



МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРІАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ECTS/120 год: 36 годин лекцій, 18 годин практичних занять, 66 годин СРС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / Модульна контрольна робота
Розклад занять	rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф-м.н., проф., Зауличний Ярослав Васильович, mail:zaulychnyy@ukr.net Практичні заняття: докт.філос. викладач Сергій Олегович НАКОНЕЧНИЙ Mail: sergeynuts@gmail.com
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Матеріалознавство тугоплавких матеріалів є фундаментальною дисципліною професійної та практичної підготовки матеріалознавців та споріднених спеціалістів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. При вивченні цього курсу студенти отримують знання, необхідні для розуміння природи та процесів формування властивостей тугоплавких матеріалів, їх класифікації і методів отримання. На практичних роботах студенти навчаються визначати основні параметри властивостей та структурні особливості матеріалів для їх використання в конструкціях та для інших практичних застосувань. Крім того отримані розуміння природи властивостей та фізико-хімічних процесів, що відбуваються в матеріалах при різних умовах дозволяють фахівцям отримувати нові тугоплавкі матеріали з потрібними для техніки властивостями.

Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі в галузі матеріалознавства;
- ефективно використовувати розуміння природи властивостей тугоплавких матеріалів для їх розробки, застосування, виробництва та випробування,

Предмет навчальної дисципліни – природа та механізми формування властивостей тугоплавких матеріалів, їх залежність від характеру міжатомної взаємодії, кристалічної структури, хімічного складу, особливостей морфології полікристалів та від термодинамічних, і експлуатаційних умов використання виробів із цих матеріалів.

Засвоєння навчального матеріалу повинно дозволити розвивати програмні, загальні та фахові компетентності, зокрема:

Програмні компетентності:

Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та проблеми, пов'язані з розробкою, застосуванням, виробництвом та випробуванням металевих, неметалевих та композиційних матеріалів і виробів на їх основі, у професійній діяльності та у процесі навчання, що передбачає застосування теорії та методів фізики, хімії та механічної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності (КЗ)

- КЗ 3. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями

Фахові(спеціальні) компетентності

- КС 7. Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства.
- КС 8 Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності
- КС. 9 Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати і уміти:

- ПРН13. Розуміти будову металевих, неметалевих, композиційних та функціональних матеріалів та обирати оптимальні методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення
- ПРН 26. Знання основних технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів та умов їх застосування

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивченню цієї дисципліни повинно передувати глибоке засвоєння матеріалу «Фізики», що включають теми: кінетична теорія теплоти і закон збереження енергії, перехід речовин в твердий стан, фазові переходи I і II роду, теплові властивості твердих тіл, а також «Природу і типи хімічних зв'язків», термодинаміка та процеси хімічних реакцій із «Хімії» і діаграми станів з «Фізичної хімії». Для розрахунків складу матеріалу та параметрів необхідних властивостей потрібно уміти оперувати диференціальним і інтегральним численням та розв'язувати диференціальні рівняння з «Вищої математики». Успішне засвоєння «матеріалознавства тугоплавких матеріалів» потребує знань про сім сингоній і 14 ґраток Браве з курсу «Кристалографія, кристалохімія та мінералогія», а також основ фізики конденсованого стану та «Методів дослідження фізичних властивостей матеріалів». Виконання, запланованих в курсі, практичних робіт вимагає знань предметів «Основи металознавства», «Теоретична та прикладна механіка» і «Теорії тепло- та масопереносу»

Знання, отримані при вивченні курсу, є необхідні для вивчення курсів: «Механічні властивості матеріалів»; «Основи теорії процесів консолідації порошкових та

наноструктурованих матеріалів”, «Методи моделювання та оптимізації”, “Корозія та захист металів”.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів» складається із 3-х розділів.

Розділ 1. Класифікація, структура та загальна характеристика тугоплавких матеріалів.

Вступ. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку.

