**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Кафедра** «Фізичне матеріалознавство»
(найменування кафедри)

# СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

# ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛІВ

(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма: Композиційні та порошкові матеріали, покриття
(назва освітньої програми)

Спеціальність: 132 Матеріалознавство
(найменування спеціальності)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти: бакалавр
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри
Фізичне матеріалознавство
(найменування кафедри)

Протокол № 1 від 06 вересня 2021 р.

м. Запоріжжя 2021

| 1. Загальна інформація | |
|---|---|
| **Назва дисципліни** | Дисципліна **«Фізика конденсованого стану матеріалів»** відноситься до дисциплін циклу загальної підготовки; нормативної (обов'язкової) частини. |
| **Рівень вищої освіти** | Перший (**бакалаврський**) рівень |
| **Викладач** | **Ольшанецький Вадим Юхимович**, д.т.н., проф. кафедри «Фізичне матеріалознавство» |
| **Контактна інформація викладача** | Телефон кафедри: +380(61)769-82-82, телефон викладача: (050)5773153 |
| **Час і місце проведення навчальної дисципліни** | Аудиторії кафедри «Фізичне матеріалознавство» згідно з розкладом |
| **Обсяг дисципліни** | Кількість кредитів – 4; загальна кількість годин – 120. Розподіл годин для студентів денного відділення: лекції – 28 годин; лабораторні – 14 годин; самостійна робота – 78 годин; для студентів заочного відділення: лекції – 6 години; лабораторні – 2 години; самостійна робота – 112 години. Вид контролю – екзамен. |
| **Консультації** | Згідно з графіком консультацій |

## 2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни

Дисципліна **«Фізика конденсованого стану матеріалів»** базується на знаннях окремих розділів таких дисциплін, як "Фізика", "Хімія", "Металознавство", "Кристалографія і дефекти кристалічної будови", що обов`язково передують цьому курсу. Дисципліна складає необхідний фундамент для активного засвоєння таких дисциплін як "Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів", "Механічні властивості матеріалів та конструкційна міцність виробів", для виконанні науково-дослідних та дипломних робіт.

## 3. Характеристика навчальної дисципліни

**Завдання вивчення дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів»:** розвинення знань та практичних навичок студентів в опануванні основних теоретичних понять та їх використання в прикладних справах.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати:

**загальні компетентності:**

**КЗ.01.** Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

**КЗ.03.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**КЗ.04.** Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

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

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

**спеціальні (фахові) компетентності:**

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

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

**КС.08.** Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності.

**Очікувані програмні результати навчання:**

**ПРН1.** Володіти логікою та методологією наукового пізнання.

**ПРН2.** Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

**ПРН4.** Передавати свої знання, рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і неспеціалістам в ясній і однозначній формі.

**ПРН7.** Володіти навичками, які дозволяють продовжувати вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**ПРН8.** Уміти застосовувати свої знання для вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.

## 4. Мета вивчення навчальної дисципліни

**Мета вивчення дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів»:** створення наукової бази для успішного засвоєння багатьох науково-технічних курсів, що визначають необхідний фаховий рівень спеціальності «132 Матеріалознавство».

## 5. Завдання вивчення дисципліни

Розуміння в питаннях, що стосуються теоретичних розділів дисципліни. Орієнтування у складних питаннях взаємодії і перетворень дефектів атомної будови, фізичної термодинаміки, фізики поверхневих явищ, теорії дифузії, фізики кристалізаційних процесів, кінетики росту зерен тощо; знаходити логічні зв'язки між суто фізичними явищами і розв'язувати задачі теоретичного та прикладного напрямків; оцінювати можливий вплив спостерігаємих явищ на зміни структури і відповідно властивостей металів та сплавів.

## 6. Зміст навчальної дисципліни

**Зміст курсу:** дисципліна надає уявлення щодо основних теоретичних понять матеріалознавства та їх використання в прикладних справах.

**Структура курсу:**

**1.** Вступ. Конденсований стан речовини та міжатомні сили взаємодії.

**2**. Фізична термодинаміка твердих тіл (функції стану та параметри рівноваги термодинамічної системи; основні співвідношення; основне рівняння термодинаміки; вільна енергія Гіббса та Гельмгольца; види рівноваги; поняття термічної та конфігураційної ентропії; елементи геометричної термодинаміки; рівняння фазової рівноваги; правило фаз Гіббса; теоретична побудова діаграм фазової рівноваги сплавів; спінодальний розпад пересиченого розчину; модульовані структури).

