

## **РЕФЕРАТ** **наукової роботи**

**«Функціональні мікроматеріали та шаруваті наноструктуровані системи, як перспективні захисні елементи для ядерної/термоядерної енергетики»,  
що подана Конотопським Леонідом Євгеновичем,  
Суравицьким Сергієм Вікторовичем та Мінаковою Ксенією Олександрівною  
на здобуття премії Президента України для молодих вчених**

### **Актуальність теми.**

Актуальність виконання роботи обумовлена проблемою постійного зростання споживання електроенергії, виробництво якої повинно бути надійним та безпечним, з довготривалим ресурсом роботи конструкційних та функціональних елементів реакторів. Одним із шляхів вирішення є перехід до термоядерної енергетики. Будівництво експериментального термоядерного реактору ITER спрямовано на вирішення цієї задачі. В той же час в ядерній і термоядерній енергетиці існує проблема стійкості матеріалів, яка зокрема може бути вирішена за рахунок використання квазікристалів та напівгойслерівські сполук з унікальними фізичними властивостями. Розробку захисних покриттів для стінок та елементів реакторів із використанням квазікристалів, здатних суттєво подовжити ресурс їх роботи, треба розглядати для науковців та інженерів як важливе завдання не тільки вітчизняного, але й світового рівня. Кожна планова зупинка реактора для ремонту завдає економіці України значних втрат. Зменшення кількості таких зупинок працює на забезпечення конкурентно спроможності України у світі. У даній роботі для вирішення актуальних проблем реакторного матеріалознавства ставляться чіткі та конкретні завдання з практичній перевірці створення новітніх функціональних захисних шаруватих систем, спираючись на глибокі знання фізичних процесів, що відбуваються в твердих тілах при взаємодії з потужною радіацією. Великий обсяг підготовчої роботи вже було виконано в роботах за держбюджетом в фундаментальних проектах, базовому фінансуванні та державному замовленні. Актуальність використання шаруватих плівкових систем з вольфраму та квазікристалу як smart (інтелектуальних) систем не повинно мати заперечень, оскільки вони повинні контролюваним чином змінювати свої механічні та фізико-хімічні властивості в умовах дії радіаційно-термічного фактору.

### **Мета дослідження.**

Метою роботи є встановлення нових ефектів та закономірностей щодо взаємодії Ti-Zr-Ni квазікристалічних функціональних плівкових систем та напівгейслерівські сполук LiZn(X=As, P і Sb) з водневою плазмою термоядерного реактора та іонами водню. Визначення кращої та більш радіаційно стійкої конструкції шаруватої системи. Такі дослідження мають важливе значення для розвитку нових матеріалів і технологій у сфері ядерної енергетики та інших високотехнологічних галузях, а також відкривають нові можливості для покращення ефективності та безпеки ядерних технологій.

### **Об'єкт досліджень.**

Закономірності змінення структурно-фазового стану, залишкових напружень та фізичних властивостей шаруватих систем квазікристалу Ti-Zr-Ni та

напівгойслерівські сполук  $\text{LiZn}(X=\text{As}, \text{P} \text{ і } \text{Sb})$  під впливом радіаційно-термічного навантаження водневою плазмою.

### **Основна ідея.**

Квазікристали (QCs) є кластерними структурами з дальнім порядком обертання, але без трансляційної симетрії. Відповідно, вони демонструють властивості аналогічні аморфним сплавам, і ведуть себе як напівметали або напівпровідники по електронним властивостям і по теплопровідності. Потрійний сплав  $\text{Ti-Zr-Ni}$  викликає величезний науковий і технологічний інтерес, оскільки високо впорядкована ікосаедрична фаза показує хорошу термічну стабільність, стійкість до корозії і високу температуру плавлення. Для них відомо про здатність абсорбувати два атома водню на один атом металу, що може знайти застосування в метал-гідридних батареях. Незвичайна комбінація поверхневих властивостей формує потенційний інтерес для біо-медичних застосувань. Їм характерна слабка температурна залежність електроопору з негативним температурним коефіцієнтом, а також низька теплопровідність. Все це робить QCs на основі  $\text{Ti/Zr}$  перспективними для практичного застосування в якості різного роду захисних покриттів, зокрема високотемпературних.

Напівгейслеріди  $\text{LiZn}(X=\text{As}, \text{P} \text{ і } \text{Sb})$  є важливим класом матеріалів зі складною кристалічною структурою та різноманітними фізичними властивостями, які знаходять широке застосування в різних галузях. У контексті ядерної безпеки, де потрібні матеріали з високою стійкістю до радіації та корозії, деякі напівгейслеріди можуть бути особливо корисними. Зокрема, їхні унікальні властивості, такі як стійкість до радіації та хімічна стійкість, роблять їх привабливими кандидатами для використання у конструкціях реакторів та інших ядерних установках.

Деякі з вивчених матеріалів також можуть мати здатність абсорбувати водень, що може бути корисним у водневих системах, в яких важлива безпека. Застосування напівгейслерідів  $\text{LiZn}(X=\text{As}, \text{P} \text{ і } \text{Sb})$  в ядерній енергетиці може допомогти створити більш стійкі та надійні матеріали для ядерних реакторів та інших компонентів ядерних установок, що сприятиме підвищенню рівня безпеки в цих галузях.

