

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор архитектурно-строительного  
института

\_\_\_\_\_  
« 28 » *Уваров* 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины**

**Кристаллография и дефекты кристаллического строения**

Направление подготовки:

**22.03.01 Материаловедение и технологии материалов**

Профиль подготовки:

**Материаловедение и технологии  
конструкционных и специальных материалов**

Квалификация

**бакалавр**

Форма обучения

**очная**

**Институт: архитектурно-строительный**


**Кафедра: материаловедения и технологии материалов**

Белгород – 2016

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ №1331 от 12 ноября 2015 г.;
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2016 году.

Составитель (составители): к.г.-м.н., доц.  И.В. Жерновский

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
материаловедения и технологии материалов 

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  В.В. Строкова

« 19 » марта 2016 г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 19 » марта 2016 г., протокол № 

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  В.В. Строкова

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 28 » марта 2016 г., протокол № 6

Председатель: к.т.н., доц.  А.Ю. Феоктистов

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
№	Код компетенции	Компетенция	
Профессиональные			
1	ПК-11	Способность применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалах, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологических процессов.	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> элементы симметрии кристаллических веществ и классификацию дефектов кристаллического строения и их влияния на свойства.</p> <p><b>Уметь:</b> определять вид материала по классифицирующим признакам.</p> <p><b>Владеть:</b> методами определения и описания свойств кристаллических материалов.</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины
1	Физика
2	Неорганическая химия
3	Физическая химия

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины
1	Металловедение
2	Активационные процессы в материаловедении
3	Наносистемы в материаловедении
4	Моделирование материалов и процессов их получения

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зач. единиц, 252 часа.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 3	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины, час	252	126	126
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	102	51	51
лекции	34	17	17
лабораторные	34	17	17
практические	34	17	17
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	150	68	82
Курсовой проект			
Курсовая работа			
Расчетно-графическое задания			
Индивидуальное домашнее задание	9	9	
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	105	59	46
Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	36	Зачет	36 Экзамен

**4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**4.1. Наименование тем, их содержание и объем**  
**Курс 2 Семестр 3**

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Основные понятия о кристаллах.</b>					
	Предмет кристаллографии, ее место среди других естественных наук, связь с ними. Сущность понятий “симметрия”, “кристалл”. Основные характеристики кристаллического вещества: однородность, анизотропия, способность самоограничаться, симметрия.	1	1		3
<b>2. Структура кристаллов и пространственная решётка.</b>					
	Элементарная ячейка, её выбор, метрика. Кристаллическая структура материалов. Ретикулярная плотность сетки. Кристаллографические символы узлов, плоскостей и направлений в кристаллической решетке.	2	2		4
<b>3. Кристаллографическая символика. Связь между символами плоскостей и направлений.</b>					
	Связь между символами плоскостей и направлений в кристаллах кубической сингонии. Кристаллографическая символика в гексагональной сингонии.	2	2	4	8
<b>4. Элементы симметрии конечных фигур.</b>					
	Понятие о симметрии. Центр инверсии. Плоскости симметрии. Оси симметрии: простые поворотные и инверсионные. Обозначение элементов симметрии многогранников по Браве. Осевая теорема Эйлера. Теоремы сложения элементов симметрии. Точечные группы симметрии кристаллических многогранников.	2	3		5
<b>5. Кристаллографические категории и сингонии. Кристаллографические проекции.</b>					
	Соотношение между периодами и осевыми углами в кристаллах разных сингоний. Правила кристаллографической установки кристаллов для различных сингоний. Кристаллографические проекции. Прямой комплекс, обратный комплекс. Сферическая проекция. Стереографическая проекция. Гномостереографическая проекция.	3	3	5	12
<b>6. Простые формы кристаллических многогранников.</b>					
	Определение простой формы кристаллического многогранника. Простые формы частных и общих положений. Принцип вывода простых форм. 47 простых форм кристаллических многогранников. Простые формы	3	2	4	12

	низшей, средней и высшей категорий.				
7. Симметрия структуры кристаллических веществ.					
	Классы симметрии. Формула симметрии. Виды симметрии кристаллов, обладающих единичным направлением. Элементы симметрии бесконечных фигур. Винтовые оси симметрии. Плоскости скользящего отражения. Решётки Бравэ. Условия выбора ячеек Бравэ. Характеристика решёток Бравэ. Трансляционная группа, базис ячейки. Примеры выбора элементарной ячейки Бравэ.	2	2	4	10
8. Точечные дефекты.					
	Понятие об идеальном и реальном кристалле. Классификация дефектов кристаллического строения. Виды точечных дефектов. Искажение кристаллической решётки вокруг точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Миграция точечных дефектов. Миграция вакансий. Миграция межузельных атомов. Миграция примесных атомов.	2	2		5
	ВСЕГО	17	17	17	59

