



програма з дисципліни

«Кристалографія і дефекти кристалічної будови»

(назва навчальної дисципліни)

спеціальності 132 «Матеріалознавство»,

(код і найменування спеціальності)

освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство», «Композиційні та порошкові покриття».

(назва освітньої програми (спеціалізації))

Розробник: Смоляков О.В., професор кафедри фізичного матеріалознавства, д.ф.-м.н., доцент

(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Програма погоджена:

Завідувач кафедри



Ольшанецький В.І.О.

фізичного матеріалознавства

22.08 2024

Гарант освітньої програми



Валерій ВІНЧЕНКО

(імя прізвище)

22.08 2024

Схвалено науково-методичною комісією \_\_\_\_\_

факультету

(найменування факультету)

Протокол від «22» серпня 2024 року № 1

Голова науково-методичної комісії



Олександр КЛИМОВ

(імя прізвище)

22.08 2024

## 1. Опис навчальної дисципліни

### Загальна характеристика

<b>Обов'язковий освітній компонент</b>	
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський) рівень
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Обмеження щодо форм навчання	Без обмежень

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів	6	
Модулів	1	1
Змістових модулів	2	2
Семестр	3	3
Загальна кількість годин	180	
з них аудиторних:	60	14
<i>лекції</i>	30	8
<i>практичні</i>	-	-
<i>лабораторні</i>	30	6
<i>семінарські</i>	-	-
з них самостійної роботи:	120	166
Занять на тиждень	4	14
Індивідуальні завдання		
Форма контролю	екзамен	
Курсова робота (проект) (загальний обсяг)	-	

## 2. Мета навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є опанування студентами знань, щодо зовнішньої та внутрішньої будови кристалів, дефектів кристалічної структури реальних кристалів та їх впливу на властивості матеріалів. Освоїти основи геометричної кристалографії, що розглядає закономірності зовнішньої форми кристалів, та структурної кристалографії, що вивчає атомну будову кристалів, типи кристалічних ґраток і їх характеристики, а також дефекти будови реальних кристалів.

## 3. Завдання вивчення дисципліни

Основне завдання навчальної дисципліни розвинення знань та практичних навичок студентів у визначенні особливостей кристалічної будови металів та сплавів. Поглиблене розуміння процесів кристалізації та властивостей сплавів металевих систем, опанування закономірностей будови кристалічних структур. Засвоєння основ геометричної та структурної кристалографії; знати основні типи кристалічних ґраток та їх характеристики; вивчення геометрії дефектів будови кристалічних ґраток; поглиблення знань, щодо ролі внутрішньої кристалічної будови у формуванні властивостей різних матеріалів. ....

## 4. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни

Пререквізити: (перелік компетентностей та програмних результатів навчання).  
У результаті вивчення компоненту студент повинен отримати:

### загальні компетентності:

**КЗ.05.** Здатність приймати обґрунтовані рішення

**КЗ.06.** Здатність до адаптації та дії в новій ситуації

**КЗ.08.** Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово

**КЗ.14.** Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя

### спеціальні (фахові) компетентності:

**КС.01.** Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань

**КС 03.** Здатність продемонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в галузі матеріалознавства

**КС.04.** Здатність працювати в групі над великими інженерними проектами у сфері матеріалознавства

**КС.05.** Здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем

**КС.07.** Здатність продемонструвати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства

**КС.08.** Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів

**КС.09.** Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем

### **Очікувані програмні результати навчання:**

**РН.2.** Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

**РН.10.** Уміти поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання.

**РН.13** Розуміти будову металевих, неметалевих, композиційних та функціональних матеріалів та обирати оптимальні методи модифікації їх властивостей.

## **5. Зміст навчальної дисципліни**

### **Змістовий модуль 1. Геометрична і структурна кристалографія.**

**Тема 1. Вступ. Основні властивості кристалів: огранка, симетрія, анізотропія.**

Вступ (предмет, задачі, та зміст дисципліни), основні поняття і терміни. Основні чотири напрямки вивчення кристалографії. Геометрична кристалографія. Структурна кристалографія і кристалохімія, кристалофізика та фізико-хімічна кристалографія. Поняття кристалічної речовини. Загальні властивості кристалів. Поліморфізм та ізоморфізм. Закон Вульфа щодо утворення певної форми кристала. Поняття континуума і дисконтинуума.

**Тема 2. Сферичні, стереографічні та гномостереографічні проекції.**

Закон постійності кутів. Особливості проектування кристалів. Елементи сферичної проекції. Поліус грані. Полярна відстань і довгота, кутові інтервали зміни сферичних координат. Способи зображення поліусів граней. Стереографічні проекції напрямків і площин в залежності від їх орієнтації. Способи зображення. Властивості стереографічної проекції і її використання для вирішення задач. Гномостереографічна проекція, її застосування. Устрій координатної сітки Вульфа, принцип її побудови і способи визначення заданих проекцій.