**3**. Фізика поверхневих явищ (поверхневі явища в металах та сплавах; поверхневий тиск Лапласа та кристалоповерхневий тиск Вульфа; принцип Гіббса-Кюрі-Вульфа; фізична адсорбція; горофільні та горофобні адсорбати; ефект Ребіндера; рівняння Мак Ліна для зерномежевих сегрегацій домішкових або легувальних елементів).

**4**. Фізична теорія кристалізації (кристалізація в однокомпонентній та складній системі; її термодинамічні умови; фазові переходи І-го та ІІ-го роду; розмір та робота утворення критичного зародка; коалесценція (коагуляція) надлишкових фаз; ефект колоїдної рівноваги; кінетика кристалізаційних процесів; параметри кристалізації; принцип конкуруючих спроможностей реалізації фазового перетворення; правило сходинок Освальда).

**5.** Дифузія в металах і сплавах (самодифузія та гетеродифузія компонентів; І-ий та ІІ-ий закон Фіка; криві Матано; температурний коефіцієнти дифузії; види дифузій; формула Даркена; ефект Кіркендалла; механізми та види дифузії).

**6**. Пружні властивості та енергетика дислокацій і дислокаційних меж (види дислокацій, енергія різних типів дислокацій; дислокаційні джерела Франка-Ріда; розщеплення повних дислокацій в ГЦК та ОЦК-гратках та його енергетичні умови; розтягнуті дислокації; дислокаційні реакції; часткові дислокації Шоклі і Франка; вершинна часткова дислокація Шоклі та дислокаційний бар'єр Ломер-Коттрелла; домішкові атмосфери навколо ліній дислокацій; рух дислокацій в кристалах та перешкоди цьому рухові).

**7.** Фізичні основи міцності і пластичності (теоретична та реальна міцність кристалів; теорії зміцнення кристалів при наклепі; зміцнення металів при легуванні).

## 7. План вивчення навчальної дисципліни

| № тижня | Назва теми | Форми організації навчання | Кіль-кість годин |
|---|---|---|---|
| 1 | Вступ. Конденсований стан речовини та міжатомні сили взаємодії. | Лекції + самостійна робота | 2 + 6 |
| 2-6 | Фізична термодинаміка твердих тіл. | Лекції + лабораторна робота + самостійна робота | 10 + 7 +29 |
| 7 | Фізика поверхневих явищ. | Лекції + самостійна робота | 4 + 4 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8-10 | Фізична теорія кристалізації. | Лекції + лабораторна робота + самостійна робота | 5 + 2 +15 |
| 10-11 | Дифузія в металах і сплавах. | Лекції + лабораторна робота + самостійна робота | 2 + 1 + 5 |
| 11-14 | Пружні властивості та енергетика дислокацій і дислокаційних меж. | Лекції + лабораторна робота + самостійна робота | 6 + 3 + 13 |
| 14 | Фізичні основи міцності і пластичності | Лекції + лабораторна робота + самостійна робота | 1 + 1+ 6 |

