



# ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ТУГОПЛАВКИХ СПЛУК

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити/120 годин, лекції – 36 год, лабораторні заняття – 36 год, СРС – 48 год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР, ДКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к. т. н., доцент, Бірюкович Ліна Олегівна, <a href="mailto:linabiruk@ukr.net">linabiruk@ukr.net</a> , 0501979102 Практичні: к. т. н., доцент, Бірюкович Ліна Олегівна, <a href="mailto:linabiruk@ukr.net">linabiruk@ukr.net</a> , 0501979102 К.т.н., асистент, Соловйова Тетяна Олександрівна, <a href="mailto:tsolov_1@ukr.net">tsolov_1@ukr.net</a>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/u/1/w/NTQ0NzQ0NzkxMDkx/tc/NTQ0NzQ0NzkxMDA5">https://classroom.google.com/u/1/w/NTQ0NzQ0NzkxMDkx/tc/NTQ0NzQ0NzkxMDA5</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Більшість матеріалів, що оточують нас і, якими ми користуємось у побуті і техніці, є кристалічними тілами, властивості і зовнішній вигляд яких залежать від будови кристалічної структури і типу хімічного зв'язку. Структура більшості реальних кристалічних тіл далека від ідеальної будови, вона є носієм різноманітних дефектів, які можуть дуже суттєво змінювати властивості кристалічних тіл.

Тугоплавкі сполуки – дуже широкий клас сполук, властивості яких визначаються особливостями електронної будови елементів, що їх утворюють, типом хімічного зв'язку, що виникає між ними, і, як наслідок, будовою кристалічної структури. Тому уміти управляти процесами формування властивостей цікаво і важливо, як в удосконаленні існуючих, так і у створенні нових матеріалів на основі тугоплавких сполук. Одним із важелів управління властивостями є знання дефектів структури і контроль над ними.

## *Бірюкович Л. О. Дефекти кристалічної структури тугоплавких сполук*

*Вивчатиметься кристалічна будова тугоплавких сполук та властиві їй дефекти, які визначають природу фізико-механічних властивостей тугоплавких сполук і композиційних матеріалів на їх основі.*

*120 годин обсягу дисципліни “Дефекти кристалічної будови тугоплавких сполук” включають 36 годин лекційних занять, 36 годин лабораторних занять і 48 годин СРС.*

***Метою** дисципліни є поглиблення студентів таких фахових компетентностей спеціальності таких як:*

- *Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства;*
- *Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем.*

***Предмет** дисципліни “Дефекти кристалічної будови тугоплавких сполук” – вплив електронної будови, хімічного зв’язку та дефектів на кристалічну структуру і фізико-хімічні властивості тугоплавких сполук.*

***Програмні результати навчання:***

- *Знати інженерні дисципліни, що лежать в основі спеціальності, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів програми, в тому числі мати певну обізнаність в їх останніх досягненнях.*
- *Уміти поєднувати теорію і практику для розв’язання завдань матеріалознавства.*
- *Розуміти будову металевих, неметалевих, композиційних та функціональних матеріалів та обирати оптимальні методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення.*

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

*Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни “ Дефекти кристалічної будови тугоплавких сполук ”:*

- *Фізика*
- *Хімія*
- *Фізична хімія*
- *Кристалографія, кристалохімія та мінералогія*

*Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни «Дефекти кристалічної будови тугоплавких сполук» необхідні для поглибленого вивчення таких нормативних дисциплін:*

- *Матеріалознавство тугоплавких матеріалів*
- *Механічні властивості матеріалів*

*А також, у виконання курсового проєкту, підготовці звітів з виробничої, переддипломної практики та у дипломному проєктування.*