Металоподібні тугоплавкі матеріали. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Оксиди.

Розділ 2. Фізичні властивості тугоплавких матеріалів.

Електропровідність. Теплові властивості.

Дифузія в тугоплавких матеріалах.

Розділ 3. Фізичні основи міцності тугоплавких матеріалів. Міцність тугоплавких матеріалів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук : навчальний посібник для студентів ВНЗ / Г.П. Кисла [та ін.]– Київ: Центр учбової літератури, 2017. – 320 с.

Додаткова література:

1. Алюмонітридні функціональні матеріали, одержані з нанодисперсних та мікронних порошків гарячим пресуванням та вільним спіканням / І. П. Фесенко [та ін.]. – Київ : “ІВЦ АЛКОН”, 2015. – 172 с.

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел в бібліотеці КПІ та ІПМ НАНУ, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та практичних робіт. Для окремих розділів створено електронний конспект.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Для полегшення сприйняття природи та механізмів формування властивостей і структури тугоплавких матеріалів, лекції супроводжуються демонстрацією медіа-проекторних зображень та моделей кристалічних структур, хімічних зв'язків, морфології шліфів і розломів тугоплавких матеріалів, а також залежностей властивостей від цих характеристик, хімічного складу та терм

Тривалість кожної лекції 2 години.

Додати назви розділів

Зміст лекційних занять. Посилання на літературу Б[...] – базову, Д[...] – додаткову.

Лекція 1. Завдання та предмет сучасного матеріалознавства, періодичність фізичних та хімічних властивостей елементів. Література: Б [1].

Лекція 2. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку, критерії міцності міжатомних зв'язків в тугоплавких речовинах. Енергія хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів. Література: Б[1], Д [1].

Лекція 3. Тугоплавкі метали, сплави та інтерметаліди. Література: Б[1], [1]

Лекція 4. Металоподібні тугоплавкі сполуки (фази проникнення). Література: Б[1].

Лекція 5. Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки. Література: Б[1].

Лекція 6. Тугоплавкі оксиди. Література: Б[1], Д [1]

Лекція 7. Класифікація фізичних властивостей матеріалів, скалярні і тензорні властивості. Електричні властивості. Емісійні властивості тугоплавких матеріалів. Література: Б[1].

Лекція 8. Магнітні тугоплавких матеріалів властивості. Література: Б [1]

Лекція 9. Теплові властивості. Теорія теплоємності Ейнштейна і Дебая. Термічне розширення. Електронна та фононна теплопровідність. Література: Б[1], Д[1].

Лекція 10. Дифузійна рухомість атомів в тугоплавких речовинах. Класифікація дифузійних процесів. Література: Б[1], Д[1].

Лекція 11. Температурна залежність коефіцієнта дифузії. Дифузія в бінарних тугоплавких сполуках. Література: Б[1], Д[1].

Лекція 12. Механічні властивості тугоплавких матеріалів. Література: Б[1].

Лекція 13. Твердість. Вплив електронної будови на твердість тугоплавких матеріалів. Тріщиностійкість. Література: Б[1].

Лекція 14. Теоретична оцінка міцності твердих тіл. Вплив дефектів кристалічної будови на міцність тугоплавких матеріалів. Література: Б[1], Д[1].

Лекція 15. Температурна залежність межі текучості тугоплавких матеріалів. Література: Б[1].

Лекція 16. Деформаційне зміцнення і еволюція дислокаційної структури при пластичному деформуванні тугоплавких металів. Література: Б[1].

Лекція 17. Термічна стійкість. Вплив складу, температури, величини зерна, пористості на повзучість. Високотемпературна дислокаційна повзучість. Надпластичність. Література: Б[1].

Лекція 18. Твердофазне зміцнення. Когерентне та некогерентне дисперсне зміцнення. Тугоплавкі матеріали – основа сучасної техніки. Література: Б[1].

