

„ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор Інституту проблем матеріалознавства
ім. І. М. Францевича НАН України
чл.-кор. НАН України



Геннадій БАГЛЮК

2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову і практичну цінність дисертаційної роботи здобувача відділу № 25 Фізико-хімії і технології тугоплавких оксидів Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України Макудери Аліни Олександрівни на тему « ZrO_2 , стабілізований рядом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, як основа для створення новітніх термобар'єрних покриттів», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія.

ВИТЯГ

з протоколу № 3 засідання розширеного наукового семінару відділу № 25
Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України
від 26.06.2025 р.

ПРИСУТНІ:

д.х.н. О.В. Дунік – голова засідання,
к.х.н. Я.С. Тищенко – секретар засідання
чл.-кор. НАН України, д.т.н. Г.А.Баглюк, академік НАН України, д.
фіз-мат. наук С.О. Фірстов, академік НАН України, д.т.н А.В. Рагуля,
чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.Б.Згалат-Лозинський, д.х.н., с.н.с.
Лакиза С.М., д.т.н., с.н.с. М.І. Гречанюк, д.х.н., с.н.с. В.П. Красовський,
д.х.н., с.н.с. М.В. Буланова, д.х.н., професор А.А. Бондар, д.х.н. ст.
дослідник Ю.В. Фартушна, д.х.н., професор В.С. Судаєв, к.х.н.,
доцент О.О. Васильєв, к.т.н. І.А. Морозов, к.т.н. Т.М. Павлиго, к.т.н.,
с.н.с. О.І. Хоменко, к.х.н. О.В. Дуров, к.т.н. Ященко О.М., к.х.н.
О.В.Чудінович, к.х.н. В.П. Редько, к.т.н., с.н.с. О.І., Толочин, н.с.
О.І. Оліфан, н.с.О.К. Рубан, н.с. Н.О. Красовська, н.с. Т.В. Стецюк, н.с.
І.О. Полішко, пров. інж. Р.С. Лісок.

СЛУХАЛИ:

Доповідь наукового співробітника відділу № 25 Інституту проблем матеріалознавства А.О. Макудери на тему « ZrO_2 , стабілізований рядом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, як основа для створення новітніх термобар'єрних покриттів», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія.

Науковий керівник роботи – д.х.н., с.н.с. відділу № 25 С.М. Лакиза.

Тему дисертації « Взаємодії в системах $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Zr(Hf)O}_2\text{--Sc}_2\text{O}_3$ » затверджено на засіданні Вченої ради Інституту проблем матеріалознавства НАН України 25 грудня 2013 року, протокол №10. (02.00.04, Науковий керівник – д.х.н. Лакиза С.М.).

Тему дисертації « ZrO_2 , стабілізований рядом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, як основа для створення новітніх термобар'єрних покриттів» затверджено на засіданні Вченої ради Інституту проблем матеріалознавства НАН України 13 лютого 2024 року, протокол №2. (02.00.04, Науковий керівник – д.х.н. Лакиза С.М.).

ЗАПИТАННЯ ПОСТАВИЛИ: академік НАН України, д.т.н А.В. Рагуля, д.х.н., професор В.С. Судацкова, д.х.н., с.н.с. В.П. Красовський, д.х.н., професор А.А. Бондар, к.т.н. І.А. Морозов, к.х.н., доцент О.О. Васильєв, к.х.н.Дуров О.В.

В ОБГОВОРЕННІ ВЗЯЛИ УЧАСТЬ: д.х.н., професор В.С. Судацкова, д.х.н., с.н.с. В.П. Красовський, академік НАН України, д.т.н А.В. Рагуля, к.т.н. І.А. Морозов, к.х.н., доцент О.О. Васильєв, д.х.н., професор А.А. Бондар, д.х.н., с.н.с. О.В.Дуднік.

