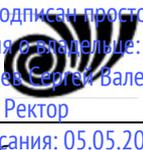


|  |   |        |
|--|---|--------|
| Документ подписан простой электронной подписью<br>Информация о владельце:<br>ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич<br>Должность: Ректор |  МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ<br>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ») |        |
| Дата подписания: 05.05.2025 11:37:27<br>Уникальный программный ключ:<br>04c19ed88fb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323                 | Рабочая программа дисциплины "Фазовые равновесия и структурообразование" по направлению подготовки (специальности) 28.03.02 "Наноинженерия" направленности (профилю) 28.03.02 Нанотехнологии в материаловедении ФГБОУ ВО «ЧелГУ»                                    | стр. 1 |

## Рабочая программа дисциплины (модуля)\*

### Фазовые равновесия и структурообразование

Направление подготовки (специальность)

28.03.02 Наноинженерия

Направленность (профиль)

Нанотехнологии в материаловедении

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2023

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2023 г.



## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины сформировать у студентов теоретические представления о механизмах структурообразования в различных кристаллических твердых телах и металлических материалах и на их основе научить анализировать структуры металлов и сплавов, возникающие при различных процессах: кристаллизации, полиморфных превращениях, деформации и последующем отжиге, старении и других процессах. Научить предсказывать характер изменений структуры в результате внешних воздействий и направление изменения свойств, анализировать и самостоятельно строить фазовые диаграммы и предсказывать на основе фазовых диаграмм изменения структуры и свойств сплавов в различных процессах.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижение индикаторов:

УК-1.1. Выполняет поиск информации, определяет критерии системного анализа поставленных задач

УК-1.2. Использует критический анализ, систематизацию и обобщение информации для решения поставленных задач

ПК-2.1: Знает основные взаимодополняющие методы и методики исследования структуры и свойств наноструктурированных композиционных материалов

ПК-2.2: Умеет: анализировать имеющиеся литературные данные по новым подходам к исследованию структуры и свойств материалов; обеспечивать соблюдение технических условий на всех стадиях проведения комплексных исследований структуры и свойств наноструктурированных композиционных материалов

ПК-2.3: Владеет навыками работы с основной приборной базой для исследования структуры и свойств наноструктурированных композиционных материалов

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.В.06

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Современные технологии поиска и обработки информации

Аналитическая геометрия

Математический анализ

Неорганическая и органическая химия

Физическая химия

Физико-химия неорганических материалов

Физика конденсированного состояния вещества

Новые материалы

Рентгенография и рентгеноструктурный анализ

#### 2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы

Преддипломная практика

Научно-исследовательская работа

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач**

#### **Знать:**

Для достижения УК-1.1: Основные понятия, терминологию и закономерности структурообразования и фазовых превращений материалов

#### **Уметь:**

Для достижения УК-1.2: Осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)

Рабочая программа дисциплины "Фазовые равновесия и структурообразование" по направлению подготовки (специальности) "Наноинженерия" направленности (профилю) Нанотехнологии в материаловедении ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

стр. 4

подход для решения задач исследования структуры и фазовых равновесий материалов

**Владеть:**

Для достижения УК-1.2: Методами поиска и анализа информации при решении научно-исследовательских задач

**ПК-2: Способен организовывать проведение комплексных исследований структуры и свойств наноструктурированных композиционных материалов**

**Знать:**

Для достижения ПК-2.1: закономерности структурообразования различных материалов, а также как влияют дефекты кристаллической структуры на свойства материалов

**Уметь:**

Для достижения ПК-2.2: использовать базовые знания по структурообразованию для разработки технологий синтеза материалов

**Владеть:**

Для достижения ПК-2.3: навыком решения задач в области изучения и анализа структуры материалов

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

|            |   |
|------------|---|
| <b>3.1</b> | <b>Знать:</b>   |
| 3.1.1      | основные классы современных материалов, их свойства и области применения, принципы выбора материалов, основные технологические процессы производства и обработки материалов, особенности жизненного цикла материалов и изделий из них; закономерности структурообразования, фазовые превращения в материалах, влияние структурных характеристик на свойства материалов. |
| <b>3.2</b> | <b>Уметь:</b>   |
| 3.2.1      | выбирать материалы для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, надежности и долговечности изделий; выбирать материалы и технологические процессы для решения задач профессиональной деятельности; определять физические, механические свойства материалов при различных видах испытаний.   |
| <b>3.3</b> | <b>Владеть:</b>   |
| 3.3.1      | принципами выбора материалов для элементов конструкций и оборудования; навыками использования методов структурного анализа и определения физических и физико-механических свойств материалов, техники обработки экспериментальных данных.   |

