

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича
Руслан БЛОСКУРСЬКИЙ



« 20 » березня 2025 р.

ВИСНОВОК

**про наукову новизну,
теоретичне та практичне значення результатів дисертації
доцента кафедри хімії та експертизи харчової продукції
Копача Олега Вадимовича
на тему «Фізико-хімічні закономірності структурно-фазових перетворень в
багатокомпонентних телуридах та перовскітах»,
що подається на здобуття наукового ступеня доктора наук
за спеціальністю 02.00.21 - хімія твердого тіла.**

За результатами обговорення на фаховому семінарі кафедри хімії та експертизи харчової продукції навчально-наукового інституту біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича від 20 березня 2025 року (протокол № 12).

1. Обґрунтування та актуальність теми дослідження. Розробка нових методів синтезу та вирощування напівпровідникових сполук і створення на їх основі функціональних матеріалів є критично важливим етапом розвитку матеріалознавства та хімії твердого тіла.

Дослідження телурвмісних багатокомпонентних систем із перехідними металами активно проводиться багатьма вченими, проте на сьогодні ще не запропоновано чітких методів вирощування монокристалів хорошої структурної якості із необхідними параметрами. У літературних джерелах дослідниками все більше висвітлюються уявлення про неізотермічність процесів топлення як елементарних надпровідників, так і напівпровідникових сполук. Такі сполуки є базовими для створення твердих розчинів на їх основі. Неізотермічність процесів топлення може впливати і на закономірності топлення (кристалізації) твердих розчинів. У більшості випадків вирощування монокристалів вказаних твердих розчинів проводиться із рідкої фази (розтопу). Термодинамічні та кінетичні параметри отримання такого розтопу відіграють одну з вирішальних ролей у вирощуванні структурно досконалих кристалів. Важливою складовою

для виробництва функціональних матеріалів є інформація щодо впливу різноманітних дефектів кристалічної структури на їх властивості, а також технологічні дані щодо післяростової обробки кристалів з метою покращення їх властивостей.

Для неорганічних галогенвмісних перовскітних матеріалів, які мають широкі перспективи практичного застосування, дуже мало інформації про закономірності фазових переходів в їх стопах. Технологічні основи вирощування таких монокристалів лише формуються. Недостатність інформації з літературних джерел стримує одержання галогенвмісних перовскітних матеріалів шляхом напрямленої кристалізації розтопу, тому увага дослідників зосереджена на отриманні таких матеріалів «мокрим» шляхом, який суттєво обмежує перспективу їх використання.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі хімії та експертизи харчової продукції навчально-наукового інституту біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича у межах кафедральних тем «Синтез та властивості бінарних широкозонних напівпровідників (від монокристалів до наночастинок)» (номер держреєстрації 0104U005003; 2004-2008 рр.), «Пошук нових бінарних та потрійних сполук на основі CdTe з покращеними характеристиками» (номер державної реєстрації 0115U002227; 2015-2019 рр.), проекту УНТЦ Р406 «Удосконалення якості монокристалів (Cd,Zn)Te для цілей детектування гамма-випромінювання при кімнатній температурі» (2013-2015 рр.), у межах НДР «Фізико-хімічні закономірності формування макро- та мікро дефектів в системах на основі CdTe» (№ держреєстрації 0110U000197; 2010-2012 рр.), «Фазові рівноваги в твердих розчинах багатокomпонентних систем на основі CdTe» (№ держреєстрації 0113U003243; 2013-2015 рр.), «Розробка наукових основ отримання детекторів іонізуючого випромінювання та сонячних елементів на основі CdTe, легованого ізовалентними домішками 3d-металів (Mn, Zn)» (№ держреєстрації 0115U003242, 2015-2017 рр.), «Одержання та властивості складних галогенідів для детекторів іонізуючого випромінювання» (№ держреєстрації 0115U003244; 2015-2016 рр.), «Синтез монокристалів Cd(Zn)Te, дослідження ВАХ синтезованих зразків до та після опромінення швидкими електронами чи гамма-квантами» (№ держреєстрації 0117U003866; 2017 р.), «Створення нових матеріалів для детекторів іонізуючого випромінювання та оптоелектроніки на основі твердих розчинів системи Cd–Mn–Te» (№ держреєстрації 0118U000143; 2018-2020 рр.) та «Радіаційно стійкі матеріали для детектування йонізуючого та ГЧ випромінювання» (№ держреєстрації 0121U112421; 2021-2022 рр.).

