



Національна академія наук України
Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича



Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни

Мікроструктурне проектування сучасних оксидних матеріалів Microstructural designing of advanced oxide materials

Рівень вищої освіти	<i>третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	10 «Природничі науки»
Спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
Освітня програма	Прикладна фізика та наноматеріали
Статус дисципліни	дисципліна вільного вибору
Форма навчання	денна (очна), он-лайн/офф-лайн
Рік підготовки, семестр	2 курс навчання, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити ECTS, 90 годин
Семестровий контроль/ контрольні заходи	залік
Розклад занять	лекція – раз на тиждень (32 години); практика/семінар/консультації – 1 раз на два тижні (16 годин); самостійна робота 41 год., у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 20 год, залік – 1 год
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про викладачів	д.х.н., с.н.с., зав.від. Олена Вікторівна Дуднік dudnikelena@ukr.net д.х.н., ст. досл., зав.від. Корнієнко Оксана Анатоліївна o.korniienko@ipms.kyiv.ua
Розміщення курсу	Google Classroom; доступ за запрошенням викладача

Програма навчальної дисципліни

1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Курс розроблено таким чином, щоб надати слухачам знання, необхідні для проведення наукових досліджень в рамках виконання дисертаційної роботи. Метою і завданням навчальної дисципліни є формування фундаментальних знань для

цілеспрямованого здійснення мікроструктурного проектування матеріалів різноманітного призначення з необхідним рівнем властивостей. Науково обґрунтований вибір хімічного та фазового складу вихідних порошків, визначення основних фізико-хімічних закономірностей їхньої самоорганізації в процесі одержання, термічної обробки, формування, спікання є актуальними задачами, що вирішують науковці при створенні матеріалів з підвищеними фізико-механічними характеристиками.

Предмет освітньої компоненти - теоретичні основи і практичні навички з мікроструктурного проектування новітніх високотехнологічних керамічних оксидних матеріалів різноманітного призначення.

Метою освітньої компоненти є формування у здобувачів вищої освіти (з.в.о.) рівня PhD компетентностей:

Інтегральна компетентність:

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері прикладної фізики та наноматеріалів, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до освоєння і системного аналізу через наукове сприйняття і критичне осмислення нових знань.

ЗК02. Здатність до критичного аналізу і креативного синтезу нових ідей.

ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність до оприлюднення наукових результатів перед академічною аудиторією та громадськістю як на національному, так і на міжнародному рівні.

ЗК05. Здатність працювати в команді, мотивувати інших у досягненні поставленої мети, формувати позитивні відношення з колегами.

ЗК06. Здатність оцінювати соціальну значимість результатів своєї діяльності, бути відповідальним громадянином, усвідомлювати рівні можливостей та гендерні проблеми.

ЗК07. Здатність дотримуватися етичних норм та авторського права при проведенні наукових досліджень, діяти на основі принципів академічної доброчесності, а також ставитися із повагою до національних та культурних традицій, способів роботи і мислення інших.

Фахові компетентності:

ФК01. Здатність самостійно здійснювати наукову діяльність у галузі прикладної фізики з використанням новітніх наукових теорій, методів та інноваційних технологій.

ФК02. Здатність розвивати теоретичні засади, створювати і застосовувати сучасні об'єкти і процеси прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі прикладної фізики та наноматеріалів з урахуванням міжгалузевих зв'язків для забезпечення потреб у високоефективних матеріалах, енерго- та ресурсозберігаючих технологіях.

ФК04. Здатність переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику та реалізувати проекти, включаючи власні дослідження, в сфері прикладної фізики та наноматеріалів та споріднених галузях.

ФК05. Спроможність спілкуватись в галузі прикладної фізики та наноматеріалів в діалоговому режимі в різномовному середовищі для ефективного публічного представлення та захисту отриманих наукових результатів на вітчизняних та міжнародних наукових форумах, конференціях і семінарах.

ФК07. Соціальна відповідальність за результати прийняття стратегічних технічних рішень і впровадження нових технологій і матеріалів з огляду на їх вплив на навколишнє середовище.