**4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

|   |  |
|---|--|
| <b>Общая трудоемкость</b>                 | <b>5 ЗЕТ</b>   |
| Часов по учебному плану : 180             | Виды контроля в семестрах:<br>экзамены 8<br>зачеты 7 |
| в том числе :                             |  |
| аудиторные занятия : 82                   |  |
| самостоятельная работа : 85,5             |  |
| :<br>контактная работа: 94,5<br>ИКР: 12,5 |  |

**5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/              | Семестр / Курс | Часов | Литература   |
|-------------|--|----------------|-------|--|
|             | <b>Раздел 1. Кристаллическая структура твердых тел</b> |                |       |  |
| 1.1         | Описание структуры кристаллов /Лек/                    | 7              | 6     | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.2<br>Л2.3 Л2.4 Л2.5<br>Л2.6Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 |



|  |   |   |    |   |
|--|---|---|----|---|
| 1.2  | Кристаллическая структура твердых тел /Ср/                  | 7 | 10 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.2<br>Л2.3 Л2.4 Л2.5<br>Л2.6Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 2. Типы химических связей в твердых телах</b>            |   |   |    |   |
| 2.1  | Основные типы межатомных связей в материалах /Лек/          | 7 | 6  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 2.2  | Типы химических связей в твердых телах /Ср/                 | 7 | 14 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4              |
| <b>Раздел 3. Дефекты кристаллической решетки. Точечные дефекты</b> |   |   |    |   |
| 3.1  | Дефекты кристаллической решетки. /Лек/                      | 7 | 6  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 3.2  | Моделирование диффузии примесей замещения в кристаллах /Пр/ | 7 | 6  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 3.3  | Дефекты кристаллической решетки. Точечные дефекты /Ср/      | 7 | 20 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4              |
| <b>Раздел 4. Основные типы дислокаций и их движение</b>            |   |   |    |   |
| 4.1  | Краевые дислокации /Лек/                                    | 7 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 4.2  | Винтовые и смешанные дислокации /Лек/                       | 7 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 4.3  | Экспериментальные методы исследования дислокаций /Лек/      | 7 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 4.4  | Дислокации в металлах /Лек/                                 | 7 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |



|  |   |   |     |  |
|--|---|---|-----|--|
| 4.5  | Расчет плотности дислокаций по электронно-микроскопическим фотографиям /Пр/ | 7 | 6   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3    |
| 4.6  | Моделирование движения краевых дислокаций /Пр/                              | 7 | 6   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3    |
| 4.7  | Основные типы дислокаций и их движение /Ср/                                 | 7 | 6,7 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 5. Формирование структуры металла при кристаллизации</b> |   |   |     |  |
| 5.1  | Общие представления о фазовых равновесиях /Лек/                             | 8 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3    |
| 5.2  | Кристаллическая структура металлических слитков /Лек/                       | 8 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3    |
| 5.3  | Формирование структуры металла при кристаллизации. /Ср/                     | 8 | 6,8 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 6. Фазы в металлических сплавах</b>                      |   |   |     |  |
| 6.1  | Диаграммы состояния. /Лек/  | 8 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3    |
| 6.2  | Фазы в металлических сплавах /Ср/   | 8 | 8   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 7. Формирование структуры сплавов при кристаллизации</b> |   |   |     |  |
| 7.1  | Особенности фазовых превращений в сплавах в твердом состоянии /Лек/         | 8 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3    |
| 7.2  | Диаграммы состояния, строение и свойства сплавов /Лек/                      | 8 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3    |