**Тема 3. Точкові елементи симетрії. Теорема про взаємодію елементів симетрії.**

Симетрія кристалів. Симетричні перетворення: відображення в точці або інверсія; дзеркальне відображення в площині; поворот на певний кут; складна взаємодія інверсії і повороту. Взаємодія елементів симетрії. Теорема Ейлера. Основні теореми для визначення формули симетрії. Використання стереографічної

проекції для вирішення задач при визначенні сумарної дії при складанні елементів симетрії.

#### **Тема 4. Просторові ґратки кристалів. Трансляційна симетрія.**

Елементарна комірка, її геометричні константи. Примітивна елементарна комірка. Комірка Вігнера-Зейца. Базисні вектори трансляцій. Вектори трансляції. Обернена ґратка. Перехід від ґратки кристалу до оберненої ґратки.

#### **Тема 5. Кристалографічні системи та категорії. Ґратки Браве.**

Характеристика і типи п'яти плоских сіток Браве. Ретикулярна щільність атомної сітки. Поняття міжплощинної відстані. Basisцентрована, об'ємцентрована та гранецентрована комірки. Кристалографічні системи координат, їх вибір. Сингонії кристалів. Типи ґраток Браве. Правила вибору елементарних комірок. Обернені ґратки для об'ємцентрованих та гранецентрованих ґраток. Базис кристалічної структури.

#### **Тема 6. Метод кристалографічного індиціювання.**

Особливості використання кристалографічних символів для позначення вузлів, напрямків і площин. Позначення сукупностей симетрично рівних напрямків і площин. Залежність кількості площин в сукупності від сингонії. Індеси Мілера-Браве в гексагональній сингонії. Кристалографічна зона, умова зональності Вейса. Зони в кристалах.

#### **Тема 7. Елементи симетрії просторових нескінчених структур (дисконтинуума). Просторові групи симетрії.**

Елементи симетрії просторових нескінчених структур(дисконтинуума); трансляція, площини ковзного відбиття, гвинтові осі. Порядок осі. Позначення площин ковзного відбивання Точкові і просторові групи. Позначення просторових груп симетрії.

### **Змістовий модуль 2. Дефекти кристалічної будови**

#### **Тема 8. Характеристика найбільш щільних пакувань в ГЦП і ГЦК ґратках. Поняття макро- і мікроскопічного розміру дефекту.**

Характеристика найбільш щільних пакувань в ГЦП і ГЦК ґратках. Ретикулярна густина атомів. Октаедричні та тетраедричні пори. Класифікація дефектів за розмірністю Точкові нульвимірні дефекти. Власні і домішкові дефекти. Зміщення атомів навколо вакансії. Утворення вакансій за механізмом Шоттки. Дефект Френкеля. Поняття стоків. Міжвузлові атоми.

#### **Тема 9. Точкові дефекти. Конфігураційна і коливальна ентропія. Комплекси точкових дефектів.**

Енергія утворення вакансій і міжвузлових атомів. Концентрація вакансій. Зв'язок із температурою плавлення металів. Міграція міжвузлових атомів. Вакансійний механізм міграції домішкових атомів заміщення. Роль октаедричних і тетраедричних пор в міграції атомів впровадження при їх переміщенні. Комплекси точкових дефектів: дівакансії і тетравакансії, вакансійні пори, гантель краудіон.

#### **Тема 10. Основні типи дислокацій. Ковзання крайової дислокації.**

Геометрична і атомна модель крайової дислокації. Ковзання і переповзання крайової дислокації. Геометрична і атомна модель гвинтової дислокації. Переміщення гвинтової дислокації. Криволінійні дислокації змішаної орієнтації.

**Тема 11. Контур та вектор Бюргерса. Визначення густини дислокацій.**

Кількісні характеристики дислокацій: контур і вектор Бюргерса. Запис вектора Бюргерса, його потужність (величина). Густина дислокацій. Залежність міцності від густини дислокацій. Утворення дислокацій. Джерело Франка-Ріда. Повні і часткові дислокації. Дислокаційні реакції. Методи виявлення дислокацій.

**Тема 12. Взаємодія дислокацій різного знаку. Утворення дефектів пакування в ГЦК і ГЦП гратках.**

Взаємодія дислокацій різного знаку. Утворення дефектів пакування в ГЦК і ГЦП гратках. Запис дефектів пакування впровадження і віднімання, геометрична схема розташування площин в області дефектів пакування. Енергія дефектів пакування, експериментальне спостереження дефектів пакування в електронному мікроскопі.