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

***Вступ. Організація очного/дистанційного навчання.***

*Розділ 1. Електронна будова та загальні відомості про тугоплавкі сполуки*

*Розділ 2. Теорія дефектів кристалічної структури.*

*Розділ 3. Кристалохімічні особливості тугоплавких сполук.*

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

**Базові:**

1. Бірюкович, Л. О. Кристалохімія тугоплавких сполук [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Л. О. Бірюкович ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 10,97 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 112 с. – Режим доступу : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/16378>.
2. Структура і властивості металів [Електронний курс] : конспект лекцій для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» (освітня програма "Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання") / Серія "Педагогічне надбання : Л. Н. Ларіков." ; укладачі: Сидоренко С. І., Волошко С. М. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 329 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37764>.
3. Кристалохімія тугоплавких сполук : практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Л. О. Бірюкович. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,24 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 40 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36843>.
4. Практикум з кредитного модулю. Фізика металів – 3. Дефекти в кристалах : для студентів напряму підготовки 6.050403 «Інженерне матеріалознавство», програми професійного спрямування «Фізичне матеріалознавство» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; Л. Д. Демченко ; відп. ред. В. В. Холявко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,59 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 78 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/11995>.
5. Програмне забезпечення для виконання практичних робіт за дистанційної та змішаної форми навчання CrysX-3d-Viewer: [https://www.bragitoff.com/crysx-3d-viewer/?\\_cf\\_chl\\_jschl\\_tk406c2defaaca8ff4d7dadbd237797b74b36922d36-1599315383-0-AXdX7UMuhxuhywbIC0xii0TrIZM7TiVtp6RunUpp1qByGIZh0Fb3U3SFSyrlC3qm9EzZUIBc-WMsWwomEI\\_FNdUqSqKtCeET1zUj4fZqAZ23vUQcuAPbn8IT4TVNHawWHfFA6kw7JelLMv97aYePKCk\\_p8faqP32CeU8QXBGYP4z84vUx9K3jVttbGQvcOSEaXwXRafTqWCLM9-fRrikqkGcoqIWTP1jGCZ9yYNkpeKBRQHR\\_wHR29mDfetqdi3Vf8cljBIG02XBpHyvYH6aCMkrh2vNoi4nj7KuYQpc3shm](https://www.bragitoff.com/crysx-3d-viewer/?_cf_chl_jschl_tk406c2defaaca8ff4d7dadbd237797b74b36922d36-1599315383-0-AXdX7UMuhxuhywbIC0xii0TrIZM7TiVtp6RunUpp1qByGIZh0Fb3U3SFSyrlC3qm9EzZUIBc-WMsWwomEI_FNdUqSqKtCeET1zUj4fZqAZ23vUQcuAPbn8IT4TVNHawWHfFA6kw7JelLMv97aYePKCk_p8faqP32CeU8QXBGYP4z84vUx9K3jVttbGQvcOSEaXwXRafTqWCLM9-fRrikqkGcoqIWTP1jGCZ9yYNkpeKBRQHR_wHR29mDfetqdi3Vf8cljBIG02XBpHyvYH6aCMkrh2vNoi4nj7KuYQpc3shm).
6. <https://www.youtube.com/watch?v=ie-KfQionjY/>

Зазначені базові навчальні матеріали і ресурси є у вільному доступі у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського і мережі Інтернет.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

#### 5.1. Лекційні заняття

**Вступ. Організація очного/дистанційного навчання**

**Заняття 1.** Вступ. Організація очного/дистанційного навчання. Проведення лекційних і лабораторних занять. Вимоги до протоколу лабораторних робіт. Рейтингова система оцінювання.

**Розділ 1. Електронна будова та загальні відомості про тугоплавкі сполуки**

**Заняття 2.** Тугоплавкі сполуки. Класифікація. Фази впровадження. Розмірний фактор. Области гомогенності, їх позначення на діаграмах стану, кристалохімічні особливості.

**Заняття 3.** Електронна будова тугоплавких сполук. Моделі конденсованого стану речовини. Конфігураційна модель речовини. Поняття стабільних конфігурацій. Стабільні конфігурації та типи хімічного зв'язку. Зв'язок електронної будови та фізико-хімічних властивостей.

**Заняття 4. Продовження.** Електронна будова тугоплавких сполук. Моделі конденсованого стану речовини. Конфігураційна модель речовини. Поняття стабільних конфігурацій. Стабільні конфігурації та типи хімічного зв'язку. Зв'язок електронної будови та фізико-хімічних властивостей.

**Розділ 2. Теорія дефектів кристалічної структури. Заняття 5.** Точкові дефекти Структурно-чутливі і структурно-нечутливі властивості. Класифікація дефектів кристалічної будови. Види точкових дефектів: вакансії, міжвузольні атоми, домішкові атоми. Комплекси точкових дефектів. Спотворення кристалічної ґратки навколо точкових дефектів. Енергія утворення точкових дефектів. Рівноважна концентрація точкових дефектів. Комплекси точкових дефектів, їх конфігурація і енергія зв'язку. Рухливість точкових дефектів і їх простих комплексів.