|   |  |   |     |   |
|---|--|---|-----|---|
| 7.3   | Построение фазовых диаграмм бинарных расплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику, перитектику /Пр/ | 8 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 7.4   | Построение фазовых диаграмм бинарных расплавов, образующих ограниченные твердые растворы и химические соединения /Пр/  | 8 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 7.5   | Построение фазовых диаграмм тройных систем /Пр/  | 8 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 7.6   | Формирование структуры сплавов при кристаллизации /Ср/   | 8 | 8   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4              |
| <b>Раздел 8. Пластическая деформация и механические свойства.</b> |  |   |     |   |
| 8.1   | Разрушение металлов /Лек/  | 8 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 8.2   | Прочность металлов /Лек/   | 8 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3                 |
| 8.3   | Пластическая деформация и механические свойства /Ср/   | 8 | 12  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4              |
| <b>Раздел 9. Иная контактная работа</b>                           |  |   |     |   |
| 9.1   | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/  | 7 | 5,3 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.2<br>Л2.3 Л2.4 Л2.5<br>Л2.6Л3.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 9.2   | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/  | 8 | 7,2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5<br>Л1.6Л2.1 Л2.2<br>Л2.3 Л2.4 Л2.5<br>Л2.6Л3.1                |

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Контрольные работы, отчеты по практическим занятиям, тест, вопросы к зачету/экзамену

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Контрольные задачи для практических занятий

1. Найти длину вектора элементарной трансляции в кристаллах алмаза, если кристаллическая решетка кубическая гранцентрированная, содержит 8 атомов, межатомное расстояние 1.54 А.



2. Рассчитать коэффициент упаковки для простой кубической решетки
3. Рассчитать коэффициент упаковки для простой кубической объемноцентрированной решетки
4. Рассчитать коэффициент упаковки для простой кубической гранецентрированной решетки
5. Найти постоянную Маделунга для линейной цепочки равноудаленных ионов с чередующимися зарядами.
6. Найти постоянную Маделунга для линейной цепочки равноудаленных ионов с чередующимися зарядами методом Эвьена.
7. Найти постоянную Маделунга для квадратной сетки ионов.
8. Найти постоянную Маделунга для первой ячейки Эвьена кристалла для NaCl.
9. В меди, закаленной с 600о С, содержится  $1.1 \cdot 10^{-5}$  % ( ат. ) вакансий. Какую температуру закалки следует выбрать, чтобы концентрация порядка возросла на два порядка?
10. Оцените средние расстояния между равновесными вакансиями в алюминии при 27о С и между закалочными вакансиями при той же температуре после закалки с 627о С (при условии, что все высокотемпературные моновакансии «замораживаются» и распределены статистически равномерно).
11. Металл содержит 0.1% (ат.) равномерно распределенной примеси замещения. Определите среднее расстояние между примесными атомами в единицах периода г. ц. к. и о. ц. к. решетки.
12. Покажите с помощью построения, что вектор Бюргерса прямолинейной цепочки межузельных атомов, расположенной в направлении  $\langle 100 \rangle$  кубической решетки, равен нулю.
13. В образце алюминия после резкого охлаждения в воде появились дислокационные петли, число которых равно  $1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>, а средний диаметр 30 нм. Оцените концентрацию вакансий при температуре, с которой охлаждался образец.
14. В медной фольге после ядерного облучения появились дислокационные петли, число которых составило  $10^{15}$  см<sup>-3</sup>, а средний диаметр равен 40 нм. Оцените концентрацию возникающих при облучении меди точечных дефектов, конденсация которых привела к образованию дислокационных петель.
15. Покажите с помощью схемы, что при скольжении призматической дислокационной петли, имевшей в исходном положении краевую ориентацию, могут появиться участки с винтовой ориентацией (допустите, что отдельные участки исходной петли неподвижны).
16. Оцените (в километрах) суммарную длину всех дислокаций в 1 см<sup>3</sup> отожженного металла с плотностью дислокаций  $10^8$  см<sup>-2</sup>.