Робота виконувалась також за підтримки грантів від Simons Foundation (№ 1030286 та 1290597). Частина роботи виконувалась в Брукгейвенській

національній лабораторії (м. Аптон, США) та Карловому університеті (м. Прага, Чеська республіка).

3. Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше встановлено параметри рівноваги між твердою фазою та розтопом в процесі топлення та кристалізації стопів Mn- та Zn-вмісних твердих розчинів CdTe, а також параметри післяростової термообробки їх кристалів, що дозволило сформулювати наукові основи вирощування та модифікування властивостей кристалічних матеріалів для створення детекторів іонізуючого випромінювання вищої якості та кращою роздільною здатністю.

Вперше з'ясовано положення ліній ліквідусу та солідусу для збагачених CdTe стопів системи CdTe–MnTe–ZnTe. Встановлено зменшення переохолодження під час кристалізації розтопів вказаної системи зі збільшенням частки як MnTe, так і ZnTe. Для систем CdTe–MnTe та CdTe–MnTe–ZnTe в передсолідусній області встановлено наявність зони передтоплення, яка має тенденцію до розширення зі зменшенням частки CdTe в стопах.

Вперше вирощено серію збагачених CdTe кристалів системи CdTe–MnTe–ZnTe та досліджено їх структурні, оптичні та електричні властивості. Встановлено, що в процесі вирощування монокристалів цієї системи оптимальними є помірний перегрів (до 25 °C) та градієнт температур 5-9 °C/см на фронті кристалізації. Встановлено, що в області великих концентрацій Cd в системі CdTe–MnTe–ZnTe для структурних та фізико-хімічних властивостей кристалів (стала ґратки, ширина забороненої зони) виконується правило Вегарда.

Встановлено, що збільшення частки Se зумовлює зменшення переохолодження під час кристалізації твердих розчинів $Cd_{0,96}Mn_{0,04}Te_{1-y}Se_y$ ($y = 0,02; 0,04$). Підтверджено негативний вплив значного переохолодження на структуру та механічну стійкість монокристалів твердих розчинів $Cd_{0,96}Mn_{0,04}Te_{1-y}Se_y$ ($y = 0,02; 0,04$).

Визначено оптимальні режими термообробки кристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ за тиску пари компонентів з метою покращення їх як структурних, так і електрофізичних властивостей. Підтверджено позитивний вплив одноетапних термічних відпалів як під тиском пари Кадмію, так і Телуру на структурні характеристики кристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$. Встановлено, що відповідними параметрами термічних відпалів кристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ можна контролювати розміри та розподіл вкраплень Te, а відпалом у градієнті температур стимулювати їх міграцію. Підтверджено, що найбільш критичними дефектами для виробництва детекторів в сучасному комерційному матеріалі $Cd_{1-x}Zn_xTe$ є вкраплення Te та межі субзерен.

Вперше проведено систематичні дослідження процесів топлення та кристалізації плюмбум цезій галогенідних перовскітів. Встановлено температурні області існування у двофазному стані тверда фаза – розтоп

перовскітів типу $\text{CsPbHal}^{\text{I}}_3$ та $\text{CsPbHal}^{\text{I}}\text{Hal}^{\text{II}}_2$ ($\text{Hal}^{\text{I}}, \text{Hal}^{\text{II}} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$). Показано, що для сполук CsPbCl_3 та CsPbBr_3 ця область не перевищує 10°C , заміщення ж атомів галогену в цих сполуках на атом іншого галогену призводить до розширення цієї області та зниження діапазону її температур.

Вперше встановлено пряmlinійну кореляцію між логарифмами передекспоненціального фактора та енергією активації для процесів дифузії домішок у CdTe , а також подібну залежність для в'язкості, електропровідності, швидкостей топлення твердої фази та кристалізації розтопів, тощо, у стопах систем на основі CdTe , що є проявом ентальпійно-ентропійного компенсаційного ефекту. Аналогічну пряmlinійну кореляцію між енергією активації процесів топлення твердої фази та кристалізації розтопів і передекспоненціального фактора встановлено для п'юмбум цезій галогенвмісних перовскітів. Кутовий коефіцієнт встановлених залежностей для перовскітів у 1,7 рази більший, ніж у випадку стопів твердих розчинів на основі CdTe , що вказує на більші зміни ентропії системи в перовскітах зі збільшення енергії активації процесу дисоціації та руйнування твердої фази.