**Заняття 6.** Виникнення точкових дефектів та експериментальні методи визначення характеристик точкових дефектів

Виникнення та відпал точкових дефектів. Джерела і стоки точкових дефектів. Способи введення нерівноважної концентрації точкових дефектів: гарт, пластична деформація, опромінення. Поведінка вакансій при загартуванні і відпалі. Експериментальні методи постереження і дослідження точкових дефектів. Методи визначення концентрації вакансій, енергії утворення і енергії активації міграції точкових дефектів.

**Заняття 7.** Лінійні дефекти: дислокації, дисклінації

Основні типи дислокацій та їх рух. Крайова дислокація. Ковзання і переповзання крайових дислокацій. Гвинтові дислокації. Ковзання гвинтової дислокації. Змішані дислокації. Призматичні дислокації. Вектор і контур Бюргерса. Основні особливості вектора Бюргерса дислокацій. Щільність дислокацій. Повні та часткові дислокації. Розтягнуті дислокації. Енергетичний критерій дислокаційних реакцій (критерій Франка). Щільні упаковки та дефекти упаковки. Часткові дислокації на межі дефекта упаковки. Дислокації Шоклі та дислокації Франка. Стандартний тетраедр Томпсона і дислокаційні реакції в ГЦК ґратці. Вершинні дислокації і дислокації Ломер – Коттрелла. Утворення дислокацій. Розмноження дислокацій при пластичній деформації. Дисклінації. Дисклінації в безперервному пружному середовищі. Дисклінації в кристалічній ґратці. Диспірації.

**Заняття 8.** Двовимірні дефекти: границі зерен і субзерен. Границі зерен. Геометрія границь зерен. Границі нахилу, крутіння. Кристалографія границь зерен за кутом разорієнтації. Види границь зерен. Малокутові границі зерен, їх структура. Границі субзерен. Міжфазні границі. Полігогізація. Висококутові границі зерен. Спеціальні та довільні границі зерен. Двійникові границі. Енергія границь зерен. Моделі структури спеціальних висококутових меж зерен. ґратка співпадаючих вузлів (PCY), повна ґратка накладення (ПРН), модель структурних елементів. Дефекти структури меж зерен. Зернограничні дислокації та вакансії.

**Заняття 9.** Тривимірні недосконалості кристалічної ґратки. Пори, тріщини, виділення.

**Заняття 10. Модульна контрольна робота.**

**Розділ 3. Кристалохімічні особливості тугоплавких сполук.**

**Заняття 11.** Карбіди перехідних металів. Типи діаграм стану Me-C. Кристалічна та електронна будова. Основні структурні типи. Области гомогенності. Зв'язок будови та властивостей.

**Заняття 12. Продовження.** Карбіди перехідних металів. Типи діаграм стану Me-C. Кристалічна та електронна будова. Основні структурні типи. Области гомогенності. Зв'язок будови та властивостей.

**Заняття 13.** Нітриди перехідних металів. Типи діаграм стану Me-N. Кристалічна та електронна будова. Основні структурні типи. Дефектність металеві підґратки та підґратки неметалу. Зв'язок будови та властивостей.

**Заняття 14.** Бориди перехідних металів. Класифікація боридів за типом боридної підґратки. Типові діаграми стану Me-B. Основні структурні типи та властиві їм дефекти.

**Заняття 15.** Бориди РЗМ. Особливості структури тетраборидів, гексаборидів та додекаборидів. Типи хімічного зв'язку та види дефектів кристалічної структури. Фізико-технічні та хімічні властивості боридів, зв'язок з кристалічною структурою.

**Заняття 16.** Силіциди перехідних металів. Особливості кристалічної та електронної будови. Основні структурні типи та види дефектів кристалічної структури. Фізико-хімічні властивості та їх зв'язок з кристалічною будовою.

**Заняття 17.** Неметалеві тугоплавкі сполуки. Кристалічна та електронна будова нітридів бору, алюмінію та кремнію; карбідів бору та кремнію. Політипія та поліморфізм. Фізико-хімічні властивості.