#### Контрольные задачи для практических занятий

1. Найти длину вектора элементарной трансляции в кристаллах алмаза, если кристаллическая решетка кубическая гранецентрированная, содержит 8 атомов, межатомное расстояние 1.54 А.
2. Рассчитать коэффициент упаковки для простой кубической решетки
3. Рассчитать коэффициент упаковки для простой кубической объемноцентрированной решетки
4. Рассчитать коэффициент упаковки для простой кубической гранецентрированной решетки
5. Найти постоянную Маделунга для линейной цепочки равноудаленных ионов с чередующимися зарядами.
6. Найти постоянную Маделунга для линейной цепочки равноудаленных ионов с чередующимися зарядами методом Эвьена.
7. Найти постоянную Маделунга для квадратной сетки ионов.
8. Найти постоянную Маделунга для первой ячейки Эвьена кристалла для NaCl.
9. В меди, закаленной с 600о С, содержится  $1.1 \cdot 10^{-5}$  % ( ат. ) вакансий. Какую температуру закалки следует выбрать, чтобы концентрация порядка возросла на два порядка?
10. Оцените средние расстояния между равновесными вакансиями в алюминии при 27о С и между закалочными вакансиями при той же температуре после закалки с 627о С (при условии, что все высокотемпературные моновакансии «замораживаются» и распределены статистически равномерно).
11. Металл содержит 0.1% (ат.) равномерно распределенной примеси замещения. Определите среднее расстояние между примесными атомами в единицах периода г. ц. к. и о. ц. к. решетки.
12. Покажите с помощью построения, что вектор Бюргерса прямолинейной цепочки межузельных атомов, расположенной в направлении  $\langle 100 \rangle$  кубической решетки, равен нулю.
13. В образце алюминия после резкого охлаждения в воде появились дислокационные петли, число которых равно  $1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>, а средний диаметр 30 нм. Оцените концентрацию вакансий при температуре, с которой охлаждался образец.
14. В медной фольге после ядерного облучения появились дислокационные петли, число которых составило  $10^{15}$  см<sup>-3</sup>, а средний диаметр равен 40 нм. Оцените концентрацию возникающих при облучении меди точечных дефектов, конденсация которых привела к образованию дислокационных петель.
15. Покажите с помощью схемы, что при скольжении призматической дислокационной петли, имевшей в исходном положении краевую ориентацию, могут появиться участки с винтовой ориентацией (допустите, что отдельные участки исходной петли неподвижны).
16. Оцените (в километрах) суммарную длину всех дислокаций в 1 см<sup>3</sup> отожженного металла с плотностью дислокаций  $10^8$  см<sup>-2</sup>.



### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

Типовые контрольные вопросы и задания представлены в Фондах оценочных средств по дисциплине "Фазовые равновесия и структурообразование"

Билеты к экзамену:

#### БИЛЕТ 1

1. Равновесные постоянные решетки
2. Вакансионные комплексы точечных дефектов
3. Плотность дислокации

#### БИЛЕТ 2

1. Описание структуры кристаллов
2. Ионные кристаллы
3. Комплексы собственный дефект - примесный атом

#### БИЛЕТ 3

1. Трансляции и кристаллическая решетка
2. Объемный модуль упругости
3. Методы выявления дислокации кристаллах

#### БИЛЕТ 4

1. Операции симметрии
2. Ковалентные кристаллы
3. Метод ямок травления.

#### БИЛЕТ 5

1. Основные типы кристаллических решеток
2. Металлические кристаллы
3. Методы определения концентрации вакансий

#### БИЛЕТ 6

1. Двухмерные кристаллические решетки
2. Кристаллы с водородными связями
3. Дислокации их классификация

#### БИЛЕТ 7

1. Трехмерные кристаллические решетки
2. Атомные радиусы
3. Краевая дислокация

#### БИЛЕТ 8

1. Кристаллографическое индентирование
2. Дефекты кристаллической решетки
3. Скольжение краевой дислокации

#### БИЛЕТ 9

1. Параметры Вейса и индексы Миллера
2. Классификация дефектов кристаллической решетки
3. Переползание краевой дислокации

#### БИЛЕТ 10

1. Точечные дефекты
2. Винтовая дислокация
3. Энергия дислокаций.

#### БИЛЕТ 11

1. Кристаллографические проекции
2. Термодинамика точечных дефектов
3. Скольжение винтовой дислокации

#### БИЛЕТ 12

1. Стереографическая проекция
2. Миграция вакансий
3. Смешанная дислокация

#### БИЛЕТ 13

1. Основные типы межатомных связей в материалах
2. Миграция межузельных атомов
3. Призматическая дислокация



**БИЛЕТ 14**

1. Ван-дер-Ваальсовские связи
2. Источники и стоки точечных дефектов
3. Вектор Бюргера.

**БИЛЕТ 15**

1. Первичная кристаллизация металлов.
2. Гетерогенные структуры.
3. Диаграмма состояния сплавов с частичным распадом твердого раствора при понижении температуры.

**БИЛЕТ 16**

1. Самопроизвольное образование зародышевых центров.
2. Диаграммы состояния.
3. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых имеют полиморфные превращения.