З РЕЦЕНЗІЄЮ ВИСТУПИЛА д.х.н., с.н.с. М.В. Буланова

УХВАЛИЛИ: прийняти такий висновок щодо дисертаційної роботи

1. Актуальність даної роботи

Термобар'єрні покриття (ТБП) застосовують для забезпечення тривалої експлуатації газотурбінних двигунів (ГТД) вище температури плавлення суперсплавів, з яких вироблено їх конструктивні елементи гарячої зони. Сучасні ТБП, які наносять на лопатки, складаються з внутрішнього жаростійкого металевого шару і зовнішнього керамічного шару, між якими в процесі експлуатації виростає перехідний шар термічно вирошеного оксиду алюмінію (ТВО). Керамічне верхнє покриття забезпечує термоізоляцію поверхні та зазвичай складається з оксидного матеріалу з мінімальною теплопровідністю. Вимоги, що висуваються до цього матеріалу наступні: низька теплопровідність $<2 \text{ Вт/(мК)}$; узгодження коефіцієнта термічного розширення (КТР) із металеву поверхню; відсутність фазових переходів між кімнатною та робочою температурами; стійкість до спікання за високої температури; ерозійна стійкість.

Найбільш детально вивченим та використовуваним матеріалом верхнього шару ТБП є твердий розчин на основі ZrO_2 , стабілізованого 6-8 (мас. %) Y_2O_3 (YSZ), який характеризується низькою теплопровідністю ($2,1 \text{ Вт/м.К}$) та відносно високим КТР ($11 \cdot 10^{-6}/\text{К}$), відсутністю взаємодії з Al_2O_3 , термостійкістю, високою в'язкістю руйнування та фазовою стабільністю до 1200°C .

Розробка нових матеріалів з нижчою теплопровідністю і вищою термічною стійкістю, ніж у YSZ, для керамічного шару ТБП необхідне для збільшення ресурсу експлуатації стаціонарних і авіаційних ГТД, оскільки у високопотужних ГТД наступного покоління передбачається зростання робочої температури до $1500\text{--}1600^\circ\text{C}$. Пошук матеріалів наступного покоління сфокусовано на трьох- чотирьох- компонентних і більш складних оксидних системах, що вміщують ZrO_2 та оксиди рідкісноземельних елементів, створенні високоентропійної або складно – композиційної оксидної кераміка на основі середньоентропійних (нееквімолярних) композицій. Досліджують також наноструктурні покриття комплексного складу.

Для мікроструктурного проектування складно-композиційного керамічного шару ТБП на основі ZrO_2 представляють інтерес концентрати оксидів РЗЕ природного походження, які утворюються в процесі переробки апатитових руд. Одночасне застосування оксидів РЗЕ, катіони яких мають різний розмір і валентність, призводить до утворення твердого розчину з високим ступенем дефектності структури, що, в свою чергу, забезпечує низьку теплопровідність матеріалів. Крім цього, використання нерозділених концентратів оксидів РЗЕ для стабілізації ZrO_2 може істотно здешевити технологічний процес виготовлення керамічного шару ТБП.

Науковою основою для створення матеріалів керамічного шару ТБП на основі ZrO_2 і концентрату оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи з необхідним комплексом властивостей є діаграми стану відповідних оксидних систем. Взаємодія оксидів ітрію та церію з оксидами лантановидів викликає окремий інтерес, оскільки тверді розчини на основі ZrO_2 , стабілізованого Y_2O_3 та CeO_2 , широко використовують в високотехнологічній кераміці.

Визначення особливостей фазової взаємодії у системах, що вміщують ZrO_2 і компоненти концентрату оксидів РЗЕ природного походження, знання основних фізико-хімічних властивостей (фазового складу, морфології, питомої поверхні та ін.) нанодисперсних порошків та матеріалів на основі комплексно стабілізованого ZrO_2 актуальне для створенні новітніх складно-композиційних матеріалів керамічного шару ТБП з температурою експлуатації вище $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, призначених для збільшення строку експлуатації, підвищення коефіцієнту корисної дії ГТД і зменшення забруднення довкілля.

2. Наукова новизна отриманих результатів.

- Вперше зроблено прогноз діаграм стану систем $Ln^I_2O_3-Ln^{II}_2O_3$ (Ln^I , Ln^{II} – лантановиди ітрієвої Tb–Lu підгрупи) та $CeO_2-Ln_2O_3$ (Ln =лантановиди ітрієвої підгрупи Tb–Lu, Y). Передбачено, що ці оксиди утворюють між собою безперервні ряди твердих розчинів, які складаються з областей з різною структурою оксидів лантановидів різної протяжності в залежності від температури.

