

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Бан Генрієтти Йосипівни «Анізотропія фізичних властивостей кристалів сімейства  $Me_2P_2S_6$ » на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія**

5 лютого 2026 року

### **1. Виконання освітньо-наукової програми**

Здобувачка ступеня доктора філософії, аспірантка 4 року денної форми навчання (надалі – Аспірантка) Бан Генрієтта Йосипівна у повному обсязі виконала індивідуальний навчальний план відповідно до освітньо-наукової програми аспірантури ДВНЗ «Ужгородський національний університет», що повністю відповідає вимогам Національної рамки кваліфікацій та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23.03.2016 № 261 (зі змінами).

Аспірантка Бан Генрієтта Йосипівна в процесі виконання освітньо-наукової програми здобула глибокі ґрунтовні знання за фахом, в повній мірі опанувала чітко окреслений програмою обсяг загальнонаукових навичок та компетентностей, необхідних для реалізації послідовного обґрунтованого наукового дослідження, а також пов'язаних із формуванням у Аспірантки загальнонаукового світогляду та дотриманням норм професійної етики.

Аспірантка в повному обсязі оволоділа комплексом необхідних дослідницьких умінь та навичок, зокрема тих, які стосуються планування та формування дизайну дослідження, організації послідовності його виконання та безпосереднього проведення етапів у відповідності до попередньо сформульованих мети та завдання, застосування комплексну методів та технологій, в тому числі і комп'ютерно-інформаційних, необхідних для отримання, структурування, аналітичного опрацювання та синтезу даних, перевірки достовірно отриманих результатів, їх систематизації та категоризації.

Аспірантка в повній мірі оволоділа необхідними мовними компетентностями для репрезентації результатів власного наукового дослідження англійською мовою в усній та письмовій формах, а також для повного розуміння та глибокого якісно-кількісного аналізу іноземних джерел наукової літератури з подальшою формалізацією отриманих даних.

### **2. Виконання індивідуального плану наукової роботи (наукова складова освітньо-наукової програми)**

Індивідуальний план наукової роботи Аспірантки Бан Генрієтта Йосипівна затверджений рішенням вченої ради фізичного факультету Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет» (протокол № 2 від 2.11.2020 року).

Науковий керівник – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики напівпровідників фізичного факультету ДВНЗ «УжНУ» Молнар Олександр Олександрович.

Термін виконання роботи: 2020-2026 роки.

Аспірантка Бан Генрієтта Йосипівна послідовно виконала усі розділи затвердженого індивідуального плану наукової роботи у чітко встановлені терміни, що було підтверджено результатами обговорення відповідних проміжних, піврічних та річних звітів на засіданнях кафедри та Вченої ради фізичного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет».

Дослідження проведені Аспіранткою у чітко визначені терміни згідно затвердженого плану та графіку, в повному обсязі і у відповідності до основних стандартів та норм із застосуванням сучасних комп'ютерно-інформаційних підходів для статистичного аналізу даних.

### **3. Актуальність теми дослідження**

Актуальність досліджень, присвячених анізотропії фізичних властивостей кристалів сімейства  $Me_2P_2S_6$ , зумовлена як фундаментальними, так і прикладними аспектами фізики конденсованого стану. Серед цих сполук присутні як об'ємні, так і шаруваті низько вимірні системи, в яких поєднання структурної анізотропії, сильних кореляцій між електронними та гратковими ступенями вільності, а також наявність фазових переходів різної природи призводить до формування складних і часто нетривіальних фізичних властивостей.

Особливу увагу в сучасних дослідженнях привертає вплив легування перехідними металами на фізичні властивості кристалів  $Me_2P_2S_6$ . Введення іонів перехідних елементів у кристалічну гратку суттєво змінює локальне електронне оточення, симетрію метал–сірчаних октаедрів та характер міжатомних взаємодій. Це, у свою чергу, призводить до модифікації електронної структури, спектра локалізованих станів, а також до посилення електрон-фононої взаємодії, зокрема за рахунок ефектів типу Яна–Теллера.