### **Методика та методологія досліджень.**

Колектив авторів має експериментальну базу і володіє необхідними сучасними методами дослідження структури, елементного складу і фізичних властивостей твердотільних матеріалів. При виконанні роботи були вдосконалені рентгено-оптичні схеми ковзної геометрії дослідження пошарового змінення (постійності) структурного та напруженого стану. Вдосконалена лабораторно-практична методика вакуумного отримання плівок квазікристалічних та апроксимантних фаз в напрямку підвищення досконалості їх структури та формування текстур. Спираючись на результати оптичних, електричних та структурних досліджень та ідентифікації домінуючих фізичних механізмів, запропоновані методи прогнозування характеристик, які визначають експлуатацію приладових структур в реальних умовах.

### **Основними науковими та практичними результатами роботи є такі:**

1. Експериментально встановлено, що квазікристалічна фаза, а також споріднені з нею кристалічні фази (фаза Лавеса,  $\alpha$ -твердий розчин і фаза 2/1 кристала-апроксиманта) Ti-Zr-Ni системи виявилися стійкими в умовах радіаційно-термічного впливу водневою плазмою з тепловим навантаженням. 2 МДж/м<sup>2</sup> на квазістаціонарному плазмовому прискорювачі QSPA X-50 (ННЦ ХФТІ).

2. Встановлено, що тонкі плівки Ti-Zr-Ni системи, що містять квазікристалічну ікосаедричну фазу, при радіаційно-термічних навантаженнях у сумі до 20 імпульсів менш схильні до утворення тріщин, ніж покриття з кристалічними фазами тієї ж системи.

3. Згідно з досліджень структурно-фазових перетворень у плівкових покриттях Ti<sub>41</sub>Zr<sub>38,3</sub>Ni<sub>20,7</sub> в залежності від температури та часу відпалу оптимальними умовами формування однофазних покриттів є: для квазікристалічних покриттів – температура відпалу 480°C та час відпалу не більше 65 годин; для покриття з фази апроксиманта 2/1 – температура відпалу 580°C, а час відпалу 22 години.

4. Досліджено структурно-термодинамічні властивості нового напівгойслеровських сплавів LiZnX (X=As, P та Sb). Методика та методологія досліджень структурних властивостей напівгейслеровського сплаву LiZn(X=As, P і Sb) включала в себе застосування теорії функціоналу густини для отримання цінної інформації про цю матеріальну систему.

5. У рамках цього дослідження були проаналізовані структурно-термодинамічні властивості нового напівгейслеровського сплаву LiZnX (X=As, P та Sb) з використанням першопринципних розрахунків. Отримані результати показали, що LiZnX (X=As, P і Sb) легко стискатиметься через мале значення його об'ємного модуля. Дослідження показало, що новий напівгейслеровський сплав LiZn(X=As, P і Sb) має перспективу для використання в різних високотехнологічних застосуваннях, зокрема у термоелектричних і магнітних пристроях.

6. Використання мікроскопічних та макроскопічних методів для вивчення морфології та механічних властивостей напівгейслеровських сплавів. Ці методи дозволяють оцінити мікроструктуру та механічну стійкість сплавів, що є важливими параметрами для їхнього практичного застосування для ядерної/термоядерної енергетики.

### **Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше:**

1. Вперше досліджено, як воднева плазма впливає на структуру покриття Ti-Zr-Ni.

2. Вперше досліджена структура та механічні властивості плівкових покриттів Ti-Zr-Ni системи: апроксимантної 2/1AC фази і квазікристалічної QC фази, проаналізовано характер їх пружно – пластичного деформування.

3. Встановлено умови формування однофазних квазікристалічних покриттів та покриттів з фази апроксиманта 2/1.

4. Визначено величину нанотвердості, модуль нормальної пружності Юнга та величини  $H/E$  та  $H^3/E^2$  для QC та 2/1AC фаз. За показником міцності  $H/E = 0,08 \dots 0,09$

розроблені покриття на сталевих та сапфірових підкладках наближаються до надміцних матеріалів.

5. Встановлено, що у стрічкових зразках накопичуються специфічні дефекти квазікристалічної структури, так звані, фазонні дефекти. Вони мають гартівну природу. У кінцевому підсумку їх виявлено більше зі сторони вільної поверхні, ніж зі сторони контактованої поверхні. Це пов'язано з тим, що вони витрачаються на утворення фази апроксиманта. Деформація стрічок призводить до значного збільшення кількості фазонних дефектів.

6. Дослідження термодинамічних властивостей сплавів  $\text{LiZn}(X=\text{As}, \text{P} \text{ і } \text{Sb})$  дозволило отримати важливу інформацію про їхню стійкість, реакцію на зовнішні впливи та можливість застосування в різних умовах, включаючи високі температури та радіаційне випромінювання.