## **Заняття 18. Залік**

### **5.2. Лабораторні заняття**

Для проведення лабораторних занять у режимі очного навчання використовуються наочні моделі кристалічних ґраток базових структурних типів, таких як  $\alpha$ -Fe,  $\gamma$ -Fe, Zn(Mg), алмаз, графіт, ZnS-сфалерит, ZnS-вюрцит,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{CaF}_2$ , NaCl, CsCl,  $\text{CaTiO}_2$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , які зустрічаються серед структур тугоплавких сполуки. Для візуалізації зазначених структурних типів під час проведення дистанційних занять використовується програмне забезпечення CrysX-3d-Viewer. Програмне забезпечення CrysX-3d-Viewer є у вільному доступі у мережі Інтернет.

**Заняття 1. Лабораторна робота №1.** Опис елементарної комірки ідеальної кристалічної структури.

**Заняття 2. Лабораторна робота №1.** Опис елементарної комірки ідеальної кристалічної структури.

**Заняття 3. Лабораторна робота №2.** Визначення площин ковзкого відображення та гвинтових осей симетрії ідеальних кристалічних структур.

**Заняття 4. Лабораторна робота №2.** Визначення площин ковзкого відображення та гвинтових осей симетрії ідеальних кристалічних структур.

**Заняття 5. Лабораторна робота №2.** Визначення площин ковзкого відображення та гвинтових осей симетрії ідеальних кристалічних структур.

**Заняття 6. Лабораторна робота №3.** Визначення просторової групи симетрії ідеальних кристалічних структур.

**Заняття 7. Лабораторна робота №4.** Визначення правильної системи точок

**Заняття 8. Лабораторна робота №4.** Визначення правильної системи точок

**Заняття 9. Лабораторна робота №5.** Визначення базиса ідеальної кристалічної структури

**Заняття 10. Лабораторна робота №5.** Визначення базиса ідеальної кристалічної структури

**Заняття 11. Лабораторна робота №6.** Визначення енергії утворення та рівноважної атомної конфігурації точкових дефектів

**Заняття 12. Лабораторна робота №7.** Визначення рівноважної концентрації для комплексів точкових дефектів.

**Заняття 13. Лабораторна робота №8.** Розрахунок теоретичної міцності ідеального кристала.

**Заняття 14. Лабораторна робота №9.** Визначення рентгенівської густини та ретикулярної щільності ідеальних кристалічних структур.

**Заняття 15. Лабораторна робота №9.** Визначення рентгенівської густини та ретикулярної щільності ідеальних кристалічних структур.

**Заняття 16. Лабораторна робота №10.** Опис ідеальних і дефектних кристалічних структур тугоплавких сполук.

**Заняття 17. Лабораторна робота №10.** Опис ідеальних і дефектних кристалічних структур тугоплавких сполук.

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (48 годин.) складається з:

- підготовки до лекцій – 18 год;
- підготовки до практичних робіт, яка полягає у написанні протоколу – 14 год;
- підготовки до модульної контрольної роботи – 4 год;
- виконання домашньої контрольної роботи – 6 год;
- підготовки до заліку – 6 год.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Правила відвідування занять.

Відвідування лекційних занять є бажаним, хоча і не обов'язковим. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опанувати знання безпосередньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції.

Відвідування лабораторних занять є обов'язковим.

#### Правила поведінки на заняттях.

На усіх заняттях, лекційних і лабораторних, вітається відключення звукових сигналів телефонів.

Під час проведення **очних** лабораторних занять в спеціалізованій аудиторії №209-9 корпусу студенти допомагають викладачу зняти необхідні для проведення заняття наочні моделі з полиць та повернути їх назад на полиці в кінці заняття. На лабораторних заняттях не забороняється користування конспектами лекцій, підручниками, електронними гаджетами для пошуку інформації, що відповідає темі лабораторного заняття.

Умовою допуску до виконання лабораторної роботи є наявність у студента написаного протоколу.

Перевірка правильності виконання завдань і підсумок кількості виконаних моделей проводиться викладачем безпосередньо на занятті.

Студенти можуть опрацювати не виконані на практичному занятті моделі самостійно вдома і надати їх на перевірку викладачу на наступному занятті.

За **дистанційної** форми навчання у сервісі Telegram викладач створює групу, назва якої

складається із номера групи і назви дисципліни, і до якою староста групи приєднує усіх студентів. Протокол лабораторної роботи напередодні заняття завантажується до цієї групи. Перевірка правильності виконання завдання лабораторної роботи здійснюється під час заняття дистанційно із використанням цієї Telegram групи. Для підведення підсумку оформлену за усіма вимогами лабораторну роботу студенти завантажують до GoogleClassRoom “Кристалохімія тугоплавких сполук”. Перевірка здійснюється упродовж тижня після останнього заняття за відповідною темою.