### **4. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Одним з найбільших проблем практичного застосування кристалів сімейства  $Me_2P_2S_6$ , які досліджуються на кафедрі фізики напівпровідників, під час виконання наукових тем, як державного фінансування, так і по спільних програмах з закордонними установами, є повторюваність параметрів досліджуваних матеріалів. На оптичні та електрофізичні властивості даних сполук суттєво впливають такі чинники, як відхилення від стехіометрії, передісторія зразків, післяростова обробка та інші. В даній дисертаційній роботі аспірантка Бан Г.Й. досліджувала фундаментальні та практичні аспекти покращення фізичних параметрів матеріалів групи  $Me_2P_2S_6$ .

### **5. Формулювання наукового завдання (проблеми), нове розв'язання якого отримано в дисертації**

Основні наукові завдання, які були виконані під час проведення дисертаційних досліджень:

- Дослідження впливу відхилення по стехіометрії на низькотемпературні аномалії кристалів  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ;
- Аналіз анізотропії та ролі легування залізом на фізичні властивості  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ;
- Вивчення явищ гістерезису в 2D кристалі  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ;
- Дослідження впливу часткової заміни Cd на Fe у кристалах  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ;
- Пошук можливих практичних застосувань сегнетоелектриків сімейства  $\text{Me}_2\text{P}_2\text{S}_6$ .

## **6. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом та їх новизна**

У дисертаційній роботі Бан Генрієтти Йосипівни одержано такі основні наукові результати:

Експериментально підтверджено, що низькотемпературні аномалії діелектричної проникності в діапазоні 100-280 К пов'язані з динамікою малих діркових поляронів з процесами донор-акцепторної компенсації в решітці з вакансіями олова і сірки. Виявлено, що збільшення концентрації вакансій сірки у випадку  $\text{Sn}_{2.05}\text{P}_2\text{S}_{5.95}$  збільшує концентрацію носіїв заряду на глибоких донорних рівнях  $\approx 0.4$  еВ, а збільшення концентрації вакансій олова у випадку кристалів  $\text{Sn}_{1.95}\text{P}_2\text{S}_{6.05}$  збільшує концентрацію носіїв заряду на неглибоких акцепторних рівнях  $\approx 0.1$  еВ, і в обох випадках призводить головним чином до збільшення аномалії діелектричних втрат в діапазоні температур (160-200 К), тоді як аномалія в діапазоні 200-280 К сильно зменшується (для  $\text{Sn}_{1.95}\text{P}_2\text{S}_{6.05}$ ) або зникає взагалі (для  $\text{Sn}_{2.05}\text{P}_2\text{S}_{5.95}$ ). Встановлено, що дані аномалії присутні по всім кристалографічним напрямкам.

Вперше виявлено, що легування залізом трансформує  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  з «квазіідеального» сегнетоелектрика в дефектно-корельовану систему, де діелектричний відгук визначається конкуренцією сегнетоелектричного впорядкування і дефектної релаксаційної динаміки. За рахунок легування Fe при  $T \approx 270$  К з'являється додатковий пік в залежності  $\epsilon''(T)$ , в порівнянні з номінально чистим  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ , який може бути однозначно пов'язаний з термоактивованою релаксацією індукованих залізом глибоких пасткових рівнів з енергією активації порядку 0.4–0.45 еВ, що підкреслює ключову роль легування Fe у формуванні функціональних властивостей кристалів  $\text{Sn}_{1.99}\text{Fe}_{0.01}\text{P}_2\text{S}_6$ .

Показано, що часткова заміна атомів Sn на Fe пригнічує поздовжній сегнетоелектричний відгук (по напрямку X), гігантськи підсилює поперечну діелектричну сприйнятливість (Y) та слабо зачіпає «жорсткий» напрямок Z. Це вказує на перехід від «класичного» одновісного сегнетоелектрика (в випадку чистого  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ) до системи з сильними поперечними флуктуаціями та дефектно-індукованою поляризованістю у випадку  $\text{Sn}_{1.99}\text{Fe}_{0.01}\text{P}_2\text{S}_6$ .