- Вперше побудовано ізотермічні перерізи діаграм стану систем $ZrO_2-Dy_2O_3-Er_2O_3$, $ZrO_2-Dy_2O_3-Yb_2O_3$, $ZrO_2-Er_2O_3-Yb_2O_3$, $Dy_2O_3-Er_2O_3-Yb_2O_3$ при $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Визначено, що фаза на основі F- ZrO_2 існує в інтервалі 10–(30–50) мол.% оксиду РЗЕ.

- Вперше встановлено фазові рівноваги у системі $ZrO_2-Dy_2O_3-Er_2O_3-Yb_2O_3$, при $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ перспективної для ресурсу експлуатації ТБП.

- Вперше побудовано ізотермічний переріз діаграми стану системи $Al_2O_3-ZrO_2-Sc_2O_3$ при $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Встановлено, що внаслідок утворення сполуки $ScAlO_3$ в ТБП на основі матеріалів вказаної системи необхідне нанесення проміжного шару для запобігання взаємодії з шаром ТВО.

- Вперше вивчено фізико-хімічні властивості складно-композиційних порошків і матеріалів, при виготовленні яких застосовано нанокристалічні порошки M- ZrO_2 , одержані двома методами. Показано, що при $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ фазові переходи ZrO_2 і збільшення розміру первинних частинок в порошках практично завершуються після витримки протягом 10 год. Особливості варіювання питомої поверхні порошків при $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ визначаються еволюцією структурних складових.

- Вперше встановлено, що складно-композиційні матеріали, що вміщують концентрат оксидів РЗЕ природного походження в процесі термічної обробки при $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідають вимогам фазової стабільності і відсутності спікання, що пред'являються до керамічного шару ТБП.

- Вперше визначено, що в залежності від терміну спікання при $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вмісту ВК теплопровідність складно-композиційних матеріалів на основі ZrO_2 (10-30 мас. % концентрату оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи) в інтервалі 313–673 К ($40\text{--}400^{\circ}\text{C}$) змінюється від $0,65\text{ Вт м}^{-1}\text{ К}^{-1}$ – $1,6\text{ Вт м}^{-1}\text{ К}^{-1}$. Встановлено, що теплопровідність матеріалу при вмісті 30 мас. % концентрату на $\sim 50\%$ нижча теплопровідності YSZ.

- Вперше досліджено мікроструктуру та стійкість до термоциклювання двошарового ТБП метал/складно-композиційна кераміка, нанесеного за один технологічний цикл на лопатки першої ступені турбіни, що виготовляють на ЗМКБ «Прогрес», методом EB-PVD, складно – композиційного керамічного шару ТБП. Визначено, що термоциклічна довговічність покриття на 16 % вища, ніж у стандартного покриття YSZ.

Достовірність та обґрунтованість результатів та висновків забезпечується комплексним підходом до вирішення поставлених завдань з використанням сучасних методів фізико – хімічного аналізу: рентгено-фазовий аналіз (РФА), диференційно-термічний аналіз (ДТА),

скануюча електронна мікроскопія (SEM), низькотемпературна адсорбція/десорбція азоту (метод BET); мікрорентгеноспектральний аналіз; визначення теплопровідності матеріалів в інтервалі 313–673 K (40–400°C) за методом динамічного калориметра за допомогою вимірника ИТ-λ-400.