4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

Запропонована у роботі методика застосування методу диференціального термічного аналізу в режимі термоциклювання для встановлення температур ліквідусу та солідусу дозволяє отримати значення відповідних температур у рівноважних умовах та мінімізувати вплив кінетичних обмежень процесів.

Встановлені у роботі положення ліній ліквідусу та солідусу, області передтоплення стопів та переохолодження їх розтопів у системах CdTe-MnTe та CdTe-MnTe-ZnTe дозволяють більш оптимально підбирати умови для вирощування структурно досконаліших монокристалів вказаних систем.

Встановлені параметри післяростової термообробки кристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ як в однорідному температурному полі, так і в градієнті температур за контрольованого тиску пари Cd та Te_2 дозволяють покращити структурні властивості відповідного детекторного матеріалу, а також керувати їх електричними властивостями.

Отримані бар'єрні структури типу Шоттки ($\text{Ni/Cd(Mn)Te(Se)/In}$) на нелегованих та легуваних кристалах $\text{Cd}_{0,96}\text{Mn}_{0,04}\text{Te}_{0,96}\text{Se}_{0,04}$ характеризуються коефіцієнтом випрямлення 10^6 - 10^8 за напруги 1 В, що в поєднанні з малим темновим струмом та великою товщиною збідненої області, робить перспективним використання таких діодів як детекторів іонізуючого випромінювання.

Визначені параметри топлення та кристалізації п'юмбум цезій галогенвмісних перовскітів, а саме температурні інтервали перебування стопів у двофазному стані (тверда фаза – розтоп), залежності переохолодження під час кристалізації розтопів від перегріву стопу, залежності швидкості топлення твердої фази та кристалізації розтопу від температури витримки тощо, можуть

служувати довідниковим матеріалом для розробки технології вирощування таких перовскітів із розтопу.

Кореляційний аналіз між логарифмами передекспоненціального фактора та енергією активації досліджуваних процесів, а саме прямолінійний характер залежностей між вказаними параметрами, дозволяє виявити експериментальні помилки чи неточності за наявності узагальнених результатів досліджень властивостей серії складів стопів однієї або декількох споріднених систем.

5. Особистий внесок здобувача є визначальним на всіх етапах дослідження і полягає у формуванні наукового напрямку, в обґрунтуванні ідей, виборі об'єктів дослідження, плануванні та проведенні експериментів, конструюванні та автоматизації частини експериментального обладнання, а також аналізі та узагальненні результатів, одержаних як особисто, так і у співпраці з іншими дослідниками. Написання наукових статей, підготовка доповідей і тез виконані здобувачем особисто або при його безпосередній участі.

Дисертація (наукова доповідь) є самостійною науковою працею, в якій висвітлені ідеї та методики автора, що дозволило вирішити поставлені у роботі завдання. Робота містить теоретичні та методичні положення і висновки, сформульовані дисертантом особисто. Використані в дисертації (науковій доповіді) ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і застосовані лише для підкріплення ідей здобувача.

6. Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень було представлено на наступних конференціях: IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room Temperature Semiconductor Detector Conference (Ноксвіль, США – 2010 р., Валенсія, Іспанія – 2011 р., Анахайм, США – 2012 р., Мілан, Італія - 2022 р., Ванкувер, Канада – 2023 р., Тампа, США – 2024 р.); SPIE Optics + Photonics. Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics Conference (Сан-Дієго, США – 2009-2013, 2015, 2017-2019, 2021, 2023, 2024 pp.); International Conference EMRS Fall Meeting (Варшава, Польща – 2010, 2013 pp.); School and Conference on Analysis of Diffraction Data in Real Space ADD2022 (Гренобль, Франція - 2022 р.); 10th International Conference of the Hellenic Crystallographic Association (Афіни, Греція – 2021 р.); XXI International Conference on Inorganic Chemistry Ukraine 2024 (Ужгород – 2024 р.); International conference «Crystal Materials» ICCM (Харків – 2005, 2010 р.); XV International Conference On Physics And Technology Of Thin Films And Nanosystems (Івано-Франківськ – 2015 р.); Конференція молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкарьовські читання» (Київ – 2013, 2016, 2017 pp.), Науково-технічна конференція «Фізика, електроніка, електротехніка» ФЕЕ-2016 (Суми – 2016 р.).

