarchuk, I.D., Kuzyk O.V., Stefanuik I., Dan'kiv O.O., **Popovych A.V.**, Zdyb R., Bachynsky O.I., Stolyarchuk A.I. Structural, optical and magnetic studies of ZnCoO thin films and nanoparticles. XX International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, October 6–10, 2025, Ivano-Frankivsk, Ukraine–p. 114.

22. Stolyarchuk, O. Kuzyk, A. Stolyarchuk, V. Popovych, O. Dan'kiv, A. **Popovych, O.** Bachynskyi. Magneto-optical studies of low-dimensional structures of CdMnTe prepared by pulsed laser deposition. Materials of international scientific and technical conference «Laser Technologies. Lasers and Their Application» (LTLA-2025), June 26-27, 2025, Truskavets, Ukraine – p. 29.

23. Popovych, V.D., **Popovych, A.V.**, Potera, P., Karpil, V.R., Stolyarchuk, I.D. Structure, phase composition, morphology, and magnetism of heavily Cr⁺-implanted CdTe layers for spintronic applications. XX International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, October 6-10, 2025, Ivano-Frankivsk, Ukraine - p. 116.

24. **Popovych, A.V.**, Popovych, V.D., Potera, P., Karpil, V.R., Stoliarchuk, I.D. Infrared extinction and photoluminescence of highly doped CdTe:Cr single crystals. XX International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, October 6–10, 2025, Ivano-Frankivsk, Ukraine – p. 196.

25. **Popovych A.V.**, Popovych V.D., Dluzewski P., Żywczak A., Lytvyn P.M., Stolyarchuk I.D., Kuzma M., Shiojiri M. Microstructure, phase composition, and magnetism of highly Cr⁺-implanted CdTe crystals. Materials of XII International Conference “Topical Problems of Semiconductor Physics”, May 25- 28, 2026, Drohobych, Ukraine – p. 14.

26. **Popovych A.V.**, Popovych V.D., Stolyarchuk I.D. Heavy Cr doping and phase separation in CdTe single crystals. Materials of XII International Conference “Topical Problems of Semiconductor Physics”, May 25–28, 2026, Drohobych, Ukraine - p. 21–22.

Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висуваються до праць такого рівня. Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Прикладна фізика та наноматеріали» галузі знань 10 «Природничі науки», спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Здобувач повністю виконав нормативні вимоги щодо оформлення дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Поповича Андрія Володимировича «Вплив домішок $3d$ -елементів на структурні, оптичні та магнітні властивості об'ємних кристалів і тонких плівок напівпровідників $A^{II}B^{VI}$ », подана на здобуття доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» за її актуальністю, науково-теоретичним рівнем, новизною постановки та розв'язання проблеми, практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 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 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ №507 від 03.05.2024 р.). Дисертаційне дослідження містить обґрунтовані і достовірні висновки та результати.

За результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення на фаховому науковому семінарі кафедри фізики та інформаційних систем факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій

Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка дисертацію Поповича А.В. рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Голова засідання,

доктор фізико-математичних наук,
професор, професор кафедри фізики
та інформаційних систем
Дрогобицького державного
педагогічного університету імені
Івана Франка



Ігор ВІРТ