3. Особистий внесок здобувача

Вибір напрямку досліджень, постановка мети і задач досліджень проведено автором разом з науковим керівником – д.х.н. Лакизою С. М. Дисертантом самостійно проведено літературний пошук та аналіз одержаної інформації, виконано обробку первинних даних та сукупності одержаних результатів. Здобувач брала безпосередню участь в одержанні всіх представлених у дисертації результатів. Виготовлення складно – композиційних сумішей і зразків для дослідження проведено разом з н. с. Рубан О. К. (ІПМ НАН України); ДТА проведено разом з к.х.н. Павліковим В.М. (ІПМ НАН України); РФА разом з к.х.н. Редько В.П. та Корічевим С.Ф. (ІПМ НАН України); визначення питомої поверхні – разом з н.с. Бабутиною Т.Є. (ІПМ НАН України); електронну мікроскопію проведено разом з к.ф.-м.н. Скориком М. А. (ІМФ ім. Г. В. Курдюмова НАН України); визначення теплопровідності проведено разом з д.х.н. Горбачуком М. П і к.х.н. Копань А.Р. (ІПМ НАН України), характеристики покриттів визначено разом з д.т.н. Гречанюком М.І. (ІПМ НАН України). Одержані результати обговорено з науковим керівником д.х.н. Лакизою С. М та д.х.н. Дуднік О. В.

4. Практична цінність роботи:

Діаграми стану систем $\text{Ln}^{\text{I}}_2\text{O}_3\text{--Ln}^{\text{II}}_2\text{O}_3$ ($\text{Ln}^{\text{I}}, \text{Ln}^{\text{II}}$ – лантаноїди ітрієвої Tb–Lu підгрупи), $\text{Ce}_2\text{O}_3\text{--Ln}_2\text{O}_3$ (Ln – лантаноїди ітрієвої підгрупи Tb–Lu, Y), побудовані ізотермічні перерізи діаграм стану систем $\text{ZrO}_2\text{--Dy}_2\text{O}_3\text{--Er}_2\text{O}_3$, $\text{ZrO}_2\text{--Dy}_2\text{O}_3\text{--Yb}_2\text{O}_3$, $\text{ZrO}_2\text{--Er}_2\text{O}_3\text{--Yb}_2\text{O}_3$, $\text{Dy}_2\text{O}_3\text{--Er}_2\text{O}_3\text{--Yb}_2\text{O}_3$, $\text{ZrO}_2\text{--Dy}_2\text{O}_3\text{--Er}_2\text{O}_3\text{--Yb}_2\text{O}_3$ при 1400 °C, дозволили вибрати склад мішеней для нанесення ТБП методом EB-PVD, яке показало на 16 % вищий ресурс експлуатації, ніж стандартне покриття YSZ. Проведено порівняльні дослідження властивостей новітнього і стандартного YSZ покриттів в двошарових ТБП, осаджених методом EB-PVD. Визначено перспективність використання концентратів оксидів РЗЕ природного походження при створенні нових ТБП з підвищеними температурою експлуатації та строком служби, що дозволить підвищити надійність ГТД, збільшити їх ККД, економити паливе і забезпечити більш повне його згоряння, що знижує забруднення довкілля. Проведені дослідження необхідні для застосування у оборонно-промисловому комплексі для розвитку машинобудівної галузі, авіа- та суднобудування.

Наукова зрілість дисертанта

Макудера Аліна Олександрівна працює у відділі 25 фізико-хімії і технології тугоплавких оксидів Інституту проблем матеріалознавства НАН України з 2011 року на посаді інженера II категорії, з 2014 на посаді молодшого наукового співробітника; з 2024р по теперішній час на посаді наукового співробітника. Закінчила Аспірантуру ІПМ НАН України (2011 – 2014 рр.) за спеціальністю 021.00.04 - фізична хімія. У 2022 році отримала стипендію НАН України для молодих вчених. Основний напрямок досліджень: дослідження фазових рівноваг в багатокомпонентних оксидних системах вищої вогнетривкості, мікроструктурне проектування матеріалів на основі оксидів цирконію та РЗЕ.

За час своєї науково-дослідницької діяльності А.О. Макудера набула високого рівня кваліфікації, добре володіє різноманітними методами фізико – хімічного аналізу для побудови діаграм стану багатокомпонентних тугоплавких оксидних систем, дослідження фізико-хімічних властивостей порошків, опанувала сучасні методи обробки одержаних результатів. У процесі наукової діяльності Макудера А.О. зарекомендувала себе як добре підготовлений науковий співробітник, вирізняється високою вимогливістю щодо точності і надійності отриманих результатів, високою працездатністю та схильністю до теоретичної обробки результатів досліджень, проявила себе активним, досвідченим, відповідальним науковцем з високим рівнем теоретичної підготовки. Може самостійно ставити і вирішувати складні завдання в області

наукових інтересів. Постійно працює над підвищенням кваліфікації, проявляє хороші організаційні здібності.