**Тема 13. Двійникування як механізм пластичної деформації. Будова малокутових границь субзерен.**

Розташування атомів в області двійника. Кристалографічна система площин і напрямків при двійникуванні. Експериментальне виявлення двійників в структурі сплавів. Великокутові і малокутові границі зерен. Моделі будови великокутових границь, кут і розорієнтування ґраток суміжних зерен. Вектор і кут розорієнтування.

### 6. Орієнтовний розподіл навчального часу

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		лк	пр	лаб	інд	с.р.		лк	пр	лаб	інд	с.р.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
<b>Змістовий модуль 1 Геометрична і структурна кристалографія</b>												
Тема 1. Вступ. Основні властивості кристалів: огранка, симетрія, анізотропія.	8	2				6	8					8
Тема 2 Сферичні, стереографічні та гномостереографічні проєкції.	18	2		8		8	18	2				16
Тема 3 Точкові елементи симетрії. Теореми про взаємодію елементів симетрії.	16	2		4		10	16			2		14
Тема 4 Просторові ґратки кристалів. Трансляційна симетрія.	10	2				8	10					10
Тема 5 Кристалографічні системи та категорії. Ґратки Браве	10	2				8	10					10
Тема 6 Метод кристалографічного індиціювання	14	2		4		8	14	2				12
Тема 7 Елементи симетрії просторових нескінчених структур (дисконтинуума). Просторові групи симетрії.	20	4		4		12	20			2		18
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>96</b>	<b>16</b>		<b>20</b>		<b>60</b>	<b>96</b>	<b>4</b>		<b>4</b>		<b>88</b>
<b>Змістовий модуль 2 Дефекти кристалічної будови</b>												
Тема 8 Характеристика найбільш щільних пакувань в ГЦП і ГЦК ґратках. Поняття макро- і мікроскопічного розміру дефекту	16	2		4		10	16					16
Тема 9 Точкові дефекти. Конфігураційна і коливальна ентропія. Комплекси точкових дефектів	12	2				10	12	2				10
Тема 10 Основні типи дислокацій. Ковзання та переповзання дислокацій.	12	2				10	12					12
Тема 11 Контур та вектор Бюргерса. Визначення густини дислокацій	20	4		6		10	20			2		18
Тема 12 Взаємодія дислокацій різного знаку. Утворення дефектів пакування в ГЦК і ГЦП ґратках	12	2				10	12	2				10
Тема 13 Двійникування як механізм пластичної деформації. Будова мало куткових границь субзерен.	12	2				10	12					12
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>84</b>	<b>14</b>		<b>10</b>		<b>60</b>	<b>84</b>	<b>4</b>		<b>2</b>		<b>78</b>
<b>Усього годин</b>	<b>180</b>	<b>30</b>		<b>30</b>		<b>120</b>	<b>180</b>	<b>8</b>		<b>6</b>		<b>166</b>



## 7. Теми лабораторних занять.

№ з/п	Тема	Кількість годин
1	Кристаліграфічні проєкції.	4
2	Стереографічна сітка Вульфа та розв'язання за її допомогою кристаліграфічних задач.	4
3	Симетрія кристалів.	4
4	Визначення кристаліграфічних символів вузлів, напрямків та площин в кристалічних ґратках.	4
5	Типи елементарних комірок Браве та їх кількісні характеристики.	4
6	Визначення найбільш щільнопакованих напрямків і площин в основних ґратках металів. види щільнопакованих структур.	4
7	Кристаліграфічний аналіз дислокацій та їх кількісні характеристики.	4
8	Контрольна робота	2
	<b>Усього</b>	<b>30</b>

## 8. Форми та методи контролю

Методами контролю є: усний контроль (усне опитування), письмовий, тестовий, графічний, програмований контроль, практична перевірка, а також методи самоконтролю і самооцінки.

## 9. Критерії оцінювання результатів навчання

**Оцінювання:** за результатами засвоєння дисципліни складається екзамен. У разі відвідування всіх занять і своєчасного виконання всіх видів робіт може здійснюватися контроль навчання за умови активної роботи студентів на лекціях. Для студентів денної форми навчання проводиться тестування на лабораторних заняттях, аудиторна контрольна робота. Для кінцевого контролю використовується наступна схема оцінювання розподілу балів (за засвоєння тем курсу) з отриманням підсумкової середньозваженої оцінки:

## 10. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота													Підсумковий тест (іспит)	Підсумкова середньозважена оцінка
Змістовий модуль 1							Змістовий модуль 2						100	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13		
7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	10	8	8		

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів.