## 8. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|---|---|---|
| 1 | Види конденсованого стану речовини. Поняття близького та далекого порядків. Основні види міжатомних взаємодій у твердих тілах. | 1 |
| 2 | Потенціальна (конфігураційна) енергія реальних кристалічних речовин. Хімічна та пружна компоненти цієї енергії. Конфігураційна ентропія твердих однокомпонентних тіл з дефектами кристалічної будови. | 3 |
| 3 | Термодинаміка точкових дефектів та дефектів більшої мірності. Рівноважні та нерівноважні дефекти будови. | 1 |
| 4 | Дефекти пакування та їх взаємодія з атомами домішок або легувальних елементів. | 1 |
| 5 | Функції стану та параметри рівноваги термодинамічної системи. Основні співвідношення. Поняття хімічного потенціалу компонента системи. Оборотні та необоротні процеси. Поняття квазістатичного процесу. Основне рівняння термодинаміки (узагальнене рівняння I та II законів термодинаміки у диференціальній формі). | 3 |
| 6 | Вільна енергія Гіббса (або Гельмгольца) як універсальний критерій рівноваги відкритої термодинамічної системи. Види рівноваги та їх математичні умови. Ентропійне формулювання другого закону термодинаміки. | 3 |
| 7 | Термічні стани та термічна ентропія у статистичній трактовці Больцмана. Статистика Максвелла-Больцмана. Фактор Больцмана і сума станів (парціальна функція). Швидкість реакції (швидкість елементарного процесу) і час релаксації. Рівняння Ареніуса. | 3 |
| 8 | Теорії теплоємності Ейнштейна і Дебая для кристалічних речовин. Теплоємність фаз постійного та змінного складів. Правило Неймана-Копа. | 1,5 |
| 9 | Ентропія бінарного твердого розчину з випадковим розподілом атомів розчинної речовини. Ентропійна крива та її особливості. | 1,5 |
| 10 | Можливості і границі очищення металів від домішок. Метод зонного очищення Пфана. | 1 |
| 11 | Конфігураційна частина внутрішньої енергії твердого розчину. Знак і величина енергії змішання. Поняття ідеального, регулярного та іррегулярного твердих розчинів. Форми кривих внутрішньої енергії. | 3 |
| 12 | Вільна енергія твердих розчинів. F- (або G-) криві. Форма і поведінка F-кривих при змінюванні температури. Кривина F-кривих. Вільна енергія фазової суміші в аналітичній та геометричній трактовках. | 3 |
| 13 | Стабільний стан бінарного сплаву. Принцип загальної дотичної (принцип натягнутої струни). Елементи геометричної термодинаміки. Геометрична трактовка парціальних хімічних потенціалів. Вільні енергії, склад та концентраційні інтервали існування проміжних фаз. | 3 |
| 14 | Рівняння фазової рівноваги. Правило фаз Гіббса. Теоретична побудова діаграм фазової рівноваги (стану) сплавів. Залежність розчинності від температури. Форма ліній сольвусу первинних твердих розчинів. Експоненціальний закон розчинності компонентів в слабких розчинах. | 3 |
| 15 | Спінодальні криві (хімічна та когерентна спінодалі). Спінодальний розпад пересиченого розчину. Уява про модульовані структури. Амплітуда та довжина хвилі концентраційної модуляції. Максимальна температура мікророзшарування пересиченого розчину. | 3 |