Для ефективного засвоєння навчального матеріалу тем лекційних занять необхідно детально опрацьовувати зміст кожної з прочитаних лекцій, висвітлених в базовій літературі, зокрема в [1], уявляючи описані явища і фізико-хімічні процеси та їх вплив на властивості тугоплавких матеріалів. Для усвідомлення співвідношень між характеристиками властивостей, студентам слід аналізувати процеси та умови їх формування, використовуючи базову та іншу літературу.

Тематика практичних занять.

Тривалість кожного практичного заняття 2 години.

Практична робота 1. Класифікація тугоплавких матеріалів за критерієм міцності міжатомних зв'язків на основі енергії хімічного зв'язку.

Практична робота 2. Оцінка енергії зв'язку тугоплавких металів, сплавів та інтерметалідів за теплотами плавлення, випаровування та модулями пружності.

Практична робота 3. Аналіз залежностей від стехіометрії властивостей металоподібних фаз проникнення та неметалевих безкисневих сполук.

Практична робота 4. Аналіз природи властивостей тугоплавких оксидів і їх залежностей від хімічного складу.

Практична робота 5. Класифікація дифузійних процесів і визначення температурної залежності коефіцієнта дифузії в бінарних тугоплавких сполуках.

Практична робота 6. Визначення впливу електронної будови на твердість і тріщиностійкість тугоплавких матеріалів.

Практична робота 7. Теоретична оцінка міцності твердих тіл та вплив дефектів кристалічної будови на міцність тугоплавких матеріалів.

Практична робота 8. Аналіз температурної залежності межі текучості тугоплавких матеріалів.

Модульна контрольна робота.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 66 годин) з дисципліни полягає в:

- самостійному опрацюванні матеріалу за темами у підготовці до кожної лекції – 0.5 год. x 18 лек. = 9 годин.

- підготовці до виконання практичних робіт – 2 год. x 9 п.з. = 18 годин;
- підготовці до модульної контрольної роботи – 9 годин.

- підготовки до підсумкової атестації – екзамену (30 годин).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Опрацювання матеріалу по всіх темах лекційних та практичних занять є обов'язковою.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання для виконання завдань або пошуку додаткової інформації.
- Результати виконаних практичних робіт оформлюються у вигляді звітів, написаних рід руки. Звіт супроводжується формулами, графіками – елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. За дистанційної форми навчання звіт може виконуватися як «від руки», так і в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається файл у електронному вигляді або роздрукована фотокопія. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання методик оптимального вибору для розв'язання реальних завдань за тематикою практичних робіт. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи і вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

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

Рейтинг з дисципліни (РД) враховує роботу студента протягом семестру та рівень знань і навичок, виявлених ним на екзамені.

Рейтинг з дисципліни формується як сума балів, нарахованих студенту за:

- результатами виконання завдань на практичних роботах,
- виконанням модульної контрольної роботи (МКР),
- виконання завдань отриманих на екзамені.

Рейтинг з дисципліни розраховується за формулою рейтингова оцінка (RD) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу (r_C) та балів отриманих на екзамені (r_I):

$$RD = r_C + r_I.$$

r_C – стартовий рейтинг, r_I – екзаменаційний рейтинг.

Стартовий рейтинг є сумарною оцінкою за виконання студентом завдань під час **поточного контролю**, а саме

$$r_C = \sum_k (r_n + r_{МКР})$$

r_n – бал отриманий на практичних заняттях, $r_{МКР}$ – бал отриманий за модульну контрольну роботу. Максимальна кількість балів, яку може отримати студент під час поточного контролю складає 50 балів.

Максимальна кількість балів отримана за яку може отримати студент за практичні заняття складає:

$$r_C = \sum_k (r_n + r_{МКР}) = 5 \text{ балів} \times 8 \text{ практ} + 10 \text{ балів МКР} = 50$$

Критерії оцінювання результатів роботи на практичних заняттях таблиці 1.