Перескладання МКР проводиться за взаємною домовленістю студентів і викладача.

Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського” відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті НН ІМЗ ім. Є. О. Патона.

Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі 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)**

### **8.1. Види контролю:**

- Поточний контроль: лабораторні роботи, модульна контрольна робота (МКР), домашня контрольна робота (ДКР).
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.
- Семестровий контроль: залік

Кожний вид робіт оцінюється за 100-бальною шкалою. Семестрова оцінка формується як середня із суми оцінок за кожний вид робіт, що виконуються упродовж семестру:

$$O_{\text{семестр}} = \frac{\sum_{1-10} O_{\text{ЛР}} + O_{\text{МКР}} + O_{\text{ДКР}}}{12}.$$

### **8.2. Критерії нарахування балів.**

#### **Лабораторні роботи.**

До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із:

- номера лабораторної роботи;
- назви лабораторної роботи;
- мети лабораторної роботи;
- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначання та умовні позначення;
- порядок виконання.

За наявності протоколу кожна лабораторна робота оцінюється за кількість самостійно виконаних завдань на лабораторному занятті, позитивна оцінка складає 60–100 балів.

Кількість завдань визначається в залежності від складності теми лабораторної роботи і кількості годин, що відводяться на виконання роботи і оголошується викладачем на початку заняття.

Штрафні бали призначаються за:

- відсутність протоколу – 10 балів;
- протокол, що не відповідає вимогам – 5 балів;

## *Бірюкович Л. О. Дефекти кристалічної структури тугоплавких сполук*

- *несамостійна робота на лабораторному занятті – 5 балів.*

### **Модульна контрольна робота.**

*За очної форми навчання МКР включає п'яти пунктів аналітичного опису, які необхідно виконати для однієї кристалічної структури тугоплавкого карбіду або нітриду. Позитивна оцінка 60–100 балів.*

*Відповідь на кожне пункт аналітичного опису завдання максимально оцінюється, відповідно:*

- *Зобразити проєкцію елементарної комірки тугоплавкого карбіда або нітрида та елементів симетрії на площину (001) – 20 балів;*
- *Визначити тип комірки Браве – 10 балів;*
- *Визначити координаційні числа та координаційні многогранники – 25 балів;*
- *Визначити число структурних та формульних одиниць – 25 балів;*
- *Записати просторову групу – 20 балів.*

*За відсутності зазначених пунктів завдання оцінка зменшується на відповідну кількість балів; за кожну помилку оцінка зменшується на 2 бали.*

*За дистанційної форми навчання МКР виконується онлайн із використанням тестових питань у Google Form. Оцінка формується як сума балів отриманих за відповідь на кожне питання МКР.*

### **Домашня контрольна робота.**

*У ДКР студент повинен виконати завдання усіх лабораторних робіт для певної тугоплавкої структури. Позитивна оцінка 60–100 балів.*

*Відповідь на кожний пункт аналітичного опису завдання максимально оцінюється, відповідно:*

- *Зобразити проєкцію елементарної комірки тугоплавкої сполуки та елементів симетрії на площину (001) або (0001) – 10 балів;*
- *Визначити тип комірки Браве – 5 балів;*
- *Визначити координаційні числа та координаційні многогранники – 10 балів;*
- *Визначити число структурних та формульних одиниць – 10 балів;*
- *Записати просторову групу – 5 балів.*
- *Визначити базис кристалічної комірки – 10 балів.*
- *Розрахувати рентгенівську густину та ретикулярну щільність ідеальної і дефектної кристалічної структури – 50 балів.*

*За відсутності зазначених пунктів завдання оцінка зменшується на відповідну кількість балів; за кожну помилку оцінка зменшується на 2 бали.*

### **Календарний контроль.**

*Календарний контроль (КК) проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го КК студенту необхідно виконати мінімум 50 % завдань з лабораторних робіт №1–№3. Для позитивного оцінювання 2-го КК студенту необхідно виконати мінімум 50 % завдань з лабораторних робіт №4–№8 та написати МКР що найменше на 50 балів.*

### **Залік.**

*Умовою допуску до заліку є виконання усіх лабораторних робіт на 60–100 балів, написання модульної контрольної роботи та домашньої контрольної роботи на 60–100 балів.*

*Студенти, середня оцінка яких за завдання, що виконувались упродовж семестру склала не менше 60 балів мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.*