**БИЛЕТ 17**

1. Гетерогенное образование зародышей.
2. Процесс кристаллизации сплавов.
3. Диаграммы состояния, строение и свойства сплавов

**БИЛЕТ 18**

1. Строение металлического слитка.
2. Диаграмма состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы.
3. Понятия о диаграммах состояния тройных сплавов.

**БИЛЕТ 19**

1. Полиморфные превращения.
2. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы
3. Виды напряжений.

**БИЛЕТ 20**

1. Твердые растворы.
2. Диаграмма состояния сплавов, образующих химические соединения.
3. Упругая и пластическая деформации.

**БИЛЕТ 21**

1. Химические соединения.
2. Особенности фазовых превращений в сплавах в твердом состоянии.
3. Разрушение металлов.

**6.4. Критерии оценивания**

Оценка уровня освоения дисциплины производится в ходе зачёта, проводимого в устно-письменной форме в конце 7 семестра по темам практических и лекционных занятий, а также по темам, выносимым на СРС. Итоговая оценка усвоения дисциплины проводится в конце 8 семестра в виде экзамена:

«Отлично»

Студент обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала. Исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с поставленными задачами, показывает знания монографического материала. Правильно обосновывает принятые решения, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических работ. Может самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок, уяснил взаимосвязь основных понятий дисциплины и их значение для приобретения профессии.

«Хорошо»

Студент твердо знает учебно-программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос. Может правильно применить теоретические положения и владеет необходимыми навыками при выполнении практических задач.

«Удовлетворительно»

Студент освоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность изложения программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.

«Неудовлетворительно»

Студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большим затруднением выполняет практические работы.

**7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**7.1. Рекомендуемая литература**

**7.1.1. Основная литература**



|   | Авторы,  | Заглавие   | Издательство,   | Ресурс |
|---|--|--|---|--------|
| Л1.1                                    | Жданов Г. С.   | Физика твердого тела: монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=475621">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=475621</a> )  | Москва :<br>Издательство<br>МГУ, 1962   | ЭБС    |
| Л1.2                                    | Киттель Ч., Гусев<br>А. А.   | Введение в физику твердого тела: [учебное руководство]   | Москва:<br>[Альянс], 2013   |        |
| Л1.3                                    | Еремин В. В.,<br>Борщевский А. Я.  | Основы общей и физической химии: учебное пособие для<br>вузов  | Долгопрудный:<br>Интеллект, 2012  |        |
| Л1.4                                    | Кук Д., Новосадов<br>Б. К.   | Квантовая теория молекулярных систем. Единый подход:<br>[учебное пособие]  | Долгопрудный:<br>Интеллект, 2012  |        |
| Л1.5                                    | Беленков Е. А.,<br>Ивановская В. В.,<br>Ивановский А. Л.,<br>Макурин Ю. Н.                                 | Наноалмазы и родственные углеродные наноматериалы:<br>компьютерное материаловедение  | Екатеринбург:<br>[УрО РАН], 2008  |        |
| Л1.6                                    | Киттель Ч.   | Введение в физику твердого тела<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483361">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483361</a> )   | Москва : Наука,<br>1978   | ЭБС    |
| <b>7.1.2. Дополнительная литература</b> |  |  |   |        |
|   | Авторы,  | Заглавие   | Издательство,   | Ресурс |
| Л2.1                                    | Егорова Е. В.,<br>Поленов Ю. В.  | Физико-химические основы нанотехнологий: руководство к<br>практическим занятиям<br>( <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4510">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4510</a> ) | Иваново :<br>ИГХТУ, 2009  | ЭБС    |
| Л2.2                                    | Китайгородский А.<br>И.  | Кристаллы: научно-популярное издание<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=108750">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=108750</a> )  | Москва,<br>Ленинград :<br>Государственно<br>е издательство<br>технич<br>ко-<br>теоретической<br>литературы,<br>1950 | ЭБС    |
| Л2.3                                    | Шустиков А. А.,<br>Ханнинк Р., Хилл<br>А.  | Наноструктурные материалы: монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=115678">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=115678</a> )   | Москва : РИЦ<br>Техносфера,<br>2009   | ЭБС    |
| Л2.4                                    | Болдырев А. К.   | Кристаллография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=230330">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=230330</a> )   | Ленинград,<br>Москва,<br>Грозный,<br>Новосибирск :<br>ОНТИ НКТП<br>СССР, 1934                                       | ЭБС    |
| Л2.5                                    | Четверикова А. Г.  | Кристаллография: учебное пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=260745">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=260745</a> )  | Оренбург :<br>Оренбургский<br>государственны<br>й университет,<br>2012  | ЭБС    |
| Л2.6                                    | Фельц А.,<br>Виноградова Г. З.,<br>Колобов А. В.,<br>Куценко И. Б.,<br>Тананаев И. В.,<br>Дембовский С. А. | Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела  | Москва: Мир,<br>1986  |        |
| <b>7.1.3. Методические разработки</b>   |  |  |   |        |
|   | Авторы,  | Заглавие   | Издательство,   | Ресурс |