7. Публікації. За темою дисертації опубліковано 33 статті у фахових виданнях України та англomовних Scopus-індексованих виданнях, 17 тез доповідей на міжнародних і українських симпозиумах та конференціях, 2 патенти на корисну модель. Серед статей відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports, 8 статей відноситься до першого квартиля (Q1) та зараховуються як $8 \cdot 3 = 24$ публікації, 6 статей до другого квартиля (Q2) та зараховуються як $6 \cdot 3 = 18$ публікацій, 2 статті відносяться до третього квартиля (Q3) та зараховується як $2 \cdot 2 = 4$ публікації, 8 - до четвертого квартиля (Q4), 2 статті у фахових виданнях України. Додатково наукові результати дисертаційної роботи відображені в 7 статтях в англomовних Scopus-індексованих виданнях.

Список опублікованих праць за темою дисертації (наукова доповідь)

Статті в іноземних Scopus-індексованих виданнях:

1. Shcherbak, L.; Feychuk, P.; Plevachuk, Yu.; Dong, Ch.; **Корач, О.**; Panchuk, O.; Siffert, P. Structure rearrangement of the $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($0 < x < 0.1$) melts. *J. Alloys Compd.* **2004**, 371, 186-190. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
2. Shcherbak, L. P.; **Корач, О. В.**; Fochuk, P. M.; Kanak, A. I.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Melting and cooling processes in CdTe-ZnTe near the CdTe-rich side. *Proc. SPIE* **2011**, 8142, 81421L1-L7. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, виконання експерименту, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
3. **Корач, О.**; Корач, V.; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Melting and crystallization peculiarities of $\text{Cd}_{0.50}\text{Mn}_{0.50}\text{Te}$ solid solutions. *Proc. SPIE* **2023**, 12696, 126960J1-J7. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, проведення експериментальних досліджень, аналіз експериментальних даних, написання статті).
4. Корач, V.; **Корач, О.**; Fochuk, P.; Shcherbak, L.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Kinetic parameters of $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Zn}_y\text{Te}$ alloys melting and crystallization processes. *Phys. Stat. Sol. C* **2014**, 11 (9), 1533-1537. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, участь в експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
5. Корач, V.; **Корач, О.**; Shcherbak, L.; Fochuk, P.; Filonenko, S.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Vertical Bridgman growth and characterization of $\text{Cd}_{0.95-x}\text{Mn}_x\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$ ($x=0.20, 0.30$) single-crystal ingots. *Proc. SPIE* **2017**, 10392, 1039214-1-8. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, участь в експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).