В шаруватих кристалах  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$  в інтервалі 80-400 К спостерігаються три області на температурній залежності діелектричної проникності, в яких присутне

явище гістерезису. Вперше виявлена наявність слабкої аномалії  $\epsilon'(T)$  вздовж структурних шарів  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$  за температуру, яка перевищує температуру фазового переходу, визначену з вимірювань поперек шарів у режимі охолодження, що може бути пов'язана з виникненням перед-перехідних двовимірних полярних кореляцій у межах окремих шарів. Такі кореляції зумовлені динамічними поза-центровими коротко діапазонними зміщеннями іонів  $\text{Cd}^{2+}$  в октаедрах  $\text{S}_6$ , індукованими вторинним ефектом Яна–Теллера. Ця аномалія є передперехідною і має двовимірний характер.

В діапазоні температур 200-300 К кристали  $\text{CdFeP}_2\text{S}_6$  проявляють релаксаційну поведінку в залежностях діелектричної проникності від температури та частоти. При 290 К була виявлена аномалія в  $\epsilon'(T)$ , подібну до структурного фазового переходу, що спостерігається в  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$  при нижчих температурах. Часткова заміна Cd на Fe призводить до значного перегрупування спектрів комбінаційного розсіювання, особливо в області  $< 150 \text{ cm}^{-1}$ .

## **7. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації, викладені в дисертації Бан Г.Й. є достовірними та обґрунтованими. Для реалізації поставленої мети та завдань дисертаційної роботи було поєднано теоретичні методи дослідження з експериментальними методиками діелектричної та раманівської спектроскопії.

## **8. Наукове та практичне значення дисертаційної роботи.**

### **Теоретичне значення одержаних результатів**

Аспіранткою Бан Г.Й. було показано, що практично у всіх кристалах сімейства  $\text{Me}_2\text{P}_2\text{S}_6$  в області низьких температур (80-280 К) спостерігаються релаксаційні явища, які можуть бути виявлені методом діелектричної спектроскопії. Дані температурно-частотні залежності  $\epsilon(T, f)$  можуть бути інтерпретовані з використанням різних теоретичних моделей. У випадку  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  це динаміка малих діркових поляронів, пов'язаних з процесами донор-акцепторної компенсації в решітці з вакансіями олова і сірки. В кристалах  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  аналогічна поведінка скоріше за все обумовлена формуванням стану дипольного скла. А часткова заміна атомів Cu чи In в даних шаруватих сполуках на Fe, приводить до релаксації Максвела-Вагнера, обумовленого різною провідністю областей в даному твердому розчині.

### **Практичне значення проведеного дослідження**

Практичне значення проведених досліджень пов'язана з демонстрацією можливостей використання сегнетоелектриків-напівпровідників  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  та  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  в якості активного середовища для альтернативних перетворювачів фізичних впливів, таких як температура, освітлення, рух, вібрація та деформація в електричний струм. Показана також перспектива збільшення об'єму енергонезалежної сегнетоелектричної пам'яті для інформаційних систем за рахунок можливості запису 3-х або 4-х біт інформації, порівняно з класичними комітками пам'яті, здатних зберігати лише один біт інформації.

## **Використання результатів**

Результати дисертаційної роботи Бан Г.Й. були використані при створенні альтернативного мікропотужного джерела живлення, яке може перетворювати освітлення/температуру/рух/деформацію в електричний струм. Дане джерело було застосовано при створенні телеметричного пристрою для співробітників служб порятунку (пожежників). Розробка була представлена на конкурсах «Стартап - УжНУ 2017» та «Стартап - УжНУ 2018», та зайняла 2 та 1 міста, а також потрапила у півфінал конкурсу InnovateFPGA 2018, який проводився компаніями Intel/Altera/Terasic за участю 441 команд зі всього світу. Результати цієї роботи захищені двома патентами на корисну модель.