7. Одним із ключових аспектів є вивчення стійкості сплавів  $\text{LiZn}(X=\text{As}, \text{P} \text{ і } \text{Sb})$  до радіаційного опромінення та їхніх властивостей у ядерному середовищі. Отримані результати термодинамічних та механічних характеристик сплавів дозволить розробляти більш надійні та стійкі матеріали для конструкцій ядерних реакторів, що відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки ядерних установок.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано в НТУ "ХПІ" у межах держбюджетних тем МОН України, присвячених створенню та дослідженню нанорозмірних багатокомпонентних шаруватих систем і квазікристалічних плівок  $\text{TiZrNi}$  (№ДР 0118U002049, №ДР 0121U111699, №ДР 0120U001003, № ДР 01211U11304441), а також згідно з договором державного замовлення № ДЗ/115 -2021. Стандартний грант Національного наукового фонду США №2403609 на назву проекту: EAGER: IMPRESS-U: Квантова динаміка в нових халькогенідних матеріалах і пристроях (01.04.2024 – 31.03.2026); НДР «Система енергозабезпечення на основі гнучких сонячних батарей для інтеграції у польове спорядження» 2024-2026; грант НФДУ 2022.01/0014 «Розробка експериментального зразка плівкового елемента захисту електронної техніки від імпульсів електромагнітного випромінювання» (№д/р 0123U103751) 2023-2025; НДР «Створення лабораторного зразка мікроелемента захисту НВЧ радіоелектронної апаратури від руйнівних імпульсів електромагнітного випромінювання» (№д/р 0123U101599); НДР «Тепло-електрична сонячна установка для енергозбереження в умовах пошкодження інфраструктури» (№д/р 0123U100245) 2023-2024; НДР «Автономна гібридна фотоенергетична установка з інтелектуальною системою відбору потужності» 2021-2022.

### **Практична значимість.**

Цінність очікуваних в проекті результатів полягає в одержанні нових наукових знань, невідомих світовій науці, про фізичні процеси в поверхневих шарах твердих тіл і в об'ємі плівкових квазікристалічних наноконпозицій при багатоциклового опроміненні потоками плазми в широкому діапазоні параметрів. Це обумовлено потребами як розробки нових джерел енергії та матеріалознавчого супроводження міжнародного проекту експериментального термоядерного реактора ITER, так і просуванням нового покоління високоефективних плазмових технологій модифікації

структури та властивостей твердих тіл.

Напівгейслеровські сплави  $\text{LiZn}(X=\text{As}, \text{P} \text{ і } \text{Sb})$  мають структурні та термодинамічні властивості, які визначають їхню придатність для використання у конструкціях ядерних реакторів та установок. Вивчення стійкості цих сплавів до радіаційного опромінення є важливим аспектом для забезпечення безпеки та довговічності ядерних реакторів. Деякі з цих сплавів можуть мати високий коефіцієнт термоелектричної ефективності, що робить їх привабливими для застосування в термоелектричних пристроях для конвертації тепла в електричну енергію у ядерних установках. Крім того, деякі сплави можуть мати потенціал для застосування в термоядерних реакторах, де високі температури та агресивні середовища ставлять вимоги до матеріалів зі спеціальними властивостями. В цілому, напівгейслеровські сплави  $\text{LiZn}(X=\text{As}, \text{P} \text{ і } \text{Sb})$  представляють собою перспективні матеріали для використання у ядерній та термоядерній енергетиці, сприяючи розвитку безпечних та ефективних технологій в цих галузях.

Одержані в проєкті нові знання будуть використані для створення нових матеріалів з поліпшеними фізико-механічними властивостями для ядерної та термоядерної енергетики та приладових структур для електроніки та мікрохвильової фотоніки.

#### **Апробація результатів дослідження та впровадження**

Основні положення та результати роботи доповідались та обговорювались на міжнародних та всеукраїнських конференціях, серед яких:

1. I.G. Shipkova, S.V. Malykhin, E.N. Zubarev, **S.V. Surovitskiy**, I.A. Kopylets X-ray studying amorphous quasicrystal transformations in sputtered Ti-Zr-Ni films. // // XIV Міжнародна наукова конференція «Фізичні явища в твердих тілах» 3-5 грудня 2019 року, м. Харків – с.102.

2. Богданов Ю.С., Малихін С.В., Кондратенко В.В., Копилець І.А., **Суровицький С.В.**, Зубарев Є.М., Вовк Р.В., Хаджай Г.Я., Кислиця М.В., Пеньков О.В. Структура та окремі фізичні властивості тонких Ti-Zr-Ni плівок, які вміщують квазікристалічну фазу. // XIV Міжнародна наукова конференція «Фізичні явища в твердих тілах» 3-5 грудня 2019 року, м. Харків – с.103.

3. Malykhin S.V., Kondratenko V.V., Kopylets I.A., **Surovitskiy S.V.**, Borisova S.S., Bogdanov Yu.S. Structural-Phase Features of the Formation of Ti-Zr-Ni Quasicrystalline Thin Films. // XVII Міжнародна фреїківська конференція з фізики і технології тонких плівок та наносистем, 20-25 травня, 2019 рік, м. Івано-Франківськ, с.36-37.