Табл. 1. Критерії оцінювання та кількість балів за роботу на практичних заняттях.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	5
неповна відповідь (добре)	4
неповна відповідь (задовільно)	3
достатня відповідь	2
незадовільна відповідь	Менше 2

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за МКР складає 10 балів. Критерії оцінювання результатів написання МКР представлені в таблиці 2.

Табл. 2. Критерії оцінювання та кількість балів за МКР.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	10
Відповідь з неточностями (дуже добре)	9
неповна відповідь (добре)	8
неповна відповідь (задовільно)	7
достатня відповідь	6
незадовільна відповідь	5 іменше

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для успішного проходження першої семестрової атестації рейтинговий бал студента за практичні заняття має становити не нижче 16 балів, для другої – 24 балів разом з оцінками за модульну контрольну роботу.

Семестровий контроль – екзамен. r_1 студент отримує в результаті складання екзамену у змішаній формі. Критерії оцінювання на екзамені представлені в таблиці 4.

Табл. 4. Критерії оцінювання та кількість балів на іспиті.

Критерії	Кількість балів
студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	50
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	44
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань	34
студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань	24
студент демонструє задовільні знання, засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань	14
незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань	Менше 10

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів.

Сумарний рейтингова оцінка оцінюється за університетською шкалою, таблиці оцінки знань за якою представлена на таблиці 4.

За умови карантину екзамен проводиться у дистанційному режимі на платформі **meet.google**, а за відсутності карантину він відбувається в призначених аудиторіях. При цьому: - студентам видаються білети, в яких наведено 3 питання із списку Додатку А.

- протягом однієї години студенти письмово надають відповіді на поставлені питання і по закінченню відведеного на підготовку часу студенти здають свої роботи.
- кожен студент пояснює викладені ним відповіді для з'ясування розуміння предмету.
- в разі виникнення недостатнього розуміння або за бажаннями студента підвищити бал оцінки студенту задаються додаткові питання, які фіксуються на письмовій відповіді.

В дистанційному режимі:

- викладач виставляє по черзі презентацію довільно названих студентами білетів, з яких вони роблять скріншоти і готуються.
- після закінчення відведеного на підготовку студентам часу, вони висилають файли фотокопій своїх відповідей на мою електронну пошту
- в режимі онлайн спілкування студенти дають пояснення своїх відповідей аналогічно як в аудиторному режимі.

Табл. 4. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Оцінка	Кількість балів
Відмінно	100-95
Дуже добре	94-85
Добре	84-75
Задовільно	74-65
Достатньо	64-60
Незадовільно	Менше 60
Не допущено	Не виконані умови допуску

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Перелік питань до іспиту з дисципліни «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів» та приклад білету наведено у додатку А.
- Перелік питань до модульної контрольної роботи з дисципліни «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів» наведено у додатку Б.
- Приклад екзаменбаційного білету з дисципліни «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів» наведено у додатку В.
- Результати навчання за даним освітнім компонентом, здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (окремі теми, окремі лабораторні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті" (<https://osvita.kpi.ua/node/179>).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.ф.-м.н., професор, Зауличний Ярослав Васильович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол №13 від 24 червня 2026 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол №8/26 від 25 червня 2026 р.)

Перелік питань до іспиту з дисципліни «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів»