## **9. Оцінка мови та стилю**

Дисертацію написано з правильним вживанням фахової термінології. Стиль викладення матеріалів – науковий, між послідовними частинами дисертації наявний чіткий причинно-наслідковий зв'язок. Спосіб подання матеріалів дослідження, наукових положень дисертації, висновків та рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

## **10. Відповідність діючим вимогам щодо оформлення дисертації**

Дисертація Бан Г.Й. на тему: «Анізотропія фізичних властивостей кристалів сімейства  $Me_2P_2S_6$ » є завершеною працею за глибиною дослідження, актуальністю, новизною, теоретичним та практичним значенням отриманих результатів, змістом, обсягом та оформленням, установленим до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія».

Структура та обсяг дисертації визначаються метою, завданнями та предметом дослідження і складаються із вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 180 сторінок, з яких 127 становлять основний текст дисертації. Робота містить 62 рисунки (інтегровані в текст), 2 таблиці і 9 формул та список літературних джерел (110 найменувань).

За формальними ознаками робота відповідає чинним вимогам, які висуваються до оформлення дисертації Міністерством освіти і науки України.

## **11. Відповідність змісту дисертації спеціальності, з якої вона подається до захисту**

Дисертація повністю відповідає паспорту спеціальності галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія».

## **12. Зауваження та рекомендації**

В ході написання дисертаційної роботи Аспіранткою були враховано абсолютно усі зауваження та рекомендації надані науково-педагогічними працівниками кафедри фізики напівпровідників фізичного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет» в процесі попередніх обговорень

роботи під час проміжних, піврічних та річних звітів Аспірантки на засіданнях кафедри. Відмічені зауваження та побажання носять суто рекомендаційно-консультативний характер і в жодній мірі не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, а також не зменшують рівнів її наукової новизни та практичної значимості, і відтак не є перешкодою для її подання в разову спеціалізовану вчену раду для офіційного захисту.

**13. Відповідність дисертації вимогам, передбаченим Наказом Міністерства освіти і Науки України «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» № 40 від 12.01.2017р. (зі змінами та доповненнями)**

Дисертаційна робота Бан Генрієтти Йосипівни на тему «Анізотропія фізичних властивостей кристалів сімейства  $Me_2P_2S_6$ » відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і Науки України «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» № 40 від 12.01.2017 р. (зі змінами та доповненнями).

**14. Кількість наукових публікацій, повнота опублікування результатів дисертації та особистий внесок аспірантки до всіх наукових публікацій, опублікованих співавторами та зарахованих за темою дисертації.**

Основні наукові результати дисертаційної роботи висвітлені у публікаціях та розкривають її основний зміст. Основні положення дисертації, які є особистим доробком автора, викладено у 35 наукових працях, загальним обсягом 3,87 д.а, з яких: 3 статті – у наукових виданнях, внесених до реєстру міжнародних наукометричних баз (Scopus), 30 праць апробаційного характеру, та 2 патента на корисну модель.

***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:***

1. Molnar A, Gal D, Ban H, Gerasimov V. Ferroelectric Based Multi-Type Energy-Harvesting Device to Power a Mobile Medical Telemetry System. Integrated Ferroelectrics. 2021;220:110-9.

DOI: 10.1080/10584587.2021.1921540

URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10584587.2021.1921540>

ISSN: 1607-8489

**(Scopus, іноземне видання)**

*(Аспірантці Ван Н належить провідна роль в формулюванні дизайну дослідження, реалізації етапів дослідження, інтерпретації отриманих результатів та підготовці публікації до друку; Molnar A – оцінка ефективності перетворювача; Gal D – підготовка зразка; Gerasimov V – виготовлення композиту)*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ferroelectric, energy harvesting, triboelectric nanogenerator, photovoltaic effect

2. Ban H, Gal D, Kohutych A, Molnar A. Low-temperature anomalies of the dielectric permeability of  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  crystals. *Low Temperature Physics*. 2024;50:56-65.