4. **Суровицький С.В.**, Геращенко С.С., Махлай В.А., Малихін С.В., Копилець І.А., Кондратенко В.В. Поведінка тонких плівок квазікристалів та апроксимантних фаз системи Ti-Zr-Ni при радіаційно-термічному впливі в режимах перехідних процесів термоядерного реактора. // XV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА ФАХІВЦІВ «ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ» 13-15 листопада 2019 р., м.Харків.

5. S.V. Malykhin, Yu.S. Bogdanov, V.A. Makhlai, S.S. Gerashchenko, V.V. Kondratenko, I.A. Kopylets, **S.V. Surovitsky**, S.S. Borisova Influence of hydrogen plasma irradiation on structural changes and morphology of ti-zr-ni thin films containing quasicrystalline and related phases. // The 6-th International Conference “HIGH PURITY

MATERIALS: PRODUCTION, APPLICATION, PROPERTIES” Dedicated to memory of Academician V.M. Azhazha September 13–15, 2021 Kharkiv, Ukraine, p.21.

6. S.V. Malykhin, V.V. Kondratenko, I.A. Kopylets, Yu.S. Bogdanov, I.G. Shipkova, **S.V. Surovitsky**, S.S. Borisova Structural-phase changes in ti-zr-ni thin films and temperature stability of phases// The 6-th International Conference “HIGH PURITY MATERIALS: PRODUCTION, APPLICATION, PROPERTIES” Dedicated to memory of Academician V.M. Azhazha September 13–15, 2021 Kharkiv, Ukraine, p.22.

7. Богданов Ю.С., Малихін С.В., **Суrowицький С.В.**, Геращенко С.С. Структурні змінення в тонких Ti-Zr-Ni квазікристалічних плівках після опромінення плазмою. // XXIX Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» MicroCAD-2021, 18-20 травня 2021 року.

8. **Мінакова К.О.** Особливості поширення фононів в графенових наноструктурах // XXVII International Scientific- “Information Technologies: Science, Engineering, Technology (MicroCAD 2019) 15-17 May 2019, Abstracts. – Kharkiv:NTU”KhPI”, 2019 – P.355.

9. Influence of Functional Layers Thickness on CdTe Based Flexible Solar Cells Efficiency / M.V. Kirichenko, R.V. Zaitsev, G.S. Khrypunov, **K.O. Minakova**, R.S. Tomashevskiy, D.S. Prokopenko // 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL-2019) 6-8 October 2019, Conference proceedings. – Bulgaria, Sozopol: IEEE, 2019. – P. 469-472.

10. Studies of the global situation in the field of electricity generation on renewable energy sources / R.V. Zaitsev, **K.O. Minakova** // III Всеукраїнська науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем» 12-15 листопада 2019 р., Тези доповідей. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019 р. – С. 20.

11. Vibrational characteristics of graphene nanostructures: Low-dimensional peculiarities; Stability; Peculiarities of phonon expansion and localization / S.B. Feodosyev, I.A. Gospodarev, E.S. Syrkin, V.A. Sirenko, **K.A. Minakova** // International Advanced Study Conference "Condensed Matter & Low Temperature Physics 2020" 8-14 June 2020, Abstracts. – Kharkiv: ILTPE, 2020 – P.105.

12. Study methods of photogenerated minority charge carriers parameters in semiconductors / **K.A. Minakova**, R.V. Zaitsev, M.V. Kirichenko // IX International Conference on Optoelectronic Information Technologies “Photonics-ODS 2020” 5-7 October 2020, Abstracts. – Vinnytsia: VNTU, 2020. – P. 105.

13. Vibrational Characteristics of Graphene Nanostructures: Stability, Low-Dimensional Peculiarities and Peculiarities of Phonon Expansion and Localization / S.B. Feodosyev, I.A. Gospodarev, E.S. Syrkin, V.A. Sirenko, **K.A. Minakova** // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week) 5-10 October 2020, Conference proceedings. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2020. – P. 482-487.

14. Investigation of general optimization characteristics in basic solar collector model for PVT systems / R.V. Zaitsev, **K.O. Minakova** // IV Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2020)» 10-13 листопада 2020 р., Збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020 р. – С. 34-36.

15. Energy Storage Development for High Voltage Electromagnetic Pulse Generator / **К.А. Minakova**, D.S. Shkoda, M.V. Kirichenko // II International Advanced Study Conference "Condensed Matter & Low Temperature Physics 2021" 6-12 June 2021, Abstracts. – Kharkiv: ILTPE, 2021 – P. 232.

16. The Features of the Active Battery Balancing Systems / B.O. Styslo, R.V. Zaitsev, **К.А. Minakova**, M.V. Kirichenko, O.V. Ieresko, V.O. Makarov // 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON-2021) 26-28 August 2021, Conference proceedings. – Lviv: IEEE, 2021. – P. 287-292.

17. Peculiar Features of Vibrations Propagation and Localization in Graphene Nanostructures / S. Feodosyev, I. Gospodarev, Y. Syrkin, V. Sirenko, I. Bondar, **К. Minakova** // 2021 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week) 13-17 September 2021, Conference proceedings. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021. – P. 676-680.