ФК09. Здатність до генерації нових ідей, самостійного планування та здійснення наукової діяльності, адаптації та впровадження інноваційних технологій з урахуванням експлуатаційних вимог.

Програмні результати навчання. Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

РН01. Проявляти наукові погляди та підходи при оцінюванні варіантів створення нових перспективних матеріалів з заданим рівнем властивостей.

РН02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі прикладної фізики та наноматеріалів бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

РН03. Інтегрувати існуючі методики та методи досліджень та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.

РН04. Вміти визначити об'єкт і суб'єкт, предмет досліджень, використовуючи гносеологічні підходи до розв'язання наукових та технічних проблем.

РН05. Описати закономірності та принципи виготовлення і застосування сучасних багатофункціональних матеріалів (особливо наноматеріалів) у виробничому комплексі.

РН09. Застосовувати у науковій та практичній діяльності провідні тенденції, ключові напрями та перспективи розробки нових матеріалів різної природи, основи сучасних технологій виготовлення конструкційних і функціональних матеріалів, «розумних» та біо-матеріалів, матеріалів спеціального (оборонного) призначення, з подовженим строком експлуатації та для відновлюваних джерел енергії.

РН11. Використовувати сучасні інформаційні джерела національного та міжнародного рівня для оцінки стану вивченості об'єкту досліджень і актуальності наукової проблеми.

РН12. Демонструвати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з прикладної фізики та наноматеріалів.

РН18. Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

РН19. Знайти оригінальне інноваційне рішення, направлене на розв'язання конкретної науково-технічної проблеми.

2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою

Перелік освітніх компонент, знань та умінь, володіння якими необхідні аспіранту для успішного засвоєння освітньої компоненти:

Пререквізити:	
Фізико – хімічні основи розробки нових матеріалів та технологічних	Для вивчення курсу аспіранти потребують базових знань зі спеціальних дисциплін (глибинні знання зі спеціальності) та знань з дисциплін, що розвивають загальнонаукові компетентності, які вивчають на першому та другому році

<i>процесів (теоретична частина та застосування до систем металів)</i>	<i>навчання в аспірантурі.</i>
<i>Основи наноматеріалів та нанотехнологій</i>	<i>Теоретичні основи будови, властивостей і методів отримання наноструктур і наноструктурних матеріалів, достатні для самостійного подальшого проведення досліджень в цієї галузі і наступного оволодіння нанотехнологіями, та вміння вибирати методи синтезу (отримання) наноструктур, консолідації тривимірних матеріалів, отримання тонких плівок, адаптувати знання при виконанні власних дисертаційних досліджень.</i>
<i>Електронна структура та властивості твердих тіл</i>	<i>Знання електронної структури та властивостей твердих тіл є базовими та розвивають загальнонаукові компетентності здобувачів.</i>
<i>Науково-дослідна практика</i>	<i>Знання з технології та інженерії, а також дослідницькі навички, достатні для проведення досліджень з відповідного напряму.</i>
Постреквізити:	
<i>Наукова складова</i>	<i>Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.</i>

3. Зміст освітньої компоненти

Тема 1. Фізико-хімічні принципи мікроструктурного проектування матеріалів

Теоретичні основи мікроструктурного проектування матеріалів. Формула фізико-хімічного аналізу. Ієрархія структурних рівнів і структурна інженерія неорганічних матеріалів. Дисперсні системи як основа створення нових матеріалів. Правило фаз Гіббса для дисперсних систем. Синергетика і створення нових матеріалів. Процеси самоорганізації. Активний стан компонентів в технології композитів. Активація твердофазних реагентів зміною їх хімічної і термічної передісторії. Механічне активування.

Тема 2. Діаграми стану тугоплавких оксидних систем і мікроструктурне проектування матеріалів.

Науково - обґрунтований вибір складів композиційних матеріалів різного призначення. Матеріали в тугоплавких оксидних системах. Характеристика мікроструктур матеріалів на основі ZrO₂. Класи матеріалів. Мартенситні фазові перетворення як фактор підвищення характеристик міцності матеріалів на основі ZrO₂.

Тема 3. Роль методу синтезу нанокристалічних порошків на основі ZrO₂ в формуванні властивостей керамічних матеріалів.