Позитивними оцінками для всіх форм контролю є оцінки від 60 до 100 балів за 100-бальною шкалою та оцінка «зараховано» за двобальною. Межею незадовільної оцінки за результатами підсумкового контролю є оцінка нижче 60 балів за 100-бальною шкалою або оцінка «не зараховано» за двобальною

шкалою. Отримання оцінки 60 балів та вище або оцінки «зараховано» передбачає отримання позитивних оцінок за всіма, визначеними програмою освітнього компонента, обов'язковими видами поточного, проміжного (рубіжного) контролю

### **11. Політика курсу**

Політика курсу ґрунтується на тісній взаємодії викладача і студента, регулярному спілкуванні з метою допомоги при вивченні курсу. При цьому передбачається обов'язкове відвідування занять і виконання запланованих завдань у встановлені терміни. Виконання завдань пізніше встановленого терміну допускається лише після відпрацювання студентом передбачених навчальним планом робіт. Студент повинен дотримуватися політики академічної доброчесності. Академічна доброчесність визначається Кодексом академічної доброчесності Національного університету «Запорізька політехніка»  
[https://zp.edu.ua/uploads/dept\\_nm/Nakaz\\_N253\\_vid\\_29.06.21.pdf](https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Nakaz_N253_vid_29.06.21.pdf) .

### **12. Методичне забезпечення**

1. Конспект лекцій з дисципліни «Кристалографія і дефекти кристалічної будови» - <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=3566>
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт - <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=3566>
3. Навчальні моделі кристалів, макети просторових ґраток, сітка Вульфа.

### **13. Перелік навчальної, наукової та довідкової літератури**

1. Методичні вказівки та завдання до виконання лабораторних і контрольних робіт із дисципліни «Кристалографія та дефекти кристалічної будови» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної та заочної форми навчання / Укл. Л.П. Степанова, В.Я. Грабовський, О.В. Лисиця – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019.-82с
2. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л. О. Бірюкович ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.832 Кбайт). – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с.
3. Зиман З. З. Основи структурної кристалографії: Навчальний 362 посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2008. – 212 с.
4. Геометрична кристалографія. Ч. 1: навч. посібник для студентів ОКР «Бакалавр» напряму 6.040103 – геологія / укл.: Н.О. Словотенко, І.Т. Бакуменко. – Львівський національний університет імені Івана Франка, 2015. – 96 с.

5. Геометрична кристалографія. Ч. 2: навч. посібник для студентів ОКР «Бакалавр» напряму 6.040103 – геологія / укл.: Н.О. Словотенко, І.Т. Бакуменко. – Львівський національний університет імені Івана Франка, 2015. – 88 с.

6. Пчелінцев В.О. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2007. – 226 с.

7. Конспект лекцій з дисципліни «Кристалографія» для здобувачів освітнього ступеня бакалавра спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної форми навчання / [Упоряд.: С.О. Колінько., Т.І. Бутенко, Ващенко В.А.]; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2020. – 99 с.

8. Оліх О.Я. Дефекти у напівпровідникових та діелектричних кристалах. – Вінниця : ФОП Корзун Д.Ю., 2016. – 152 с.

9. Основи матеріалознавства. Частина 1. Властивості матеріалів та методи їх дослідження. Конспект лекцій для студентів хімічного факультету / Укладачі: Юрченко О.М., Кормош Ж.О., Парасюк О.В. – Луцьк: Вежа-друк. – 44 с

10. Рентгеноструктурний аналіз у матеріалознавстві: навч.-метод. посіб.: [для вищ. навч. закл.] / С. І. Мудрий, Ю. О. Кулик, А.С. Якимович. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 226 с.

11. Холявко В. В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В. В. Холявко, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.

12. Основи кристалографії: навчальний посібник/ Укл.: І.М. Фодчук, О.О. Ткач. – Чернівці: ЧНУ, 2007 – 108. с.

#### **14.Рекомендовані інформаційні джерела**

1. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/94c2992a-a768-4ef6-a122-28441f2e85d5/content>
2. [https://shron1.chtyvo.org.ua/Fodchuk\\_Ihor/Osnovy\\_krystalohrafii.pdf](https://shron1.chtyvo.org.ua/Fodchuk_Ihor/Osnovy_krystalohrafii.pdf)
3. [https://gppkk.nmu.org.ua/ua/navchalno\\_ped/geom\\_cryst.pdf](https://gppkk.nmu.org.ua/ua/navchalno_ped/geom_cryst.pdf)
4. <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi78/0058310.pdf>
5. <http://lib.ktu.edu.ua/wp-content/uploads/2014/03/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F.pdf>