18. Особливості поширення фононів у графенових наноструктурах. Швидкі високочастотні фонони у квазізгинальній моді / **К.О. Мінакова** // XXX Міжнародна науково - практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 19-21 жовтня 2022 р., Тези доповідей. – Харків: НТУ «ХПІ», 2022 р. – С. 336.

19. Graphite and Graphene Nano-films: Phonons Localization and Propagation / S.B. Feodosyev, I.A. Gospodarev, E.S. Syrkin, V.A. Sirenko, I.S. Bondar, **К.А. Minakova** // 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) 03-07 October 2022, Conference proceedings. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022. – P. 616-621.

20. Properties of CdTe films prepared by DC magnetron sputtering / O.O. Kuziakin, R.I. Saprykin, R.V. Zaitsev, **К.О. Minakova**, M.V. Kirichenko // International Scientific Applied Conference "Problems of Emergency Situations" 19 May 2023, Conference proceedings. – Kharkiv: NUCPU, 2023. – P. 301-303.

21. Specialized Schemes of Space-Vector Modulation of VSI for Synchronous Voltage Control of PV Stations / V. Oleschuk, I. Vasiliev, **К. Minakova**, R. Zaitsev, M. Kirichenko // 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) 02-06 October 2023, Conference proceedings. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023. – P. 632-637.

## **Кількість і тип публікацій, які увійшли до роботи**

### **Монографії**

1. Zaitsev R., Kirichenko M., **Minakova К.**, Khrypunov G., Nikitin V. Technology Bases of Combined Photovoltaic Systems (Transactions on Physics & Math in Engineering Science: Ser. A, Vol. 1) – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023. - 240 p.
2. Syrkin E.S., Gospodarev I.A., Sirenko V.A., Feodosyev S.B., **Minakova К.А.** Peculiarities of quasi-particle spectra in graphene nanostructures (Handbook of Graphene: Volume 2, 309–382) – Scrivener Publishing LLC, 2019.

**Статті в журналах, включених до категорії "А"** Переліку наукових фахових видань України та у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus

1. Structure and electrical conductivity of Ti-Zr-Ni films of quasicrystalline and related crystalline phases Malykhin S.V. Minenkov A.A., Minenkov A.A., Kopylets I.A.,

- Kondratenko V.V., Khadzhay, G.Ya., Vovk R.V., Kislitsa M.V., **Surovitskiy S.V.**, Borisova S.S. Journal of Alloys and Compounds DOI:10.1016/j.jallcom.2023.171386
2. Evaluation of structure and mechanical properties of TiZrNi coatings under annealing Penkov O.V.; Kopylets Igor , Khadem M., Kondratenko Valeriy, Malykhin Sergiy, **Surovitskiy Sergiy**, Fedchenko Anna Thin Solid Films DOI:10.1016/j.tsf.2022.139149
  3. Stability of thin quasi-crystalline Ti-Zr-Ni films and related crystalline phases under low-energy transient plasma irradiation Malykhin S.V., Kondratenko V.V., Makhlai V.A., Garkusha I.E., Kopylets I.A., Borisov, Yu.S., Herashchenko S.S., **Surovitskiy S.V.**, Borisova S.S., Problems of Atomic Science and Technology DOI:10.46813/2022-142-143
  4. Structural-phase transformations in magnetron deposited films of Ti-Zr-Ni systems during annealing in vacuum Malykhin S.V., Kondratenko V.V., Kopylets I.A., Bogdanov, Yu.S., **Surovitskiy S.V.** , Borisova S.S., Shipkova I.G., Problems of Atomic Science and Technology DOI:10.46813/2022-137-021
  5. Features of the initial stage of the formation of Ti-Zr-Ni quasicrystalline thin films Malykhin S.V., Kondratenko V.V., Kopylets I.A., **Surovitskiy S.V.**, Shipkova I.G., Mikhailov I.F., Zubarev E.N., Bogdanov, Yu. S. Journal of Nano- and Electronic Physics DOI:10.21272/jnep.12(4).04011
  6. Behavior of the Ti-Zr-Ni thin film containing quasicrystalline and approximant phases under radiative-thermal action in transition modes Malykhin S.V., Makhlai V.A., **Surovitskiy S.V.**, Garkusha I.E., Herashchenko S.S., Kondratenko V.V., Kopylets I.A., Zubarev E.N., Borisova S.S., Fedchenko A.V., Problems of Atomic Science and Technology ISSN: 16829344
  7. Features of the initial stage of the formation of Ti-Zr-Ni quasicrystalline thin films Malykhin S.V. Kondratenko V.V., Kopylets I.A., **Surovitskiy S.V.**, Shipkova I.G., Mikhailov I.F., Zubarev E.N., Bogdanov, Yu. S. Journal of Nano- and Electronic Physics DOI:10.21272/jnep.12(4).04011
  8. Features of structure, substructure, and residual stress of Ti<sub>41.5</sub> Zr<sub>41.5</sub> Ni<sub>17</sub> quasicrystals quenched from liquid state Malykhin S.V., Konotopska N.V., **Konotopsky L.E.**, **Surovitskiy S.V.**, Starikov V.V., Grevzov V.V., Problems of Atomic Science and Technology DOI:10.46813/2024-149-089
  9. Structure and mechanical properties of quasicrystalline and 2/1 approximant phases in Ti–Zr–Ni coatings Malykhin S.V., Kondratenko V.V., Kopylets I.A., Tolmachova G.N., **Surovitskiy S.V.**, Konotopska N.V., Fedchenko A.V., Rudchenko S.O., Reshetnyak E.N., Minenkov A.A Materials Chemistry and Physics DOI:10.1016/j.matchemphys.2024.129073
  10. Low dimensional features of graphene nanostructure stability and vibrational characteristics Gospodarev I.A., Sirenko V.A., Syrkin E.S., Feodosyev S.B., **Minakova K.A.** Low Temperature Physics DOI:10.1063/10.0000706
  11. Propagation and localization of phonons in graphite and graphene nanofilms Feodosyev S. B., Gospodarev I. A., Sirenko, V. A., Syrkin, E. S., Bondar, I. S., **Minakova K. A.** Low Temperature Physics DOI:10.1063/10.0009291
  12. Features of the propagation of phonons in graphene nanostructures. Fast high-frequency phonons in a quasi-flexural mode Feodosyev S.B., Gospodarev I.A.,