Механічні методи - високоенергетичне розмелювання у планетарних та шарових млинах у сухому та рідкому середовищах. Фізичні методи -плазмова обробка, реактивне магнетронне розпилення, хімічне осадження з парової фази (CVD). Хімічні методи – термічне розкладання, динамічний метод, синтез горінням розчину, сонохімічний синтез,

осадження, золь – гель технологія, метод Печіні, гідротермальний, сольвотермальний, синтез у суперкритичній воді .Біологічні методи - «зелений синтез».

Тема 4. Проектування самоармованих і шаруватих матеріалів в дисперсних системах.

Фізико - хімічні аспекти проектування самоармованих матеріалів на основі ZrO_2 та Al_2O_3 . Особливості мікроструктурного проектування багатошарових композитів на основі ZrO_2 . Технологія формування багатошарових керамічних матеріалів методом шликерного лиття. Спікання. Визначення характеристик міцності спечених заготовок з різних хімічних і фазовим складом шарів. Зміна міцності симетричних шаруватих композитів в залежності від складу шарів. Застосування ефекту пластичної деформації при термічній обробці багатошарових матеріалів. Градієнтні мікрослоїсті матеріали

Тема 5 Фізико-хімічні та технологічні аспекти розробки високовогнетривких та прозорих матеріалів на основі тугоплавких оксидів цирконію, гафнію і РЗЕ.

Деякі властивості оксидів цирконію, гафнію, РЗЕ і матеріалів на їх основі. Високовогнетривкий припас для плавки і лиття тугоплавких металів і сплавів. Матеріали вакуумної техніки. Високотемпературні оксидні нагрівальні елементи опору. Прозора кераміка. Фактори розсіювання світла в прозорій кераміці. Теоретичні основи отримання прозорої кераміки. Оптичні властивості прозорої кераміки на основі твердих розчинів С-форми Y_2O_3 (Ln_2O_3) системи $HfO_2-ZrO_2-Y_2O_3$ (Ln_2O_3).

Тема 6 Створення фізико-хімічних основ синтезу нанокристалічних порошків і композиційних матеріалів функціонального та конструкційного призначення на основі Al_2O_3 .

Класифікація зміцнених матеріалів на основі Al_2O_3 . Оптимізація технології виготовлення нанокристалічних порошків на основі оксиду алюмінію системи $Al_2O_3-ZrO_2(Y_2O_3, CeO_2)$. Низькотемпературний синтез - Al_2O_3 для мікроструктурного проектування композитів системи $Al_2O_3 - ZrO_2 (Y_2O_3, CeO_2)$. Розробка методів формування заготовок виробів з нанокристалічних порошків на основі Al_2O_3 , встановлення режимів їх термічної обробки. Оптимізація методів термічної обробки композитів.

Тема 7 Мікроструктурне проектування біоінертних імплантатів на основі ZrO_2 .

Низькотемпературна деградація властивостей матеріалів на основі ZrO_2 у присутності води та вологості середовищі (старіння). Дослідження стабільності фазового складу композитів методом прискореного старіння у гідротермальних умовах.

Створення багатошарових біоімплантатів комплексного складу на основі ZrO_2 з біоактивним покриттям. Дослідження властивостей одержаних матеріалів. Високопоруваті біоімплантати з біоактивним покриттям.

Тема 8 Фізико-хімічні аспекти створення керамічного шару термобар'єрних покриттів.

Структура термобар'єрних покриттів. Роль діаграм стану у виборі складу керамічного шару. Фактори, що впливають на властивості термобар'єрних покриттів. Сучасні матеріали покриттів. Високоентропійні та складно-композиційні матеріали для термобар'єрних покриттів.

Тема 9 Фізико-хімічні аспекти створення матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 .

Умови утворення упорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 . Кристалічна структура та класифікація перовскитів. Поліморфізм оксидів рідкісноземельних елементів. Структурно-морфологічні особливості та перспективи застосування матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 .

Тема 10 Фізико-хімічні та технологічні аспекти розробки оптично прозорих матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 .