## Курс 2 Семестр 4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
9. Простые формы кристаллических многогранников.					
	Знакомство с интерфейсом программы WinXMorph ( <a href="http://Wintensor.com">http://Wintensor.com</a> ). По-строение 3D-изображений кристаллических полиэдров по заданному классу симметрии, осевым отношениям и индексам Миллера простых форм. Визуальное индцирование простых форм в их комбинациях по изображению кристалла.			8	8
10. Симметрия структуры кристаллических веществ.					
	Знакомство в программой визуализации кристаллической структуры IsoCryst программного комплекса для многоцелевого кристаллохимического анализа TOPOS ( <a href="http://www.topos.samsu.ru">http://www.topos.samsu.ru</a> ). Определение в кристаллических структурах $\alpha$ - и $\beta$ -кварца винтовых осей симметрии.			9	9
11. Основные типы дислокаций и их движение.					

	Краевая дислокация. Скольжение краевой дислокации Переползание краевой дислокации. Винтовая дислокация и её движение. Скольжение винтовой дислокации. Смешанные дислокации и их движение.	2	2		4
12. Количественные характеристики дислокаций.					
	Призматические дислокации. Вектор Бюргера дислокаций. Плотность дислокаций в кристаллах.	2	2		4
13. Упругие свойства дислокаций.					
	Энергия дислокации. Силы, действующие на дислокацию. Упругие взаимодействия параллельных краевых дислокаций. Упругое взаимодействие параллельных винтовых дислокаций.	2	2		3
14. Дислокации в типичных металлических структурах.					
	Подразделение дислокаций на полные и частичные. Энергетический критерий дислокационных реакций. Дефекты упаковки. Полные дислокации в г. п. решетке. Полные дислокации в г. ц. к. решетке. Полные дислокации в о. ц. к. решетке. Частичные дислокации Шокли в г. п. решетке. Частичные дислокации Шокли в г. ц. к. решетке. Частичные дислокации Франка. Стандартный тетраэдр и дислокационные реакции в г.ц.к. решетке. Стандартный тетраэдр Томпсона. Вершинные дислокации и дислокации Ломер—Коттрелла. Стандартная бипирамида и дислокационные реакции в г. п. решетке. Поперечное скольжение и переползание растянутых дислокаций. Двойнивающая дислокация. Дислокации в упорядоченных сплавах.	2	2		4
15. Пересечение дислокаций.					
	Пересечение краевых дислокаций. Пересечение краевой и винтовой дислокаций. Пересечение винтовых дислокаций. Движение дислокаций с порогами. Пересечение растянутых дислокаций.	2	2		3
16. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.					
	Взаимодействие дислокаций с примесными атомами. Атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки. Взаимодействие дислокаций с вакансиями и межузельными атомами.	2	2		3
17. Образование дислокаций.					
	Происхождение дислокаций. Размножение дислокаций при пластической деформации. Источник Франка – Рида.	1	2		3
18. Границы зерен и субзерен.					
	Границы кручения и наклона. Малоугловые границы. Высокоугловые границы. Специальные и произвольные границы. Зернограничные дислокации и ступеньки.	2	1		2
19. Торможение дислокаций.					
	Сила Пайерлса. Торможение дислокаций при их взаимодействии с другими дислокациями и границами зерен. Торможение дислокаций дисперсными частицами. Выгибание дислокаций между дисперсными частицами. Локальное поперечное скольжение.	2	2		3

	Перерезание дислокациями дисперсных частиц. Торможение дислокаций атомами примесей и легирующих элементов. Торможение дислокации атмосферами Коттрелла, Сузуки и Снука. Торможение дислокаций в твердых растворах.				
	ВСЕГО	17	17	17	46

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов пр. зан.	К-во часов СРС
Семестр № 3				
1	Основные понятия о кристаллах.	Закрепление понятий «симметрия», «кристалл», «однородность», «анизотропия», «способность самоограняться».	1	1
2	Структура кристаллов и пространственная решётка.	Решение задач на выбор элементарной ячейки – элементарного параллелепипеда повторяемости в различных 2D-решетках. Определение ретикулярная плотности 2D-сетки. Решение задач на определение кристаллографических символов узлов, плоскостей и направлений в 2D- и 3D-решетке.	2	2
3	Кристаллографическая символика. Связь между символами плоскостей и направлений.	Связь между символами плоскостей и направлений в кристаллах кубической сингонии. Кристаллографическая символика в гексагональной сингонии.	2	2
4	Элементы симметрии конечных фигур.	Определение элементов симметрии примитивных геометрических полиэдров. Написание формулы симметрии полиэдра в символах Браве. Решение задач с использованием теорем взаимодействия элементов симметрии.	3	3
5	Кристаллографические категории и сингонии. Кристаллографические проекции.	Соотношение между периодами и осевыми углами в кристаллах разных сингоний. Правила кристаллографической установки кристаллов для различных сингоний. Кристаллографические проекции. Прямой комплекс, обратный комплекс. Сферическая проекция. Стереографическая проекция. Гномостереографическая проекция.	3	3
6	Простые формы кристаллических многогранников.	Определение простой формы кристаллического многогранника. Простые формы частных и общих положений. Принцип вывода простых форм. 47 простых форм кристаллических много-	2	2