- Sirenko V.A., Syrkin E.S., Bondar I.S., **Minakova K.A.** Low Temperature Physics DOI: 10.1063/10.0012650
13. Localized and quasi-localized energy levels in the electron spectrum of graphene with isolated boron and nitrogen substitutions Feodosyev S.B., Sirenko V.A., Syrkin E.S., Manzhelii E.V., Bondar I.S., **Minakova K.A.** Low Temperature Physics DOI:10.1063/10.0016473
14. On the interplay of thermodynamic and structural properties of LiZn-based half-Heusler alloys Ettah E.B., **Minakova Kseniia**, Ishaje M.E., Sirenko V. Fizika Nizkikh Temperatur DOI:10.1063/10.0021371
15. Characterization of Si/Mg<sub>2</sub>Si multilayer mirrors manufactured by sputtering of Mg and Si targets **Konotopsky L.E.**, Kopilets I.A., Kondratenko V.V., Fedchenko A.V., Kosmachev S.M. Functional Materials DOI:10.15407/fm28.01.196

#### **Статті у наукових виданнях, включених до категорії "Б" Переліку наукових фахових видань України**

1. Structural features of X-ray mirrors W/Mg<sub>2</sub>Si **L. Konotopsky, S. Surovitskiy, K. Minakova** Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 2(16), pp. 92–99.
2. Evaluation of energy band structure of half-Heusler alloy LiZnX (X = As, P, and Sb) using first principle calculation. Ettah E. B., Ishaje M. E., **Minakova K. A.** Asuquo E. O., Odey S. U. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 3(17), pp. 11–16.

#### **Тези доповідей (одноосібні)**

1. Особливості поширення фононів в графенових наноструктурах **К.О. Мінакова** XXVII International Scientific- “Information Technologies: Science, Engineering, Technology (MicroCAD 2019) 15-17 May 2019, Abstracts. – Kharkiv:NTU”KhPI”, 2019 – P.355.
2. Особливості поширення фононів у графенових наноструктурах. Швидкі високочастотні фонони у квазізгинальній моді **К.О. Мінакова** XXX Міжнародна науково - практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 19-21 жовтня 2022 р., Тези доповідей. – Харків: НТУ «ХПІ», 2022 р. – С. 336.

#### **Патенти на корисну модель України**

1. Спосіб виготовлення товстих міцних покриттів на основі сплаву TiZrNi Копилець І.А., Малихін С.В., Девізенко О.Ю., Федченко Г.В., **Суровицький С.В.** Патент на корисну модель № 153084.- МПК (2023.01) С21D 9/46 (2006.01), С21D 9/48 (2006.01), С23С 14/00, С23С 14/06 (2006.01), С23С 14/22 (2006.01).- Заявка U 2022 04282 (11.11.2022).- Опублікований 17.05.2023, бюл. №20.- Чинний з 18.05.2023.

**Загальна кількість публікацій за темою роботи** – 41 публікацій. Серед них: 1 монографія, 1 розділ монографій, 15 публікацій, проіндексованих Scopus та/або WoS (15 з них – у журналах з імпакт-фактором), 2 статті у фахових наукових виданнях, 1 патент України на корисну модель, 21 тез доповідей на конференціях. Загальний індекс цитування публікацій у базі Scopus складає 42, h-індекс – 23; у базі Web of Science – 4, h-індекс – 6; у базі Google Scholar – 35, h-індекс – 24.

**Висновки.** Таким чином, наукова робота «Функціональні мікроматеріали та шаруваті наноструктуровані системи, як перспективні захисні елементи для ядерної/термоядерної енергетики» має суттєві науково-прикладні результати, які є новими, актуальними, становлять інтерес як з фундаментальної, так і з прикладної точки зору та є важливими для подальшого розвитку сучасної науки і сучасних технологій в Україні.