## *Бірюкович Л. О. Дефекти кристалічної структури тугоплавких сполук*

*Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу, але у цьому випадку попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.*

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

*За очної форми навчання кожне завдання залікової контрольної роботи (ЗКР) містить два теоретичних запитання і одне практичне завдання, які виконувались на лабораторних роботах. Приклад завдання для ЗКР наведено у Додатку А. Перелік запитань, що виносяться на ЗКР наведений у Додатку Б. ЗКР проводиться письмово. На підготовку відповідей на запитання завдання ЗКР виділяється 1 академічна година часу.*

*Сумарна максимальна оцінка складає 100 балів, відповідно:*

- Максимальна оцінка за правильну відповідь на кожне теоретичне питання складає 30 балів.*
- Максимальна оцінка за правильно розв'язане практичне завдання – 40 балів.*

*Під час розв'язування задачі студент може користуватися кристалічними ґратками речовин та сполук.*

*Оцінка за відповідь знижується по кожному з питань – за принципові помилки у відповіді на 20-15 балів, за неповну відповідь на 15-10 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.*

*За умови **дистанційного** навчання ЗКР складається з двох частин представляє собою тестові теоретичні питання та індивідуальне завдання. Оцінка формується як сума балів отриманих за відповідь на кожне питання ЗКР.*

### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- студенти можуть отримати 10 балів за сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни.*

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом, к. т. н., доцентом, Бірюкович Ліною Олегівною

**Ухвалено** кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 21 від 08 липня 22 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 10/22 від 10 липня 2022 р.)

**Додаток А**  
**Приклад завдання залікової контрольної роботи**

1. Пояснити, які електронні конфігурації у конфігураційній моделі речовини вважаються валентноутворюючими і чому.
2. Охарактеризувати властивості карбідів і нітридів перехідних металів IV-VI груп та пояснити, що визначає високу твердість цих сполук.
3. Визначити та зобразити на площині проєкції (001) елементи симетрії елементарної ґратки TiC.

**Додаток Б**

**Перелік питань, що виносяться на залікову контрольну роботу**

1. Історичний та сучасний погляд на речовини, що відносять до тугоплавких.
2. Етапи розвитку уяви про речовину та матеріали з цієї речовини.
3. Причини виникнення різноманітних моделей конденсованого стану речовини. Наведіть приклади таких моделей.
4. Конфігураційна модель речовини. Основні положення.
5. Які електронні конфігурації у конфігураційній моделі речовини вважаються валентноутворюючими? Поясніть чому.
6. "Фази проникнення". Які сполуки відносять до "фаз проникнення"? Правило Хегга.
7. Поясніть різниці між поняттями "фаза проникнення" та "твердий розчин проникнення". Які сполуки утворюють перехідні метали з легкими неметалами?
8. Тугоплавкі сполуки. Визначення та класифікація.
9. Які речовини утворюють тугоплавкі сполуки та які види зв'язку виникають в них?
10. Чому і яким чином відбувається перебудова первинної кристалічної ґратки метала під час утворення тугоплавких сполук?
11. Які сполуки утворюють перехідні метали IV-VI груп з вуглецем? Який структурний тип кристалічних ґраток монокарбідів перехідних металів IV- VI?
12. Які координаційні поліедри утворюються в монокарбідах перехідних металів IV-VI груп? Які з них є структурно змінними, а які структурно сталими?
13. У порожнинах якої форми розташовуються атоми неметалу в фазах проникнення? Які вимоги до розміру цих порожнин?
14. Який структурний тип кристалічної ґратки утворюється, якщо атоми неметалу заповнюють усі октаедричні пустоти гранецентрованої кубічної ґратки?
15. Що таке області гомогенності? За рахунок чого зберігається кристалічна структура фази проникнення в області гомогенності?
16. Класифікація кристалічних структур карбідів перехідних металів IV-VI груп за розташуванням атомів вуглецю та металу.
17. Які сполуки утворюють перехідні метали IV-VI груп з азотом? Який структурний тип кристалічних ґраток мононітридів та субнітридів перехідних металів IV-VI?
18. У порожнинах якої форми розташовуються атоми азоту в нітридах перехідних металів IV-VI груп? Які вимоги ставляться до розміру цих порожнин.
19. Що спільного і чим відрізняються карбіди та нітриди перехідних металів IV-VI груп?
20. Властивості карбідів і нітридів перехідних металів IV-VI груп. Що визначає високу твердість цих сполук?
21. Властивості карбідів і нітридів перехідних металів IV-VI груп. Що визначає високу температуру плавлення цих сполук?
22. Властивості карбідів і нітридів перехідних металів IV-VI груп. Що обумовлює специфічні електричні властивості цих сполук?
23. Особливості електронної будови боридів.
24. Які структурні елементи утворюють атоми бору в сполуках? Структурний тип  $AlB_2$ .
25. Бориди з каркасом з атомів бору. Структурний тип  $CaB_6$ .
26. Бориди з каркасом з атомів бору. Структурний тип  $UB_4$ .
27. Бориди з каркасом з атомів бору. Структурний тип  $UB_{12}$ .
28. Властивості боридів перехідних металів. Що впливає на різницю у властивостях боридів і карбідів, нітридів?
29. Особливості будови силіцидів перехідних металів.