6. Kopach, V.; **Kopach, O.**; Kanak, A.; Shcherbak, L.; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Properties of $\text{Cd}_{0.90-x}\text{Mn}_x\text{Zn}_{0.10}\text{Te}$ ($x = 0.10, 0.20$) crystals grown by Vertical Bridgman method. *Proc. SPIE* **2018**, 10762, 1076212-1-8. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, участь в експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
7. **Kopach, O.**; Kopach, V.; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Phase Transformations in $\text{Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.98}\text{Se}_{0.02}$ Solid Solutions. *J. Phase Equilib. Diffus.* **2024**, 45, 612–620. (Q2) (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, проведення експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, написання статті).
8. Skliarchuk, V.; **Kopach, O.**; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Electro-physical properties of $\text{Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}$ surface-barrier diodes. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2024**, 71 (9), 2189–2193. (Q2) (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, участь у проведенні експериментальних досліджень та аналізі експериментальних даних, участь у написанні статті).
9. Kanak, A.; **Kopach, O.**; Kanak, L.; Levchuk, Ie.; Isaiev, M.; Brabec, C. J.; Fochuk, P.; Khalavka, Yu. Melting and Crystallization Features of CsPbBr_3 Perovskite. *Crystal Growth & Design.* **2022**, 22 (7), 4115-4121. (Q2) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
10. **Kopach, O.**; Kopach, V.; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Peculiarities of CsPbBr_3 perovskite melting in quasi-equilibrium conditions. *Proc. SPIE* **2024**, 13151, 131510N-1-6. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, проведення експериментальних дослідженнях, участь у аналізі експериментальних даних та написанні статті).
11. Fochuk, P.; Nykonyuk, Ye.; Verzhak, Ye.; **Kopach, O.**; Panchuk, O.; Bolotnikov A.; James. R. B. Dopant Content and Thermal Treatment of $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}\langle\text{In}\rangle$: Effects on Point-Defect Structures. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2009**, 56 (4), 1784-1790. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, участь у написанні статті).
12. Yang, G.; Bolotnikov, A. E.; Fochuk, P. M.; Camarda, G. S.; Cui, Y.; Hossain, A.; Kim, K.; Horace, J.; McCall, B.; Gul, R.; Xu, L.; **Kopach, O. V.**; James, R. B. Study on thermal annealing of cadmium zinc telluride (CZT) crystals. *Proc. SPIE* **2010**, 7805, 780507-1-8. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
13. Yang, G.; Bolotnikov, A. E.; Fochuk, P. M.; Cui, Y.; Camarda, G. S.; Hossain, A.; Kim, K. H.; Horace, J.; McCall, B.; Gul, R.; **Kopach, O. V.**; Egariyevwe, S. U.; James, R. B. Effects of Thermal Annealing on the Structural Properties of CdZnTe Crystals. *Proc. SPIE* **2011**, 8142, 814217-1-6. (Особистий внесок здобувача:

- участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
14. Yang, G.; Bolotnikov, A. E.; Fochuk, P. M.; Cui, Y.; Camarda, G. S.; Hossain, A.; Kim, K. H.; Horace, J.; McCall, B.; Gul, R.; **Kopach, O. V.**; Egarievwe, S. U.; James, R. B. Post-growth Annealing of Cadmium Zinc Telluride Crystals for Room-Temperature Radiation Detectors. *J. Electron. Mater.* **2012**, *41* (10), 2912-2916. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
 15. Fochuk, P.; Grill, R.; **Kopach, O.**; Bolotnikov, A. E.; Belas, E.; Bugar, M.; Camarda, G.; Chan, W.; Cui, Y.; Hossain, A.; Kim, K. H.; Nakonechnyi, I.; Panchuk, O.; Yang, G.; James, R. B. Elimination of Te Inclusions in Crystals by Short-term Thermal Annealing. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2012**, *59* (2), 256-263. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
 16. Kim, K. H.; Suh, J.; Bolotnikov, A. E.; Fochuk, P. M.; **Kopach, O. V.**; Camarda, G. S.; Cui, Y.; Hossain, A.; Yang, G.; Hong, J.; James, R. B. Temperature-gradient annealing of CdZnTe under Te overpressure. *J. Cryst. Growth* **2012**, *354*, P.62-66. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
 17. Yang, G.; Bolotnikov, A. E.; Fochuk, P. M.; **Kopach, O.**; Franc, J.; Belas, E.; Kim, K. H.; Camarda, G. S.; Hossain, A.; Cui, Y.; Adams, A. L.; Radja, A.; Pinder, R.; James, R. B. Post-growth thermal annealing study of CdZnTe for developing room-temperature X-ray and gamma-ray detectors. *J. Cryst. Growth*. **2013**, *379*, 16-20. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
 18. Fochuk, P.; Nakonechnyi, I.; Panchuk, O.; **Kopach, O.**; Nykonyuk, Y.; Grill, R.; Belas, E.; Kim, K. H.; Bolotnikov, A. E.; Yang, G.; James, R. B. Changes in the Electrical Parameters of CdTe-based Crystals During Isothermal Annealing. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2015**, *62* (3), 1239-1243. (Q2) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
 19. Fochuk, P.; Nykoniuk, Y.; Zakharuk, Z.; **Kopach, O.**; Kovalenko, N.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Microinhomogeneities in Semi-Insulating Cd(Zn)Te. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2017**, *64* (10), 2725-2728. (Q2) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).