Макудера А.О. – член організаційного комітету «Українського матеріалознавчого товариства»

Матеріали дисертації викладено в повному обсязі у 37 друкованих працях, з них 10 статей (з яких 5 віднесено до Q3, проіндексованих у базах Scopus та Web of Science у виданнях держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку (США та ОК), 3 опубліковано у фахових виданнях України (категорія Б), 2 додаткові статі) і 27 тез доповідей на наукових конференціях. Підготовка публікацій проведена як самостійно, так і у співпраці з іншими дослідниками.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті

1. Dudnik E.V., Lakiza S.N., Hrechanyuk I.N., Ruban A.K., Redko V.P., Marek I.O., Shmibelsky V.B., **Makudera A.A.**, Hrechanyuk N.I. Thermal barrier coatings based on ZrO_2 solid solutions. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2020. – Vol. 59. – 3-4. – С. 179-200 (*Особистий внесок здобувача: обробка літератури, підготовка статті до друку*).
2. Dudnik O. V., Lakiza S.N., Grechanyuk I.N., Redko V.P., **Makudera A.A.**, Glabay M.S., Marek I.O., Ruban O.K., Grechanyuk M.I. Composite ceramics for thermal barrier coatings produced from ZrO_2 doped with yttrium-subgroup rare-earth metal oxides. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2020. – Volume 59, P 672–680. (*Особистий внесок здобувача: обробка результатів дослідження, підготовка статті до друку*).
3. O.V. Dudnik. S.M. Lakiza, M.I. Grechanyuk, V.P. Red'ko, I.O. Marek, **A.O. Makudera**, V.B. Shmibelsky, and O.K. Ruban. Composite Ceramics for Thermal-Barrier Coatings Produced from Zirconia Doped with Rare Earth Oxides. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2021. – Vol. 61. – P. 441–450. (*Особистий внесок здобувача: обробка результатів дослідження, підготовка статті до друку*).
4. **A.O. Макудера**, С.М. Лакиза. Взаємодія в системах $Y_2O_3 - Ln_2O_3$ ($Ln = Tb - Lu$). Успіхи матеріалознавства. 2021. – Вип.2. – С.72 – 78. (*Особистий внесок здобувача: аналіз фазових рівноваг, підготовка статті до друку*).
5. Dudnik O. V., S. M. Lakiza, I. O. Marek, V. P. Red'ko, **A. O. Makudera**, O. K. Ruban. Advanced Approaches for Producing Nanocrystalline and Fine-Grained ZrO_2 -Based Powders (Review) I. Mechanical, Physical, and Chemical Methods (Excluding 'Wet' Chemistry). Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2024. – Vol. 63. – P. 318–342. (*Особистий внесок здобувача: обробка літератури, підготовка статті до друку*).
6. Dudnik O.V., S.M. Lakiza, I.O. Marek, V.P. Red'ko, **A.O. Makudera**, O.K. Ruban. Advanced Approaches for Producing Nanocrystalline and Fine-Grained ZrO_2 -Based Powders (Review) II. Wet Chemistry Methods: Coprecipitation, Sol–Gel Process, and Pechini Method. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2024. – 63(7-8). – P. 1-18. (*Особистий внесок здобувача: обробка літератури, підготовка статті до друку*).
7. **Макудера А.О.**, С.М. Лакиза, А.Р. Копань, В.Б. Шмибельський Теплопровідність складно-композиційних матеріалів на основі ZrO_2 для створення новітніх теплозахисних покриттів. Композиційні матеріали. Збірник матеріалів XIV міжнародної науково-практичної WEB-конференції. секція 3. Керамічні та склоподібні матеріали. 24-25 квітня 2025р. Київ, Україна – С. 217-225. (*Особистий внесок здобувача: синтез зразків, обробка результатів дослідження, термічна обробка зразків, підготовка статті до друку*).
8. **A. O. Макудера**, С. М. Лакиза Дуднік О.В. Системи $SeO_2 - Ln_2O_3$ ($Ln =$ лантаніди ітрієвої підгрупи, Y_2O_3). УСПІХИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА. 2023. – № 7. – С. 61–68. (*Особистий внесок здобувача: аналіз фазових рівноваг, підготовка статті до друку*).