Робота на здобуття премії Президента України для молодих вчених 2024 подається авторами вперше.

Претенденти:

 /Леонід КОНОТОПСЬКИЙ/

 /Сергій СУРОВИЦЬКИЙ/

 /Ксенія МІНАКОВА/

**Перелік наукових публікацій, висунутих на присудження Премії**  
(азначаються всі публікації всіх авторів подання в одній таблиці незалежно від наявності цитування)

№з/п	Назва публікації*	Вихідні дані/ реквізити публікації	Авторський доробок (кількісний показник)
1	2	3	4
<b>I. Монографії/ підручники/ посібники/ методики/</b>			
в стовпчику 4 вказується кількість друкованих аркушів**, що належать претендентам **друкований аркуш – одиниця вимірювання натурального обсягу видання, що дорівнює друкованому відбитку на одній стороні паперового аркуша, що сприймає фарбу з друкарської форми, стандартного формату.			
1	Zaitsev R., Kirichenko M., Minakova K., Khrypunov G., Nikitin V. Technology Bases of Combined Photovoltaic Systems (Transactions on Physics & Math in Engineering Science: Ser. A, Vol. 1) – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023. - 240 p.	ISSN 2786-8419	48 сторінок
2	Syrkin E.S., Gospodarev I.A., Sirenko V.A., Feodosyev S.B., Minakova K.A. Peculiarities of quasi-particle spectra in graphene nanostructures (Handbook of Graphene: Volume 2, 309–382) – Scrivener Publishing LLC, 2019.	ISBN: 978-1-119-46977-3	15 сторінок

№з/п	Назва	Вихідні дані/ реквізити публікації	Співавтори
<b>II. Статті в журналах, включених до категорії "А" Переліку наукових фахових видань України та у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus</b>			
1	Structure and electrical conductivity of Ti-Zr-Ni films of quasicrystalline and related crystalline phases	Journal of Alloys and Compounds DOI:10.1016/j.jallcom.2023.171386	Malykhin S.V. Minenkov A.A. Minenkov A.A.; Kopylets I.A. Kondratenko V.V. Khadzhay, G.Ya. Vovk R.V. Kislitsa M.V. Surovitskiy S.V. Borisova S.S.
2	Evaluation of structure and mechanical properties of TiZrNi coatings under annealing	Thin Solid Films DOI:10.1016/j.tsf.2022.139149	Penkov O.V.; Kopylets, Igor Khadem M. Kondratenko, Valeriy

			Malykhin, Sergiy Surovitskiy, Sergiy Fedchenko, Anna
3	Stability of thin quasi-crystalline Ti-Zr-Ni films and related crystalline phases under low-energy transient plasma irradiation	Problems of Atomic Science and Technology DOI:10.46813/2022-142-143	Malykhin S.V.; Kondratenko V.V. Makhlai V.A. Garkusha I.E. Kopylets I.A. Borisov, Yu.S. Herashchenko S.S. Surovitskiy S.V. Borisova S.S.
4	Structural-phase transformations in magnetron deposited films of Ti-Zr-Ni systems during annealing in vacuum	Problems of Atomic Science and Technology DOI:10.46813/2022-137-021	Malykhin S.V.; Kondratenko V.V. Kopylets I.A. Bogdanov, Yu.S. Surovitskiy S.V. Borisova S.S. Shipkova I.G.
5	Features of the initial stage of the formation of Ti-Zr-Ni quasicrystalline thin films	Journal of Nano- and Electronic Physics DOI:10.21272/jnep.12(4).04011	Malykhin S.V. Kondratenko V.V. Kopylets I.A. Surovitskiy S.V. Shipkova I.G. Mikhailov I.F. Zubarev E.N. Bogdanov, Yu. S.
6	Behavior of the Ti-Zr-Ni thin film containing quasicrystalline and approximant phases under radiative-thermal action in transition modes	Problems of Atomic Science and Technology ISSN: 16829344	Malykhin S.V. Makhlai V.A. Surovitskiy S.V. Garkusha I.E. Herashchenko S.S. Kondratenko V.V. Kopylets I.A. Zubarev E.N. Borisova S.S. Fedchenko A.V.