20. Zakharuk, Z.; Dremlyuzhenko, S.; Solodin, S.; Nykonyuk, E.; Rudyk, B.; **Корач, О.**; Opanasyuk, A.; Fochuk, P. Purification of the Cd(Mn)Te crystals for X-ray detector by special annealing. *J. Nano-Electron. Physics* **2017**, 9 (6), 06004-1 -5. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
21. Bolotnikov, A. E.; Babalola, S.; Camarda, G. S.; Cui, Y.; Gul, R.; Egariyev, S. U.; Fochuk, P. M.; Fuerstnau, M.; Hossain, A.; Jones, F.; Kim, K. H.; **Корач, О. В.**; Marchini, L.; Raghathamachar, B.; Taggart, R.; Yang, G.; Xu, L.; James, R. B. Correlations between crystal defects and performance of CdZnTe detectors. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2011**, 58 (4), 1972-1980. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
22. Shcherbak, L.; **Корач, О.**; Fochuk, P. Solid-liquid Cd(Zn)Te phase transition correlative analysis. *J. Cryst. Growth* **2011**, 320, 6-8. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
23. Shcherbak, L.; **Корач, О.**; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Empirical Correlations Between the Arrhenius' Parameters of Impurities' Diffusion Coefficients in CdTe Crystals. *J. Phase Equilib. Diffus.* **2015**, 36 (2), 99-109. (Q2) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та аналізу літературних даних, участь у написанні статті).
24. Корач, В.; **Корач, О.**; Shcherbak, L.; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Thermodynamics and crystal growth of Cd_{1-x-y}Mn_xZn_yTe (x=0.10, 0.20, y=0.15). *Proc. SPIE* **2021**, 11838, 1183819-1-7. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).

Статті в українських фахових виданнях:

25. Shcherbak, L.; Feychuk, P.; **Корач, О.** Thermogravimetric monitoring of structure transformations in Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0: 0.04; 0.1) melts. *Func. Mater.* **2005**, 12 (4), 793-796. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
26. Канак, А. І.; Канак, Л. М.; Солодін, С. В.; **Корач, О. В.** Дослідження процесів топлення та кристалізації CsPbBr₃ методом диференційно-термічного аналізу. *Наук. вісник ЧНУ. Хімія.* **2019**, 818, 29-34. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).

Статті в іноземних Scopus-індексованих виданнях, в яких додатково відображені наукові результати дисертаційної роботи

27. Shcherbak, L. P.; **Корач, О. В.**; Fochuk, P. M.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Thermographic analysis of the growth of $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ single crystals. *Proc. SPIE* **2010**, 7805, 78051B1-B7. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
28. Skliarchuk, V.; **Корач, О.**; Fochuk, P.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Electro-physical properties of surface-barrier diodes on low-resistance $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ crystals. *Proc. SPIE* **2024**, 13151, 131510M-1-7. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, участь у проведенні експериментальних досліджень та аналізі експериментальних даних, участь у написанні статті).
29. Fochuk, P.; Grill, R.; Nakonechnyi, I.; **Корач, О.**; Panchuk, O.; Verzhak, Ye.; Belas, E.; Bolotnikov, A. E.; Yang, G.; James, R. B. Effect of $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$: In crystals annealing on their high-temperature electrical properties. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2011**, 58 (5), 2346-2351. (Q1) (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, участь у написанні статті).
30. Davydov, L.; Fochuk, P.; Zakharchenko, A.; Kutny, V.; Rybka, A.; Kovalenko, N.; Sulima, S.; Terzin, I.; Gerasimenko, A.; Kosmyna, M.; Sklyarchuk, V.; **Корач, О.**; Panchuk, O.; Pudov, A.; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. Improving and Characterizing (Cd,Zn)Te Crystals for Detecting Gamma-Ray Radiation. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **2015**, 62 (4), 1779-1784. (Q2) (Особистий внесок здобувача: участь у експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
31. Bolotnikov, A. E., Butcher, J.; Camarda, G. S.; Cui, Y.; Egarievwe, S. U.; Fochuk, P. M.; Gul, R.; Hamade, M.; Hossain, A.; Kim, K.; **Корач, О. В.**; Petryk, M.; Raghothamachar, B.; Yang, G.; James, R. B. Effects of the networks of subgrain boundaries on spectral responses of thick CdZnTe detectors. *Proc SPIE* **2011**, 8142, 814206-1-6. (Особистий внесок здобувача: участь у експериментальних дослідженнях, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).
32. Fochuk, P.; Nakonechnyi, I.; **Корач, О.**; Verzhak, Ye.; Panchuk, O.; Komar, V.; Terzin, I.; Kutnij, V.; Rybka, A.; Nykoniuk, Ye.; Bolotnikov, A. E.; Camarda, G. C.; Cui, Y.; Hossain, A.; Kim, K. H.; Yang, G.; James, R. B. High-temperature treatment of In-doped CZT crystals grown by the high-pressure Bridgman method. *Proc. SPIE* **2012**, 8507, 85071L-1-9. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі та експериментальних дослідженнях, участь у написанні статті).
33. Skliarchuk, V.; Fochuk, P.; **Корач, О.**; Bolotnikov, A. E.; James, R. B. CsPbBr₃ perovskite single crystals for X- and γ -radiation detectors. *Proc. SPIE* **2023**,