DOI: 10.1063/10.0023893

URL: <https://pubs.aip.org/aip/ltp/article-abstract/50/1/56/2933099/Low-temperature-anomalies-of-the-dielectric?redirectedFrom=fulltext>

ISSN: 1063-777X

**(Scopus, іноземне видання)**

*(Аспірантка Ban H самостійно провела всі етапи дослідження та підготувала публікацію до друку; Gal D – підготовка зразків; Kohutych A – відпалювання зразків; Molnar A – теоретична модель)*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ferroelectrics, dielectric relaxation, domain structure, luminescence, polarons.

3. Ban H, Gal D, Motrja S, Molnar A. Hysteresis phenomena in  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$  layered crystals. *Low Temperature Physics*. 2025;51:53–8.

DOI: 10.1063/10.0034644

URL: <https://pubs.aip.org/aip/ltp/article-abstract/51/1/49/3329444/Hysteresis-phenomena-in-Cd2P2S6-layered-crystals?redirectedFrom=fulltext>

ISSN: 1063-777X

**(Scopus, іноземне видання)**

*(Аспірантці Ban H належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації; Gal D – підготовка зразків; Motrja S – вирощування кристалів; Molnar A – опис процесу релаксації)*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:**  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$  crystals, dielectric permittivity, hysteresis behavior, phase transition, relaxation

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

4. Bán H, Gal D, Gerasimov V, Haysak A, Molnar A. Automated measuring system for studying the temperature dependence of dielectric spectra of ferroelectrics. IDAACS 2021. The 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. 2021 September 22-25; Cracow, Poland. 2021. p.156-9.

<https://doi.org/10.1109/IDAACS53288.2021.9661058>

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

5. Gal D, Bán H, Gerasimov V, Haysak A, Molnar A, Tretiakova T. Research and Simulation System for Ferroelectric Multibit Memory Cells. The 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. 2023 September 7-9; Dortmund, Germany. 2023. p.163-8.

<https://doi.org/10.1109/IDAACS58523.2023.10348668>

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

6. Gal D, Bán H, Gerasimov V, Haysak A, Molnar A, Tretiakova T. Determination and Optimization of the Parameters of an Alternative Ferroelectric Power Supply. The 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. 2023 September 7-9; Dortmund, Germany. 2023. p.302-7.

<https://doi.org/10.1109/IDAACS58523.2023.10348909>

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

7. Molnar A, Gal D, Ban H, Haysak A. Dielectric properties of  $\text{Cs}_2\text{Ag}_2\text{P}_2\text{Se}_6$  crystals. International Meeting Clusters and Nanostructured Materials (CNM-6). 2020 October 5-9; Uzhgorod-Vodograj, Ukraine. 2020. p.211-2.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

8. Gal D, Ban H, Haysak A, Motrja S, Molnar A. Dielectric properties of  $\text{CuDyP}_2\text{Se}_6$  crystals. IX International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems". 2020 October 27; Uzhhorod, Ukraine. 2020. p.68-70.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

9. Ban H, Gal D, Gerasimov V, Molnar A. Photoelectric properties of  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  ferroelectric based multi-type energy-harvesting device. IX International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems". 2020 October 27; Uzhhorod, Ukraine. 2020. p.80-3.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

10. Molnar A, Glukhov K, Medulych M, Gal D, Ban H, Vysochanskii Yu. The effect of changes in chemical composition and uniaxial compression on the phase transition of  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  crystals. Functional Materials & Nanotechnologies. 2020 November 23-26; Virtual Vilnius, Lithuania. 2020. p.108.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

11. Ban H, Gerasimov V, Molnar A. Development of an IoT monitoring system based on the WEMOS D1 module. X Międzynarodowa Konferencja Studentów oraz Doktorantów „Inżynier XXI wieku”, 2020 december 11; University of Bielsko-Biala, Poland. 2020. p.21-6.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

12. Gal D, Ban H, Haysak A, Molnar A. Influence of production technology on the physical properties of  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  single crystals. International Conference for Young Professionals in Physics and Technology (ICYPPT). 2021 April 26-30; School of Physics in V.N. Karazin National University, Kharkiv, Ukraine. 2021. p.49-50.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

13. Gal D, Ban H, Haysak A, Molnar A. Effect of defects on polarization switching in  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  crystals. Condensed Matter & Low Temperature Physics. 2021 June 6-12; Kharkiv, Ukraine. 2021. p.140.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

14. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Dielectric properties of layered  $\text{Cu}_{0.15}\text{Fe}_{1.7}\text{PS}_3$  polycrystals. International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials". 2021 August 25-27; Lviv, Ukraine. 2021. p.317.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

15. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. The use of  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  layered ferroelectric crystals as alternative energy sources for powering telemedicine equipment. International workshop for young scientists "Functional materials for technical and biomedical applications". 2021 September 6-10; Kharkiv, Ukraine. 2021. p.25.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

16. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Low-Temperature Permittivity Anomalies of  $\text{Me}_1\text{Me}_2\text{P}_2\text{S}_6$  Family Layered Crystals. "Spectroscopy of molecules and crystals" Book of Abstracts of XXV Galyna Puchkovska International School-Seminar. 2021 September 21-24; Kyiv, Ukraine. 2021. p.61.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

17. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Dielectric properties of 80% $\text{CuInP}_2\text{S}_6$ -20% $\text{CuGaP}_2\text{S}_6$  solid solution. School-conference of young scientists «Modern material science: physics, chemistry, technology». 2021 October 4-8; Uzhgorod, Ukraine. 2021. p.265-6.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

18. Бан ГЙ, Гал ДЛ, Гайсак А, Молнар ОО. Автоматизація досліджень температурної залежності діелектричних спектрів. International Conference "Uzhhorod School of Atomic Physics and Quantum Electronics" to the 100th anniversary of the birth of Professor Ivan Prokhorovych Zapisochny. 2022 May 26-27; Uzhhorod, Ukraine. 2022. p.211-5.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

19. Molnar A, Bán H, Gál D, Haysak A. Optimization of the chemical composition of  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  layered crystals for energy harvesting applications. International Conference Functional Materials and Nanotechnologies and Nanotechnology and Innovation in the Baltic Sea Region. 2022 July 3-6; Riga, Latvia. 2022. p.163.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

20. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Influence of the In-Ga substitution on the physical properties of layered  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  crystals. The International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials". 2022 August 25–27; Lviv, Ukraine. 2022. p.344.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

21. Ban H, Gal D, Gerasimov V, Haysak A, Svistak M, Tretiakova T, Molnar A. Alternative microenergetics based on ferroelectrics. XI International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems". 2022 October 28; Uzhhorod, Ukraine. 2022. p.22-4.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

22. Ban H, Gal D, Gerasimov V, Haysak A, Pavlyshyn R, Tretiakova T, Molnar A. 2D and 3D Materials for multilevel ferroelectric memory cells. XII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems". 2023 April 20; Uzhhorod, Ukraine. 2023. p.24-6.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

23. Молнар ОО, Бан ГЙ, Гал ДЛ, Гайсак АІ, Гайсак ІІ, Третьякова ТЄ. Вплив радіації на діелектричні властивості шаруватих кристалів  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$ . ІХ Українська конференція з фізики напівпровідників УНКФН-9. 2023 травня 22-26; Ужгород, Україна. 2023. p.163-4.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

24. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Low-Temperature Anomalies of the Dielectric Permeability of  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  Crystals. III International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics. 2023 June 5-11; Kharkiv, Ukraine. 2023. p.166.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

25. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Precision temperature controller for cryostats. III International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics. 2023 June 5-11; Kharkiv, Ukraine. 2023. p.211.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

26. Molnar A, Ban H, Gal D, Haysak A. Influence of defects on the domain structure of  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  crystals. VI Polish-Lithuanian-Ukrainian Meeting on Physics of Ferroelectrics. 2023 September 11-15; Czestochowa, Poland. 2023. p.75

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

27. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Relaxation processes in layered  $\text{Cu}_{0.15}\text{Fe}_{1.7}\text{PS}_3$  polycrystals. XII International scientific conference "Relaxed, nonlinear and acoustic optical processes and materials (RNAOPM'2024)". 2024 June 01–04; Lutsk – Svityaz', Ukraine. 2024. p.32.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