|      | Авторы,                            | Заглавие   | Издательство,   | Ресурс |
|------|------------------------------------|--|---|--------|
| ЛЗ.1 | Беленков Е. А.,<br>Грешняков В. А. | Практикум по фазовым равновесиям и структурообразованию<br>( <a href="http://library.csu.ru/rbooks2/view2?code=local/007725/belenkovea">http://library.csu.ru/rbooks2/view2?code=local/007725/belenkovea</a> ) | Челябинск :<br>Издательство<br>Челябинского<br>государственног<br>о университета,<br>2016 | ЭБС    |

## 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

|    |  |
|----|--|
| Э1 | Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Лань. URL: <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>                                      |
| Э2 | Университетская библиотека онлайн [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / ООО Директмедиа Паблишинг. URL: <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> |
| Э3 | Юрайт [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Юрайт. URL: <a href="https://biblio-online.ru">https://biblio-online.ru</a>                              |
| Э4 | eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. URL: <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                       |

## 7.3 Перечень информационных технологий

### 7.3.1 Программное обеспечение

|                       |
|-----------------------|
| MS Office365          |
| Adobe Reader          |
| WinDjView             |
| LMS Moodle            |
| Adobe Connect Acrobat |
| OpenOffice            |
| LibreOffice           |

### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

|   |
|---|
| 1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – Челябинск, 1992.   |
| 2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <a href="http://journals.aps.org/about">http://journals.aps.org/about</a> – Яз. англ. – Режим доступа: только из сети университета. – Текст : электронный. |
| 3. Web of Science : мультидисциплинарная реферативная база данных / компания Thomson Reuters. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.   |
| 4. Scopus : реферативная база данных / Elsevier BV. – URL: <a href="http://www.scopus.com/">http://www.scopus.com/</a> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.  |
| 5. Springer Link : [сайт]. – URL: <a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.   |

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

|   |
|---|
| Освоение дисциплины осуществляется в учебной аудитории первого корпуса, рассчитанной на 25 студентов. Если занятия ведутся для потока студентов, то дисциплина ведется в лекционной аудитории первого корпуса, рассчитанной на 100 студентов.   |
| Для успешного освоения дисциплины аудитория должна быть оборудована мультимедийным комплексом и экраном для демонстрации слайдовых презентаций.   |
| Используются электронный читальный зал научной библиотеки ЧелГУ (аудитория 206) и учебная лаборатория вычислительной физики кафедры теоретической физики (аудитория 222) для самостоятельной работы студента, оснащенные персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудиториях обеспечен доступ к различной справочной литературе, энциклопедиям, библиографическим и полнотекстовым базам данных, информационным ресурсам «Интернет». |
| Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с применением следующего специального оборудования:  |
| а) для лиц с нарушением слуха (акустический усилитель и колонки, мультимедийный проектор);  |



- б) для лиц с нарушением зрения (мультимедийный проектор (использование презентаций с укрупненным текстом);  
в) для лиц с нарушением опорно-двигательного аппарата (персональные мобильные компьютеры – нетбуки).

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

При изучении данной дисциплины используются лекционные, практические занятия и самостоятельная работа студента. На лекционных занятиях преподаватель излагает основное содержание тем программы. Проработку лекционного материала желательно проводить как после каждого занятия, так и по завершению темы. Это позволит связать воедино полученные сведения и составить цельную картину. Студенту следует равномерно в течение семестра распределять учебную нагрузку по подготовке к семинарам, самостоятельной работе по темам, выносимым на самостоятельную работу студента.

На практических занятиях рассматриваются основные методы и приемы решения задач. Рекомендуется перед каждым практическим занятием выполнить домашнее задание, что позволит лучше усвоить предыдущий материал, и изучить лекционный материал по предстоящей теме.