Діаграми стану як фізико-хімічна основа створення нових матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 . Вплив легуючої домішки на властивості матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 . Вплив заміщення в позиції А або в позиції В на властивості матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 .

Тема 11. Вплив методу синтезу нанокристалічних порошків на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 на формування властивостей керамічних матеріалів.

Механічні методи - високоенергетичне розмелювання. Хімічні методи – термічне розкладання, золь – гель технологія, метод Печіні, гідротермальний, сольвотермальний, мікрохвильовий синтез.

Тема 12 Фізико-хімічні та технологічні аспекти розробки оптично прозорих матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу перовскиту ABO_3 .

Прозора анізотропна кераміка. Перспективи використання зазначених матеріалів в промисловості. Порівняльна характеристика ізотропної та неізотропної кераміки.

Тема 13 Вплив магнітного поля на створення ізотропних та анізотропних текстурованих оксидних керамічних матеріалів.

Покращенні властивості полікристалічної кераміки з високим ступенем контролю мікроструктури з використанням сильного магнітного поля. Магнітне шликерне лиття. Магнітний момент рідкісноземельних елементів.

Тема 14 Фізико-хімічні аспекти створення матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу пірохлору $A_2B_2O_7$.

Умови утворення упорядкованої фази зі структурою типу пірохлору $A_2B_2O_7$. Умови упорядкування/розупорядкування зазначеної структури. Методологія синтезу наноматеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу пірохлору.

Тема 15 Фізико-хімічні та технологічні аспекти розробки оптично прозорих матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу пірохлору $A_2B_2O_7$.

Створення прозорої кераміки на основі впорядкованої фази зі структурою типу пірохлору $A_2V_2O_7$, де ($A=Ln$, $V=Zr$, Hf). Властивості зазначених матеріалів та галузі застосування. Легування упорядкованої фази зі структурою типу пірохлору іонами Ln^{3+} . Теоретичні основи отримання прозорої кераміки. Діаграми стану як фізико-хімічна основа створення нових матеріалів на основі впорядкованої фази зі структурою типу пірохлору $A_2V_2O_7$.

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці інституту, а також може бути надана в електронному вигляді. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні.

Базова література:

- Лакиза С.М. Теплобар'єрні покриття: сучасний стан, пошук і дослідження / С.М. Лакиза, М.І. Гречанюк, О.К. Рубан, В.П. Редько, М.С. Глабай, О.Б. Милосердов, О.В.Дуднік, С.В. Прохоренко (2018) Порошкова металургія, #01/02, Київ: ИПМ ім.І.Н.Францевича НАН України, С. 107-143.
- Скороход В. В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах / Скороход В. В., Уварова І. В., Рагуля А. В. – Київ : Академперіодика, 2001 – 180 с..
- Chevalier J., Liens Al., Reveron H., Zhang F., Reynaud P., Douillard Th., Preiss L., Sergo V., Lughì V., Swain M., Courtois N. Forty years after the promise of « ceramic steel»: zirconia-based composites with a metal-like mechanical behaviour. *J. Am. Ceram. Soc.* 2020. Vol.103. P. 1482–1513. <https://doi.org/10.1111/jace.16903>
- Review Preparation methods of different nanomaterials for various potential applications: A review / Ahmed M. El-Khawaga, Alaa Zidanc , Ahmed I. A. Abd El-Mageed // *Journal of Molecular Structure* 1281(2023) 135148 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.135148>
- Nano-ZrO₂: A review on synthesis methodologies / Mahyar Mosavari , Ayda Khajehhaghverdi , Rouhollah Mehdinavaz Aghdam // *Inorganic Chemistry Communications* 157 (2023) 111293 <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111293>
- Claussen N. Microstructural design of zirconia – toughened ceramic (ZTC) / N. Claussen // *Science and Technology of Zirconia II. – V. 12. –The American Ceramic Society : Columbus – Ohio, 1984. – P. 325–351.*
- Dudnik, E.V., Shevchenko, A.V., Ruban, A.K., Red'ko V. P., Lopato L. M. . Microstructural design of ZrO₂–Y₂O₃–CeO₂–Al₂O₃ materials. *Powder Metall Met Ceram* **49**, 528–536 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11106-011-9267-3>
- Shevchenko, A.V., Dudnik, E.V., Ruban, A.K. Red'ko V. P., Lopato L. M. Sintering of self-reinforced ceramics in the ZrO₂–Y₂O₃–CeO₂–Al₂O₃ system. *Powder Metall Met Ceram* **49**, 42–49 (2010). <https://doi.org/10.1007/s11106-010-9199-3>
- Dudnik, E.V., Lakiza, S.N., Tishchenko, Y.S., Ruban, A.K. Red'ko V. P., Shevchenko, A.V., * Lopato L. M.* Phase Diagrams of Refractory Oxide Systems and Microstructural Design of Materials. *Powder Metall Met Ceram* **53**, 303–311 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11106-014-9617-z>
- Shevchenko, A.V., Dubok, V.A., Dudnik, E.V., Ruban, A.K., Lopato L. M.. Transparent ceramics based on yttrium subgroup lanthanide, yttrium, and scandium oxides. *Powder Metall Met Ceram* **49**, 537–545 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11106-011-9268-2>
- Shevchenko, A.V., Dudnik, E.V., Ruban, A.K. , Zaitseva Z.A., Lopato L.M. Functional Graded Materials Based on ZrO₂ and Al₂O₃. Production Methods. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics* **42**, 145–153 (2003). <https://doi.org/10.1023/A:1024749514310>
- Dudnik, E.V., Shevchenko, A.V., Ruban, A.K. Lopato L.M. Microlayered bioimplants based on ZrO₂–Y₂O₃–CeO₂–Al₂O₃ . *Powder Metall Met Ceram* **48**, 73–76 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11106-009-9093-z>
- Shevchenko*, A.V., Dudnik, E.V., Tsukrenko, V.V. , Ruban, A.K. Red'ko V. P., Lopato* L. M. Microstructural Design of Bioinert Composites in the ZrO₂–Y₂O₃–CeO₂–Al₂O₃–CoO