9. **Макудера А.О.** Надструктура $\text{Sc}_4\text{Zr}_3\text{O}_{12}$ в системі $\text{ZrO}_2\text{—Sc}_2\text{O}_3$ / Макудера А.О. Збірник наукових праць ПАТ УкрНДІвогнетривів ім. АС Бережного. – 2015. – № 115. – С. 111-114. (*Особистий внесок здобувача: синтез зразків, 25 обробка результатів дослідження, термічна обробка зразків, підготовка статті до друку*).
10. О.В. Дуднік, С.М.Лакиза, І.О.Марек, В.П.Редько, **А.О.Макудера**, О.К.Рубан. Сучасні методи одержання нанокристалічних та тонкодисперсних порошків на основі ZrO_2 (Огляд). III. Методи “мокрої” хімії: гідротермальний, сольвотермальний, синтез у суперкритичній воді. Порошкова металургія. – 2024. –№ 09/10. – С. 94–115. (*Особистий внесок здобувача: аналіз літератури, підготовка статті*).

Тези доповідей

11. **Makudera Alina**, Lakiza S.M., Dudnik O.V. Composite ceramics for ZrO_2 -based thermal barrier coatings. Тези 7th International Materials Science Conference HighMatTech-2021. October 5-7, 2021 Kyiv, Ukraine. P. 23. *Особистий внесок здобувача: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма)*.
12. **Alina Makudera**, Sergij Lakiza, Olena Dudnik, Viktor Red'ko, Tatiana Babutina. Features of the formation of solid solutions based on ZrO_2 in the presence of complex stabilizer. Тези 8th International Materials Science Conference HighMatTech-2023. October 2-6, 2023 Kyiv, Ukraine. P. 74. *Особистий внесок здобувача: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма)*.
13. Alla Kopan', Mykola Gorbachuk, Sergij Lakiza, **Alina Makudera**. Thermophysical Properties of ZrO_2 -based Ceramics Doped With A Mixture Of Yttrium-Subgroup Rare-Earth Metal Oxides. Тези доповідей 8^h International Samsonov conference “MATERIALS SCIENCE OF REFRACTORY COMPOUNDS”/ 24-27.05.2022 в м. Київ. С. 55. *Особистий внесок здобувача: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, (заочна форма)*.
14. **Макудера А.О.**, С.М. Лакиза, О.В. Дуднік, М.І. Гречанюк Особливості формування твердого розчину на основі ZrO_2 в присутності комплексного стабілізатору. Тези III-Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту –2023». 1-3 червня 2023р, Вінниця, Україна, С. 271. *Особистий внесок здобувача: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма)*.
15. **Макудера А. О.**, Шмибельский В. Б. «фазові рівноваги в двокомпонентних системах $\text{LnI}_2\text{O}_3\text{—LnII}_2\text{O}_3$ ». Тези доповідей XXI Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні проблеми хімії», 20-22 травня 2020, Київ, с. 212. *Особистий внесок здобувача: обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма)*.
16. **Макудера А.О.**, Редько В.П., Лакиза С.М. «Нові теплобар'єрні покриття на основі комплексно легованого ZrO_2 . Тези доповідей IV Міжнародної (XIV Української) наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічні проблеми сьогодення» (ХПС-2021), яка відбудеться 23–25 березня 2021 року. С.106. *Особистий внесок здобувача: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма)*.
17. **Макудера А. О.**, Лакиза С. М., Дуднік О. В. «взаємодія між оксидами лантановидів Y підгрупи». Тези доповідей XIII Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів "Хімічні Каразінські читання - 2021" (ХКЧ'21). 20–21 квітня 2021 року в м. Харків, Україна. С. 129. *Особистий внесок здобувача: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (очна форма)*.
18. E.V. Dudnik, S.N. Lakiza, I.N. Grechaniuk, V.B. Shmybelskyi, A.A.Makudera, A.K. Ruban, V.P. Redko, N.I. Grechanyuk. Thermally barrier coatings based on complex alloyed ZrO_2 . Тези