7	Features of the initial stage of the formation of Ti-Zr-Ni quasicrystalline thin films	Journal of Nano- and Electronic Physics DOI:10.21272/jnep.12(4).04011	Malykhin S.V. Kondratenko V.V. Kopylets I.A. Surovitskiy S.V. Shipkova I.G. Mikhailov I.F. Zubarev E.N. Bogdanov, Yu. S.
8	Features of structure, substructure, and residual stress of Ti <sub>41.5</sub> Zr <sub>41.5</sub> Ni <sub>17</sub> quasicrystals quenched from liquid state	Problems of Atomic Science and Technology DOI:10.46813/2024-149-089	Malykhin S.V.; Konotopska N.V. Konotopsky L.E. Surovitskiy S.V. Starikov V.V. Grevzov V.V.
9	Structure and mechanical properties of quasicrystalline and 2/1 approximant phases in Ti-Zr-Ni coatings	Materials Chemistry and Physics DOI:10.1016/j.matchemphys.2024.129073	Malykhin S.V. Kondratenko V.V. Kopylets I.A.; Tolmachova G.N. Surovitsky S.V. Konotopska N.V. Fedchenko A.V. Rudchenko S.O. Reshetnyak E.N. Minenkov A.A.
10	Low dimensional features of graphene nanostructure stability and vibrational characteristics	Low Temperature Physics DOI:10.1063/10.0000706	Gospodarev I.A. Sirenko V.A. Syrkin E.S. Feodosyev S.B. Minakova K.A.
11	Propagation and localization of phonons in graphite and graphene nanofilms	Low Temperature Physics DOI:10.1063/10.0009291	Feodosyev S. B. Gospodarev I. A. Sirenko, V. A. Syrkin, E. S. Bondar, I. S. Minakova K. A.

12	Features of the propagation of phonons in graphene nanostructures. Fast high-frequency phonons in a quasi-flexural mode	Low Temperature Physics DOI: 10.1063/10.0012650	Feodosyev S.B.; Gospodarev I.A. Sirenko V.A. Syrkin E.S. Bondar I.S. Minakova K.A.
13	Localized and quasi-localized energy levels in the electron spectrum of graphene with isolated boron and nitrogen substitutions	Low Temperature Physics DOI:10.1063/10.0016473	Feodosyev S.B. Sirenko V.A.; Syrkin E.S. Manzhelii E.V. Bondar I.S. Minakova K.A.
14	On the interplay of thermodynamic and structural properties of LiZn-based half-Heusler alloys	Fizika Nizkikh Temperatur DOI:10.1063/10.0021371	Ettah E.B. Minakova, Kseniia Ishaje M.E. Sirenko V.
15	Characterization of Si/Mg <sub>2</sub> Si multilayer mirrors manufactured by sputtering of Mg and Si targets	Functional Materials DOI:10.15407/fm28.01.196	Konotopsky L.E. Kopilets I.A. Kondratenko V.V. Fedchenko A.V. Kosmachev S.M.
<b>III. Статті у наукових виданнях, включених до категорії "Б" Переліку наукових фахових видань України</b>			
1	Structural features of X-ray mirrors W/Mg <sub>2</sub> Si	Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 2(16), pp. 92–99.	L. Konotopsky, S. Surovitskiy, K. Minakova
2	Evaluation of energy band structure of half-Heusler alloy LiZnX (X = As, P, and Sb) using first principle calculation.	Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 3(17), pp. 11–16.	Ettah E. B., Ishaje M. E., Minakova K. A. Asuquo E. O., Odey S. U.
<b>IV. Виключно одноосібні статті в інших (ніж зазначені у пунктах III і IV) галузевих виданнях за темою роботи</b>			
1			
<b>V. Тези доповідей (одноосібні)</b>			
1	Особливості поширення фононів в графенових наноструктурах	XXVII International Scientific-“Information Technologies: Science, Engineering, Technology (MicroCAD 2019) 15-17 May 2019, Abstracts. – Kharkiv:NTU”KhPI”, 2019 – P.355.	К.О. Мінакова
2	Особливості поширення фононів у	XXX Міжнародна науково - практична конференція «Інформаційні технології:	К.О. Мінакова

	графенових наноструктурах. Швидкі високочастотні фонони у квазізгинальній моді	наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 19-21 жовтня 2022 р., Тези доповідей. – Харків: НТУ «ХП», 2022 р. – С. 336.	
<b>VI. Патенти України або інших країн на винахід, щодо яких претенденти є авторами/співавторами або власниками/співвласниками (з чинним за строком дії, відповідно до законодавства України)</b>			
1			
2			
<b>VII. Патенти на корисну модель України, промисловий зразок (для соціо-гуманітарних наук свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір) чи інших отриманих охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності, щодо яких претенденти є авторами/співавторами або власниками/співвласниками (з чинним за строком дії)</b>			
1	Спосіб виготовлення товстих міцних покриттів на основі сплаву TiZrNi	Патент на корисну модель № 153084.- МПК (2023.01) C21D 9/46 (2006.01), C21D 9/48 (2006.01), C23C 14/00, C23C 14/06 (2006.01), C23C 14/22 (2006.01).- Заявка U 2022 04282 (11.11.2022).- Опублікований 17.05.2023, бюл. №20.- Чинний з 18.05.2023.	Копилець І.А., Малихін С.В., Девізенко О.Ю., Федченко Г.В., Суравицький С.В.
2			
Кількість вітчизняних наукових проєктів та грантів, за якими працював претендент		як науковий керівник	як виконавець
		1	9
Кількість закордонних наукових проєктів та грантів, за якими працював претендент		як науковий керівник	як виконавець
			1

\* Відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання». Послідовність розміщення публікацій від новіших до давніших у порядку: монографії (окремо вказати одноосібні та колективні), підручники/посібники/методики тощо (вказати які саме); статті, матеріали конференцій/тези, патенти (вказати країну), інші публікації.