- System. *Powder Metall Met Ceram* **51**, 724–733 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11106-013-9487-9>
- Lakiza, S.M., Grechanyuk, M.I., Ruban, O.K., Redko V. P., Glabay M. S., Myloserdov O. B., Dudnik O. V. Prokhorenko S. V. Thermal Barrier Coatings: Current Status, Search, and Analysis. *Powder Metall Met Ceram* **57**, 82–113 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11106-018-9958-0>
 - Dudnik, E., Lakiza, S., Hrechanyuk, I. Ruban, A., Redko V., Marek I., Shmibelsky V., Makudera A., Hrechanyuk N. Thermal Barrier Coatings Based on ZrO₂ Solid Solutions. *Powder Metall Met Ceram* **59**, 179–200 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00151-8>
 - Lakiza, S., Hrechanyuk, M., Red'ko, V., Ruban O., Tyshchenko Ja., Makudera A., Dudnik O. The Role of Hafnium in Modern Thermal Barrier Coatings. *Powder Metall Met Ceram* **60**, 78–89 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00217-1>
 - Kelly P. M. The martensitic transformation in ceramics its role in transformation toughening / P. M. Kelly, L. R. Francis Rose // Progress in Materials Science. – 2002. – V. 47. – P. 463–557.
 - Hannink R. H. J. Transformation toughening in zirconia – containing Ceramics / R.H. J. Hannink, P. M. Kelly, B. C. Muddle. // J. Am. Ceram. Soc. – 2000. – Vol. 83, № 3. – P. 461–487.
 - Chevalier J. Zirconia as a Biomaterial / J. Chevalier, L. Gremillard // Comprehensive Biomaterials. – 2011. Vol. 1. P. 95–108.
 - Modeling the aging kinetics of zirconia ceramics / L. Gremillard, J. Chevalier, T. Epicier [et al.]// Journal of the European Ceramic Society. 2004. Vol. 24. P. 3483–3489.
 - Liu B., Liu Y., Zhu Ch., Xiang H., Chen H., Sun L., Gao Y., Zhou Y. Advances on strategies for searching for next generation thermal barrier coating materials. *J. Mater. Sci. Technol.* 2019. Vol. 35, No. 5. P. 833–851.
 - Ke Rena Qiankun Wanga, Gang Shao, Xiaofeng Zhao, Yiguang Wang. Multicomponent high-entropy zirconates with comprehensive properties for advanced thermal barrier coating. *Scripta Mater.* 2020. Vol. 178, No. 15. P. 382–386. DOI:10.1016/j.scriptamat.2019.12.006.
 - Andrew J. Wright, Qingyang Wang, Chuying Huang, Andy Nieto, Renkun Chen, Jian Luo. From high-entropy ceramics to Compositionally Complex ceramics: A case study of fluorite oxides. *J. Europ. Ceram. Soc.* 2020. Vol. 40, Issue 5. P. 2120–2129. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2020.01.015.
 - Perovskite Materials - Synthesis, Characterisation, Properties, and Applications- Edited by Likun Pan and Guang Zhu- 2016
 - Recent Advances in Multifunctional Perovskite Materials -Edited by Poorva Sharma and Ashwini Kumar – 2022
 - Yurchenko Yu., Shyrovkov O., Korniienko O., Laguta V., Remes Z., Zazubovich S., Ragulya A., Lobunets T. X-ray diffraction, luminescence, and electron paramagnetic resonance study of LaLuO₃:Yb³⁺ nanopowders. *Ceramics International* – 2024
 - Kolesnichenko V., Yurchenko Yu., Kornienko O., Zamula M., Samelyuk A., Shyrovkov O., Tomila T., Ragulya A., Kotko A. Spark Plasma Sintering of a Ceramic Material with a LaLuO₃ Perovskite-Type Structure. *Nano Hybrids and Composites*.2024. Vol. 43., P. 1-11
 - E.R. Andrievskaya Phase equilibria in the refractory oxide systems of zirconia, hafnia and yttria with rare-earth oxides *J. Eur. Ceram. Soc.*, 28 (2008), pp. 2363-2388
 - Korniienko O., Yurchenko Y., Olifan O., Samelyuk A., Zamula M.V., Pavlenko O. Phase relation studies in the ZrO₂–HfO₂–La₂O₃ system at 1500 and 1250 °C. *Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis*. 2024. Vol., P.100144
 - Kornienko O.A., Andrievskaya O. R., Bykov O.I., Sameljuk A.V., Bataiev Yu.M. Phase equilibrium in systems based on oxides of zirconium, lanthanum and samarium. *Journal of the European Ceramic Society*. 2021. Vol. 41., P. 3603-3613.
 - Rahman S., Usman M., Noreen S., Farrukh S., Ghfar A. A., Bibi N. Exploring the multifaceted properties of novel oxide-based perovskites ABO₃ (A=Nd and B=Lr, Y): A DFT study // *Materials Science in Semiconductor Processing* 2024. Vol. 180., P. 108558.
 - Candela M.T., Aguado F., Monteseuro V., González J.A., Valiente R. Spectroscopic, vibrational and structural insights into LaYbO₃:Pr³⁺ and LaLuO₃:Pr³⁺, Tb³⁺ perovskites at ambient and high-pressure conditions. *Ceramics International* – 2024
 - Schweidler S., Tang Yu., Lin L., Karkera G., Alsawaf A., Bernadet L., Breitung B., Hahn H., Fichtner M., Tarancón A., Botros M. Synthesis of perovskite-type high-entropy oxides as

potential candidates for oxygen evolution. *Front. Energy Res.* 2022. Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.983979>

- Assirey E. A. R. Perovskite synthesis, properties and their related biochemical and industrial application. *Saudi Pharm J.* 2019 – Vol. 14;27(6):817–829.
- Zhang H., Sun S., Liu W., Ding H., Zhang J. Synthesis of Perovskite by Solid-Phase Method with Metatitanic Acid and Calcium Carbonate and Its Pigment Properties Investigation. *Materials.* 2020. Vol. 13(7)., P. 1508.
- Sankar J. , Suresh S. Kumar Synthesis of Rare Earth Based Pyrochlore Structured (A₂B₂O₇) Materials for Thermal Barrier Coatings (TBCs) - A Review. *Current Applied Science and Technology.* 2021. Vol. 21., No. 3