12696, 126960К-1-7. (Особистий внесок здобувача: участь у постановці задачі, аналіз експериментальних даних, участь у написанні статті).

8. Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація (наукова доповідь) викладена фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

9. Відповідність принципам академічної доброчесності. Дисертаційна робота (наукова доповідь) на тему «Фізико-хімічні закономірності структурно-фазових перетворень в багатокомпонентних телуридах та перовскітах» відповідає принципам академічної доброчесності. Використані в докторській дисертації (науковій доповіді) та наукових публікаціях ідеї, розробки, наукові тексти, наукові результати й матеріали інших авторів супроводжуються посиланням на авторів та/або джерело опублікування.

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності, з якої вона подається до захисту. Дисертаційне дослідження (наукова доповідь) на тему «Фізико-хімічні закономірності структурно-фазових перетворень в багатокомпонентних телуридах та перовскітах» відповідає паспорту спеціальності 02.00.21 – хімія твердого тіла.

11. Рекомендація дисертації до захисту.

Дисертація (наукова доповідь) Копача Олега Вадимовича на тему «Фізико-хімічні закономірності структурно-фазових перетворень в багатокомпонентних телуридах та перовскітах», що подається на здобуття наукового ступеня доктора наук за спеціальністю 02.00.21 - хімія твердого тіла, є цілісною, завершеною науковою працею.

Отримані результати є новими та оригінальними, і мають науково-теоретичну і практичну цінність. Зміст дисертації (наукової доповіді) відповідає визначеній темі, мети дослідження досягнуто, поставлені здобувачем наукові завдання вирішені. Основні положення дисертації (наукової доповіді), задекларовані здобувачем, містять наукову новизну. Структура та обсяг роботи відповідають встановленим вимогам. Наукові положення, висновки та підходи повністю обґрунтовані та аргументовані, містять наукову новизну та отримали апробацію на наукових конференціях. У публікаціях здобувача відображені всі положення дисертації (наукової доповіді). Отже, дисертаційне дослідження Копача Олега Вадимовича на тему «Фізико-хімічні закономірності структурно-фазових перетворень в багатокомпонентних телуридах та перовскітах» відповідає вимогам пунктів 7, 8 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року №1197, які висуваються до

докторських дисертацій і рекомендується до захисту на здобуття наукового ступеня доктора наук за спеціальністю 02.00.21 - хімія твердого тіла.

У зв'язку з відсутністю в Україні спеціалізованих вчених рад за цією спеціальністю клопотати перед Міністерством освіти і науки України про створення спеціалізованої вченої ради з присудження наукового ступеня доктора наук в Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича для проведення разового захисту дисертації Копача Олега Вадимовича на здобуття наукового ступеня доктора наук за спеціальністю 02.00.21 - хімія твердого тіла.

Рецензент

доктор хімічних наук, професор,
професор кафедри хімії та експертизи
харчової продукції



Ігор КОБАСА

Рецензент

доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри
електроніки і енергетики



Едуард МАЙСТРУК

Рецензент

доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри
містобудування та урбаністики



Ігор ФОДЧУК