Важным моментом при изучении любой дисциплины является организация самостоятельной работы. При освоении материала не следует стремиться к механическому запоминанию приведенных определений, формулировок и положений, если требования к Вам прямо не указывают на это. Вполне эффективной может оказаться попытка понять суть явления, выработать свое отношение к нему, опираясь на материал, содержащийся в рекомендованной литературе. Сказанное особенно эффективно, когда речь идет о таких требованиях, как «понимает» или «имеет представление». Напротив, если Вы имеете дело с требованием к деятельности «должен уметь», то рекомендуется поупражняться в соответствующем виде деятельности. Все это имеет непосредственное отношение к подготовке к практическим занятиям. При возникновении вопросов по темам, выносимым на СРС, следует обратиться за консультацией к преподавателю, ведущему лекционные занятия. В течение всего семестра при освоении курса использовать специальную литературу, имеющуюся в библиотеке ЧелГУ и на электронных носителях.

При подготовке к практическим занятиям студенты могут пользоваться электронными материалами, размещенными на сайтах конференций, электронными книгами и доступом к ведущим периодическим журналам, имеющимся в научной библиотеке университета. Студентам необходимо изучить литературу, рекомендуемую преподавателями.

В освоении дисциплины (модуля) инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная работа. Под индивидуальной работой подразумевается две формы взаимодействия с преподавателем: индивидуальная учебная работа (консультации), т.е. дополнительное разъяснение учебного материала и углубленное изучение материала с теми обучающимися, которые в этом заинтересованы, и индивидуальная воспитательная работа. Индивидуальные консультации по предмету является важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или обучающимся с ограниченными возможностями здоровья.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (система дистанционного обучения Moodle, MS Office365, форумы, электронная почта и др.).

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применять компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.

## 10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и голо информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья



ЧелГУ по запросу обучающегося.

1. Мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения: портативный компьютер с вводом/выводом шрифтом Брайля с синтезатором речи «EiBraile-W14J G2»; ноутбуки с программной экранного доступа NVDA; электронные увеличители для удаленного просмотра; видеоувеличители портативные; тифлоплеер; цифровые диктофоны.

2. Мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями слуха: система свободного звукового поля со встроенной совместимостью с FM-устройствами; радиоклассы «Сонет-PCM» с передатчиком, заушным индуктором и индукционной петлей; система информационная для слабослышащих переносная «Исток» А2 со встроенным плеером – звуковым информатором; документ-камера; программируемые слуховые аппараты индивидуального пользования.

3. Ассистивные информационные технологии: программное обеспечение экранного доступа с синтезом речи NVDA; программы экранного увеличения; программы речевого синтеза для компьютеров и ноутбуков; программы речевого синтеза для мобильных устройств; экранная клавиатура; экранная лупа.

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации NVDA, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся инвалидов и обучающихся с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах, с помощью специальных технических и программных средств (рабочее место для незрячего пользователя с программным обеспечением экранного доступа с синтезом речи NVDA, рабочее место с компьютерным роллером и клавиатурой Clevy с большими кнопками и с разделяющей клавиши накладкой).

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме шрифтом Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий (Moodle, Adobe Connect Pro и пр.).

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья используется индивидуальная работа. Под индивидуальной работой подразумевается две формы взаимодействия с преподавателем: индивидуальная учебная работа (консультации), т.е. дополнительное разъяснение учебного материала и углубленное изучение материала с теми обучающимися, которые в этом заинтересованы, и индивидуальная воспитательная работа. Индивидуальные консультации направлены на индивидуализацию обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или обучающимся с ограниченными возможностями здоровья.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине обеспечивается выполнение следующих дополнительных требований в зависимости от индивидуальных особенностей, обучающихся:

- а) инструкция по порядку проведения процедуры оценивания предоставляется в доступной форме (устно, в письменной форме, в письменной форме шрифтом Брайля, устно с использованием услуг сурдопереводчика);
- б) доступная форма предоставления заданий оценочных средств (в печатной форме, в печатной форме увеличенным шрифтом, в печатной форме шрифтом Брайля, в форме электронного документа, задания зачитываются ассистентом, задания предоставляются с использованием сурдоперевода);



в) доступная форма предоставления ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. Эти средства могут быть предоставлены ЧелГУ или могут использоваться собственные технические средства. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