30. Класифікація силіцидів. Іонно-ковалентні силіциди.
31. Класифікація силіцидів. Металоподібні силіциди.
32. Класифікація силіцидів. Ковалентні силіциди.
33. Структурні елементи атомів кремнію в сполуках.
34. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Нітрид бору.
35. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Нітрид алюмінію.
36. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Карбід бору.
37. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Нітрид бору.
38. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Нітрид кремнію.
39. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Карбід кремнію.
40. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Борид кремнію.
41. Структурно-чутливі і структурно-нечутливі властивості.
42. Класифікація дефектів кристалічної будови.
43. Види точкових дефектів: вакансії, міжвузольні атоми, домішкові атоми. Комплекси точкових дефектів.
44. Спотворення кристалічної ґратки навколо точкових дефектів.
45. Енергія утворення точкових дефектів.
46. Рівноважна концентрація точкових дефектів.
47. Комплекси точкових дефектів, їх конфігурація і енергія зв'язку.
48. Рухливість точкових дефектів і їх простих комплексів.
49. Виникнення та відпал точкових дефектів. Джерела і стоки точкових дефектів.
50. Способи введення нерівноважної концентрації точкових дефектів: гарт, пластична деформація, опромінення.
51. Поведінка вакансій при загартуванні і відпалі.
52. Експериментальні методи постереження і дослідження точкових дефектів.
53. Методи визначення концентрації вакансій, енергії утворення і енергії активації міграції точкових дефектів.
54. Основні типи дислокацій та їх рух.
55. Крайова дислокація. Ковзання і переповзання крайових дислокацій.
56. Гвинтові дислокація. Ковзання гвинтової дислокації.
57. Змішані дислокації.
58. Призматичні дислокації.
59. Вектор і контур Бюргерса. Основні особливості вектора Бюргерса дислокацій.
60. Щільність дислокацій.
61. Повні та часткові дислокації.
62. Розтягнуті дислокації.
63. Енергетичний критерій дислокаційних реакцій (критерій Франка).
64. Щільні упаковки та дефекти упаковки.
65. Часткові дислокації на межі дефекта упаковки.
66. Дислокації Шоклі та дислокації Франка.
67. Стандартний тетраедр Томпсона і дислокаційні реакції в ГЦК ґратці.
68. Вершинні дислокації і дислокації Ломер – Коттрелла.
69. Утворення дислокацій.
70. Розмноження дислокацій за пластичної деформації.
71. Дисклінації. Дисклінації в безперервному пружньому середовищі.
72. Дисклінації в кристалічній ґратці. Диспірації.

- 73. Границі зерен. Геометрія границь зерен.*
- 74. Границі нахилу, крутіння.*
- 75. Кристалографія границь зерен за кутом разорієнтації.*
- 76. Види границь зерен. Малокутові границі зерен, їх структура.*
- 77. Границі субзерен.*
- 78. Міжфазні границі. Полігогізація.*
- 79. Висококутові границі зерен.*
- 80. Спеціальні та довільні границі зерен.*
- 81. Двійникові границі.*
- 82. Енергія границь зерен.*
- 83. Моделі структури спеціальних висококутових меж зерен.*
- 84. Гратка співпадаючих вузлів (PCY), повна гратка накладення (ПРН), модель структурних елементів.*
- 85. Дефекти структури границь зерен. Зернограничні дислокації та вакансії.*
- 86. Тривимірні недосконалості кристалічної гратки. Пори, тріщини, виділення.*