| | | |
|---|---|---|
| 16 | Поверхневі явища в металах та сплавах. Поверхневий тиск Лапласа та кристалоповерхневий тиск Вульфа. Теорема Вульфа щодо взаємного розміщення граней кристалу при встановленні механічної рівноваги з оточувальним середовищем. Принцип Гіббса-Кюрі-Вульфа. Рівноважний габітус і симетрія кристалів. | 3 |
| 17 | Фізична адсорбція. Рівняння Гіббса для адсорбції. Горофільні та горофобні адсорбати. Ефект Ребіндера. Рівняння Мак Ліна для зерномежових сегрегацій домішкових або легувальних елементів. | 2 |
| 18 | Кристалізація в однокомпонентній системі. Термодинамічні умови кристалізаційного процесу. Фазові переходи І-го та ІІ-го роду. Формування гомогенних зародків з позиції термодинаміки та молекулярно-кінетичної теорії. Розмір та робота утворення критичного зародка. | 3 |
| 19 | «Підкладочна» дія нерозчинних домішок (вкраплень надлишкових фаз). Крайовий кут «змочування» та співвідношення Юнга. Робота утворення гетерогенного зародка. | 2 |
| 20 | Поліморфні перетворення та їх причини. | 0,5 |
| 21 | Кристалізація у складній системі. Склад зародка у бінарній системі. Правило Томсона-Фрейндліха-Гіббса. Рівновага сферичної частинки фази виділення з насиченого розчину. Розмір критичного зародка у бінарній системі. Рушійна сила утворення зародка. | 3 |
| 22 | Коалесценція (коагуляція) надлишкових фаз. Ефект колоїдної рівноваги ансамблю рівнорозмірних сферичних частинок фази виділення з матрицею. | 1,5 |
| 23 | Кінетика кристалізаційних процесів. Параметри кристалізації та їх зв’язок з температурою переохолодження. Формула Холмогорова-Джонсона-Мейля. | 1,5 |
| 24 | Теорія побудови кривих ізотермічного розпаду пересичених розчинів. Загальна швидкість кристалізації. Сігмодальні криві та їх зв’язок з переохолодженням. Принцип конкуруючих спроможностей реалізації фазового перетворення. Правило сходинок Освальда. | 3 |
| 25 | Самодифузія та гетеродифузія компонентів. Ентропійний принцип дифузійного перемішування речовин. І-ий та ІІ-ий закони Фіка. Розв’язок другого рівняння Фіка та його аналіз. Криві Матано. | 2,5 |
| 26 | Температурний коефіцієнт дифузії. Парціальний та істинний коефіцієнти дифузії. Термодинамічний аналог статичного коефіцієнта дифузії. «Висхідна» дифузія. | 1,5 |
| 27 | Нерівноважна дифузія. Формула Даркена. Ефект Кіркендалла. Механізми та види дифузії. | 1,5 |
| 28 | Енергія різних типів дислокацій. Енергія дислокаційної межі та її залежність від кута дезорієнтації суміжних кристалів. Сила, що діє на одиницю довжини дислокаційної лінії. | 2 |
| 29 | Зв’язок між дотичним напруженням і радіусом кривини дислокаційного сегмента, що є закріпленим на своїх кінцях. Дислокаційні джерела (плоский та просторовий) Франка-Ріда. | 2 |
| 30 | Розщеплення повних дислокацій в ГЦК і ОЦК ґратках та його енергетичні умови. Розтягнуті дислокації та особливості їх пересування. | 2 |
| 31 | Дислокаційні реакції. Критерії Франка щодо цих реакцій. Часткові дислокації Шоклі і Франка. Вершинна часткова дислокація Шоклі та дислокаційний бар’єр Ломер-Коттрелла. Взаємодія повних паралельних дислокацій між собою та з атомами домішок. | 3 |
| 32 | Домішкові атмосфери навколо ліній дислокацій (пружні, хімічні та електричні). | 1 |
| 33 | Рух дислокацій у кристалах. Перешкоди цьому рухові з боку інших дислокацій. Перетворення одних дефектів будови в інші (іншої мірності). Енергетичні умови схлопування вакансійних дисків. | 3 |
| 34 | Теоретична та реальна міцність кристалів. Теорії зміцнення кристалів при наклепі (теорії Зегера, Гілмана та Кульман-Вільсдорф). Змінювання «тонкої» структури металів і сплавів, а також їх основних властивостей при підвищенні загальної густини дислокацій та інших дефектів будови. | 2 |

| | | |
|---|---|---|
| 35 | Зміцнення металів при легуванні. Механізм подолання перешкод (бар'єрів) дислокаціями (модель Орована та інші). | 2 |
| 36 | Дислокаційні моделі механічного та дисперсійного старіння (твердіння). Деякі дислокаційні механізми утворення тріщин. | 2 |
| | Разом | 78 |

## 9. Система та критерії оцінювання курсу

За результатами засвоєння дисципліни складається екзамен.

При оцінюванні враховуються усі види робіт, які виконуються студентами: виконання та захист лабораторних робіт; результати письмових відповідей на поставлені питання при рубіжних контролях; результати письмових відповідей при проведенні екзамену.

Для кінцевого контролю використовується наступна схема оцінювання розподілу балів (за засвоєння тем курсу) з отриманням підсумкової середньозваженої оцінки:

| Поточне тестування та самостійна робота | | | | | | | Підсумковий тест (екзамен) | Сума |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Змістовий модуль 1 | | | Змістовий модуль 2 | | | | 100 | 100 |
| Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | Т6 | Т7 | | |
| 15 | 60 | 25 | 25 | 20 | 40 | 15 | | |

Т1, Т2 … Т7 – теми змістових модулів.

## 10. Політика курсу

У разі невідвідування занять з певних тем та несвоєчасного виконання розділів оцінка може знижуватись шляхом віднімання певної кількості балів у відповідності до вищевказаної таблиці. Зниження оцінки може бути скомпенсоване шляхом відпрацювання пропущених занять та виконання додаткових завдань.

**Академічна доброчесність:** студент повинен виконувати роботи самостійно, не допускається залучення при розв'язання індивідуальних завдань інших здобувачів освіти. У разі виявлення ознак плагіату робота не зараховується і дисципліна не вважається зарахованою.