- доповідей 7th International Samsonov conference “MATERIALS SCIENCE OF REFRACTORY COMPAUNDS”. 25-28.05.2021 в м. Київ. С. 79. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
19. **Makudera A. O.**, Lakiza S. M., Dudnik O. V., Grachniuk M. I., Ruban O. K., Red'ko V. P., Shmybelskii V.B. “Complex ZrO₂ stabilizers for creating modern thermal barrier coatings for gas turbine engine blades of various applications”. Тези доповідей 7th International Samsonov conference “MATERIALS SCIENCE OF REFRACTORY COMPAUNDS”/ 25-28.05.2021 в м. Київ. С. 42. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 20. **Макудера А.О.**, С.М. Лакиза, О.В. Дуднік «Термобар'єрне покриття на основі складно-композиційних керамічних матеріалів». Матеріали VI Конференції - нетворкінгу «Реальність та перспективи матеріалознавства»./ 25-27.06. 2021 в Центр з проведення літніх наукових шкіл та відпочинку Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України. С. 25. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (очна форма).
 21. **Makudera Alina**, Lakiza S.M., Dudnik O.V. «Composite ceramics for ZrO₂-based thermal barrier coatings». Тези 7th International Materials Science Conference HighMatTech-2021. October 5-7, 2021 Kyiv, Ukraine. P. 23. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (очна форма).
 22. **Alina Makudera**, Sergij Lakiza, Olena Dudnik. Interaction In Cerium Oxide (+3) And Oxides REE Of Yttrium Subgroup Systems MSRC-2022, 24-27 May 2022, Kyiv, Ukraine, p. 26. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 23. **Alina. Makudera**, Sergij Lakiza, Olena Dudnik. Interaction in cerium oxide (+3) and oxides of yttrium subgroup systems. Ceramics in Europe, Krakow, 2022, P. 233. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 24. Sergij Lakiza, Alina Makudera, Olena Dudnik. Hypothical CeO₂-Ln₂O₃ phase diagrams. DSEC VII Directionally Solidified Eutectics Conference -VII. 25-27 May 2023. P. 41. *Особистий внесок здобувача*: обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 25. Alina Makudera, Sergej Lakiza, Ollena Dudnik, Viktor Red'ko. The influence of the ZrO₂ powder dispersion on the solid solutions formation during complex stabilization. IXth International Samsonov conference “Materials Science of refractory compounds” (MSRC-2024), May 27-30, 2024. Kyiv, Ukraine. P. 53. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 26. **Макудера А.О.**, Лакиза С.М., Дуднік О.В., Редько В.П., Шмибельський В.Б., Гречанюк М.І.. Складно-композиційний матеріал на основі гідротермального порошку ZrO₂ X Міжнародна науково-практична конференція «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування» (TERMM-2025). 27-30.05 2025. Луцьк, Україна. С. 35 *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 27. А.О. Макудера, О.В. Дуднік, С.М. Лакиза, В.П. Редько, М.І. Гречанюк. Складно-композиційний матеріал на основі нанокристалічного порошку ZrO₂. III Міжнародна науково-технічна конференція "ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТРАНСПОРТУ" 1-3 червня 2023 року. Вінниця, Україна. С/