1. Предмет курсу “Матеріалознавство тугоплавких матеріалів” і його основні завдання. Класифікація матеріалів за призначенням та електропровідністю. Ієрархія структур матеріалів.
2. Періодична система елементів Д. І. Менделєєва та Періодичність хімічних властивостей елементів.
3. Періодичність фізичних властивостей елементів.
4. Основні типи хімічних зв'язків. Енергія іонного зв'язку.
5. Ковалентний зв'язок. Енергія ковалентного зв'язку.
6. Металевий зв'язок. Енергія зв'язку металевих кристалів.
7. Енергія хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів. Критерії міцності хімічного зв'язку.
8. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку. Тугоплавкі метали та сплави. Діаграма Кауфмана.
9. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку. Тугоплавкі метали та сплави. Діаграма Кауфмана.
10. Металоподібні тугоплавкі сполуки – фази проникнення. Карбіди. Подвійні карбідні системи. Нітриди.
11. Бориди і силіциди.
12. Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки.
13. Тугоплавкі оксиди. Моно- і діоксиди.
14. Оксиди із структурою гематиту (Me_2O_3) і структурою шпінелі (Me_3O_4).
15. Неметалеві карбіди. Карбіди бору і кремнію.
16. Неметалеві нітриди. Нітриди бору, кремнію та алюмінію.
17. Фізичні властивості тугоплавких матеріалів. Класифікація фізичних властивостей тугоплавких матеріалів.
18. Електричні властивості тугоплавких матеріалів і їх характеристики.
19. Діелектрики і напівпровідники.
20. Емісійні властивості тугоплавких матеріалів.
21. Теплове розширення.
22. Теплоємність.
23. Теплопровідність. Температуропровідність.
24. Дифузія атомів у тугоплавких матеріалах.
25. Механізми дифузії за структурними ознаками.
26. Види дифузії.
27. Температурна залежність коефіцієнтів дифузії. Дифузія в тугоплавких карбідах в області гомогенності. Випаровування і дисоціація. Механічні властивості матеріалів. Пружні властивості матеріалів. Теоретична оцінка міцності твердих тіл.
28. Вплив дефектів кристалічної будови на міцність твердих тіл.
29. Залежність міцності від пористості і розміру зерна.
30. Залежність міцності від зміни хімічного складу.
31. Міцність матеріалів на зсув, вектор Бюргерса.
32. Теорія Паєрлса-Набарро.
33. Повзучість.
34. Вплив складу сполуки та температури і часу навантаження на повзучість.
35. Твердість, мікротвердість.
36. Змішані тугоплавкі сполуки типу фаз проникнення.
37. Карбонітриди. Карбобориди.
38. Карбосиліциди. Карбооксиди.
39. Силіконітриди. Оксинітриди.
40. Силікооксиди.

41. Нітриди тугоплавких металів. Відхилення від стехіометрії у нітридах.
42. Термічна стійкість нітридів і використання нітридів металів.

**Перелік питань до домашньої контрольної роботи з дисципліни «Матеріалознавство
тугоплавких матеріалів»**

1. Структурна та загальна характеристика тугоплавких матеріалів.
2. Особливості електронної будови тугоплавких металів в залежності від їх положення в періодичній системі елементів.
3. Енергія хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів.
4. Металоподібні тугоплавкі сполуки – фази проникнення. Карбіди.
5. Теплові властивості – теплоємність, температурна залежність теплоємності.
6. Теплопровідність – розсіювання фононів на дефектах кристалів.
7. Емісійні властивості тугоплавких сполук.
8. Катодні матеріали на основі боридів.
9. Вплив розміру зерен на характер крихкого руйнування полікристалів.
10. Вплив розміру зерен границю текучості та міцність тугоплавких матеріалів.
11. Деформаційне зміцнення тугоплавких матеріалів.
12. Теплове розширення.
13. Електричні властивості тугоплавких матеріалів і їх характеристики.
14. Дифузія в тугоплавких карбідах в області гомогенності. Випаровування і дисоціація.
15. Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки.

Приклад екзаменаційного білету

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітньо-професійна програма Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів

Навчальна дисципліна Матеріалознавство тугоплавких матеріалів.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №5

1. Ковалентний зв'язок. Енергія ковалентного зв'язку.
2. Механізми дифузії за структурними ознаками.
3. Температурна залежність межі плинності тугоплавких речовин.

Затверджено на засіданні кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
Протокол № 11 від 21.12. 2025 р.

Завідувач кафедри _____ Юрій БОГОМОЛ