28. Ban H, Gal D, Motrja S, Molnar A. Hysteresis phenomena in  $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{S}_6$  layered crystals. IV International Conference "Condensed Matter & Low-Temperature Physics". 2024 June 3-7; Kharkiv, Ukraine. 2024. p.184.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

29. Ban H, Gal D, Haysak A, Molnar A. Ferroelectric multibit memory cells based on  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ . International research and practice conference: "Nanotechnology and Nanomaterials". 2024 August 21-24; Uzhhorod, Ukraine. 2024. p.365.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

30. Ban H, Gal D, Haysak A, Haysak I, Molnar A. Effect of radiation defects on electrophysical parameters of layered  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  ferrielectrics. Solid State Physics and Chemistry: status, achievements and prospects: Materials of the VIII International scientific Practical Conference. 2024 October 18-19; Lutsk: IVV LNTU. Lutsk, Ukraine. 2024. p.9.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

31. Molnar A, Gál D, Bán H. Effect of oxygen doping on the phase transition temperature of  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  crystals. XX International scientific conference electronics and applied physics. 2024 October 22-25; Kyiv, Ukraine. 2024. p.95.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

32. Gál D, Bán H, Minkovich V, Gerasimov V, Horvat A, Molnar A. Investigation of macroscopic polarization switching in layered  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  crystals. XIII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems". 2024 October 29; Uzhhorod, Ukraine. 2024. p.16.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

33. Molnar A, Bán H, Gál D, Gerasimov V, Horvat A. Macroscopic and microscopic polarization of  $\text{CuInP}_2\text{S}_6$  crystals. X Ukrainian Scientific Conference on Physics of Semiconductors (USCPS-10). 2025 May 26-30; Uzhhorod, Ukraine. 2025. p.405.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

### **Патенти**

34. Герасимов ВВ, Переста ЮЮ, Молнар ОО, Гал Д, Бан Г. Пристрій моніторингу стану працівника служб порятунку. 148750, МПК (2021.01) А62В 33/00, u 2021 01131, 16.09.2021; Промислова власність. Бюлетень. 2021;37:4.6.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

35. Молнар ОО, Герасимов ВВ, Жигуц ЮЮ, Бан ГЙ, Гал ДЛ. Спосіб моніторингу стану працівників в екстремальних умовах. 152362, МПК

(2022.01) А62В 33/00, u 2021 05305, 19.01.2023; Промислова власність.  
Бюлетень. 2023;3:4.3.

*(Аспірантці належить провідна роль в опрацюванні результатів дослідження, їх систематизації, інтерпретації та підготовці публікації)*

### **15. Результати перевірки роботи на академічний плагіат**

Перевірка дисертаційної роботи проводилася сертифікованою програмою StrikePlagiarism.com. У ході перевірки дисертації запозичень матеріалу без посилання на відповідне джерело не виявлено. Виявлені за допомогою програми StrikePlagiarism.com текстові співпадіння (цитування) мають посилання на відповідні першоджерела, внесені до списку використаної літератури. Запозичення (співпадіння) в тексті не мають ознак плагіату. Подані до захисту наукові матеріали є власним напрацюванням Аспірантки, текст дисертації є оригінальним. Робота визнається самостійною та рекомендується бути допущеною до захисту.

Положення дисертації апробовано на засіданні кафедри фізики напівпровідників (протокол № 6 від 5.02.2026 р.). За результатами засідання ухвалено затвердити позитивний висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів та рекомендувати до захисту в спеціалізованій вченій раді дисертаційну роботу Бан Генрієтти Йосипівни на тему «Анізотропія фізичних властивостей кристалів сімейства  $Me_2P_2S_6$ » на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Головуючий на засіданні  
Академік НАН України,  
доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач кафедри фізики напівпровідників  
ДВНЗ «УжНУ»

Юліан ВИСОЧАНСЬКИЙ

Підпис д.ф.м.н., проф. Височанського Ю.М.  
засвідчую  
Вчений секретар ДВНЗ «УжНУ»



Олена МЕЛЬНИК