- 250 *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
28. **Макудера А. А.**, Глабай М.С, Лакиза С.М. «Закономірності взаємодії в системі $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--Sc}_2\text{O}_3$ в області, багатій на Al_2O_3 ». ПАТ «Науково-дослідний інститут вогнетривів ІМ. А.С. Бережного», Харків, 2014. С. 44-45. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма). 27-30.05 2025 р. Луцьк, Україна.
 29. **А. О. Makudera**, S. M. Lakiza «Phase diagram of the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--Sc}_2\text{O}_3$ system for creation of new materials». International research and practice conference: NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS, NANO-2015, Lviv, Ukraine 26-29 august 2015. P.516. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 30. **Макудера А. О.**, Лакиза С. М. «Взаємодія в системі $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Sc}_2\text{O}_3$ ». VIII міжнародної конференції молодих вчених та спеціалістів ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРИДНЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, 20–22 травня 2015 р. у смт. Ворзель, Київська обл., Україна. – С. 276. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (очна форма).
 31. **Макудера А. О.**, Лакиза С. М. «Закономірності взаємодії в системі $\text{ZrO}_2\text{--Sc}_2\text{O}_3$ ». VII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології», 27-29 квітня 2015 р., у м. Дніпропетровськ, Україна. – С. 37-38. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 32. **Макудера А. О.**, Лакиза С. М. «Діаграма стану системи $\text{ZrO}_2\text{--Sc}_2\text{O}_3$ ». Тези у збірнику праць щорічної Міжнародної науково-технічної конференції “Технологія та застосування вогнетривів і технічної кераміки у промисловості” 28–29 квітня 2014р. у ПАТ „УКРНДІВ ІМЕНІ А.С. БЕРЕЖНОГО”, м. Харків, Україна. – С. 27-28. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 33. **Макудера А. О.**, Лакиза С. М., Дуднік О. В. «Ізотермічний переріз діаграми стану системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--Sc}_2\text{O}_3$ при 1300 °С». Міжнародної науково-технічної конференції “Технологія та застосування вогнетривів і технічної кераміки у промисловості”, 11-12 травня 2016 р, м. Харків, Україна. С. 35-36. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 34. **Makudera A.A.**, Lakiza S.M. «Interaction in the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--Sc}_2\text{O}_3$ system». Тези доповідей 7th International Samsonov conference “MATERIALS SCIENCE OF REFRACTORY COMPOUNDS”/ 25-28.05.2021 в м. Київ. С. 125. *Особистий внесок здобувача*: синтез нанокристалічних порошків, приготування зразків, обробка результатів досліджень, підготовка тез до друку (заочна форма).
 35. Андриевская Е. Р., Корниенко О. А., Макудера А. А., Пушная Е. А. «Взаимодействие оксида церия с оксидом эрбия». III Международная конференция **High Mat Tech**, посвященная 100-летию со дня рождения академика НАН Украины Валентина Никифоровича Еременко. 3-7 октября, 2011 г., Киев, Украина. – С. 128.
 36. Kornienko O. A., Makudera A. A., Andrievskaya E. R. « Interaction cerium oxide with erbia at 1100 °C». “The Eighth Students’ Meeting”, SM-2011 **Processing and Application of Ceramics** November 16-18, 2011, Novi Sad, Serbia, eds. by V.V. Srdic, J. Ranogajec, Faculty of Technology Universit of Novi Sad, Serbia. - P. 38.
 37. Андриевская Е. Р., Корниенко О. А., Макудера А. А., Пушная Е. А. «Фазовые равновесия и перспективные материалы в системе $\text{CeO}_2\text{--Er}_2\text{O}_3$ ». IV Международная (V Всеукраинская) конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по химии и химической технологии, ХТФ КПИ. 4-6 апреля 2012, Киев, Украина, 2012. – С. 19.

ПОСТАНОВА СЕМІНАРУ:

В результаті проведеного обговорення представлених результатів дисертаційного дослідження і зазначених рецензентом висновків встановлено, що

1. Дисертаційна робота Макудера Аліни Олександрівної на тему « ZrO_2 , стабілізований рядом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, як основа для створення новітніх термобар'єрних покриттів» є завершеним і завершеною в рамках поставлених задач науковим дослідженням, за актуальністю, науковим рівнем та практичним значенням відповідає всім вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидатахімічних наук.

2. Робота рекомендується до захисту на Спеціалізованій Вченій Раді Д 26.207.02 при Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія.

Голова наукового семінару
завідувач відділу 25 фізико – хімії та
технології тугоплавких оксидів,
доктор хімічних наук,с.н.с.



Олена ДУДНІК

Вчений секретар семінару
кандидат хімічних наук



Яна ТИШЕНКО