•

Додаткова література:

- Gschneidner, K.A. (1993). Systematics and anomalies. *J. Alloys Compd.*, 192(1–2), 1–10.
- Pauling, L. (1928). The influence of relative ionic sizes on the properties of ionic compounds. *J. Am. Ceram. Soc.*, 50(4), 1036–1045
- Shannon, R.D., Prewitt, C.T. (1969). Effective ionic radii in oxides and fluorides. *Acta Crystallogr. B*, B25(5), 925–946.
- Hirotsaki, N., Ogata, S., Kocer, C. (2003). Ab initio calculation of the crystal structure of the lanthanide Ln₂O₃ sesquioxides. *J. Alloys Compd.*, 351(1–2), 31–34.
- Trifonov, D.N. (1963). The Rare-Earth Elements. *New York: The MacMillan Company.*

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та семінари, а також розгляд питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені в Google Classroom. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої. Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітнього компонента.

6. Самостійна робота

Самостійна робота включає повторення лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, що дозволяє розширити та поглибити знання з дисципліни, підготовку до практичних завдань та заліку.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекційних та семінарських занять, які можуть проводитись як он-лайн, так і офф-лайн, є обов'язковим. У випадку відсутності на занятті аспіранти зобов'язані повідомити викладача заздалегідь і надати документальне підтвердження причини відсутності, якщо це можливо. На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення

зацікавленості. Під час сигналу повітряної тривоги заняття негайно припиняється, а всі учасники навчального процесу повинні пройти в найближче укриття. Для завершення заняття організується додатковий час.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Але їх сума не може перевищувати 25% від рейтингової шкали. Штрафні бали в рамках освітньої програми не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань. Дедлайни здачі завдань та контрольних робіт є обов'язковими. У разі поважних причин, аспіранти можуть звернутись до викладача для можливої зміни продовження термінів. Запити на продовження дедлайну повинні бути подані заздалегідь.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

В рамках навчальної дисципліни передбачено кілька видів контролю та систему рейтингування результатів навчання, а саме:

Поточний контроль: опитування під час лекцій та на семінарських заняттях.

Семестровий контроль: залік.

Рейтингова система оцінювання формується з суми балів, набраних під час поточного та семестрового контролю. Рейтинг аспіранта R розраховується за 100 бальною шкалою та складається з балів, що він отримує протягом семестру (стартовий рейтинг) S та диференційованого заліку C . Додаткові бали D можна отримати за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як

$$R=S + C + D$$

Стартовий рейтинг S складається з балів, що аспірант отримує за відвідування занять (1 бал), активну роботу на занятті (2 бали), правильну відповідь при поточному опитуванні (2 бали), виконання творчого завдання (5 балів). Максимальна сума балів, яку аспірант може набрати протягом семестру (стартовий рейтинг), складає 50 балів. Умовою допуску до заліку є кількість рейтингових балів не менше 30.

На заліку аспіранти виконують письмову тестову роботу, що складається з 50 питань. Кожне запитання (завдання) оцінюється в 1 бал. Умовою успішної здачі заліку є кількість отриманих за залікову роботу балів не менше 30.

Сумарний рейтинговий бал розраховується за формулою:

$$R=S + C + D,$$

де S –стартовий рейтинг;

C – залік;

D – додаткові бали.

Відповідність між кількістю балів, оцінкою за національною шкалою та шкалою ECTS наведена в таблиці.

Кількість балів	Шкала ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
65-74	D	Задовільно

<i>60-64</i>	<i>E</i>	
<i>Менше 60</i>	<i>FX</i>	<i>Незадовільно</i>
<i>Не виконані умови допуску</i>		<i>Не допущено</i>

9. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Робочу програму освітньої компоненти (силабус):

Складено д.х.н., ст.н.сп., зав. від. Дуднік О.В. ,

д.х.н., ст. дослідник, зав. від. Корнієнко О.А.

Ухвалено Вченою радою Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України (протокол №10 від «06» серпня 2024 р.).