		гранников. Простые формы низшей, средней и высшей категорий.		
7	Симметрия структуры кристаллических веществ.	Классы симметрии. Формула симметрии. Виды симметрии кристаллов, обладающих единичным направлением. Элементы симметрии бесконечных фигур. Винтовые оси симметрии. Плоскости скользящего отражения. Решётки Бравэ. Условия выбора ячеек Бравэ. Характеристика решёток Бравэ. Трансляционная группа, базис ячейки. Примеры выбора элементарной ячейки Бравэ.	2	2
8	Точечные дефекты.	Семинар по теме.	2	2
ИТОГО:			17	17

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов пр. зан.	К-во часов СРС
семестр № 4				
1	Основные типы дислокаций и их движение.	Семинар по теме.	2	2
2	Количественные характеристики дислокаций.	Семинар по теме.	2	2
3	Упругие свойства дислокаций.	Семинар по теме.	2	2
4	Дислокации в типичных металлических структурах.	Семинар по теме.	2	2
5	Пересечение дислокаций.	Семинар по теме.	2	2
6	Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.	Семинар по теме.	2	2
7	Образование дислокаций.	Семинар по теме.	2	2
8	Границы зерен и субзерен.	Семинар по теме.	1	1
9	Торможение дислокаций.	Семинар по теме.	2	2
ИТОГО:			17	17

### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во лабор. часов	К-во часов СРС
Семестр №3				

1	Кристаллографические категории и сингонии. Кристаллографические проекции.	Методы проектирования кристаллического многогранника на 3D- и 2D- проекции. Принцип построения стереографической проекции кристаллического полиэдра. Сетка Вульфа. Методика построения гномостереографической проекции полярного комплекса полиэдра по заданным сферическим координатам граней. Повороты гномостереографической проекции вокруг осей перпендикулярной плоскости проекции и параллельных ей. Приведение гномостереографической проекции к новому полюсу	10	10
2	Кристаллографическая символика. Связь между символами плоскостей и направлений.	Индексирование гномостереографических проекций граней кристаллического полиэдра.	7	7
ИТОГО:			17	17
Семестр №4				
3	Простые формы кристаллических многогранников.	Знакомство с интерфейсом программы WinXMorph ( <a href="http://Wintensor.com">http://Wintensor.com</a> ). Построение 3D-изображений кристаллических полиэдров по заданным классу симметрии, осевым отношениям и индексам Миллера простых форм. Визуальное индексирование простых форм в их комбинациях по изображению кристалла.	8	8
4	Симметрия структуры кристаллических веществ.	Знакомство в программой визуализации кристаллической структуры IsoCryst программного комплекса для многоцелевого кристаллохимического анализа TOPOS ( <a href="http://www.topos.samsu.ru">http://www.topos.samsu.ru</a> ). Определение в кристаллических структурах $\alpha$ - и $\beta$ -кварца винтовых осей симметрии.	9	9
			17	17

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Основные понятия о кристаллах	1. Дать определение кристаллического вещества. 2. Дать определение кристаллической решетки. 3. Дать определение кристаллической структуры. 4. Перечислить основные свойства кристаллических тел и

		<p>объяснить, на чем они основаны.</p> <p>5. Объяснить, почему аморфные вещества рассматривают как переохлажденные жидкости.</p> <p>6. Перечислить основные свойства кристаллических тел, связанные с их строением, и дать их определения.</p> <p>7. Дать определение закона постоянства граничных углов.</p> <p>8. Объяснить что такое ретикулярная плотность.</p> <p>9. Как отличаются по строению кристаллическое вещество от некристаллического.</p> <p>10. Объяснить, что такое “ряд” в кристаллической решетке”.</p>
2	Структура кристаллов и пространственная решетка	<p>1. Сформулировать понятие “ряда” в кристаллической решетке.</p> <p>2. Объяснить, какую величину принимают за параметр ряда (или элементарную трансляцию).</p> <p>3. Дать определение понятия «элементарная ячейка».</p> <p>4. Что называют “метрикой” кристаллической решетки.</p> <p>5. Объяснить, почему по “метрике” можно идентифицировать вещество.</p> <p>6. Изобразить элементарный параллелепипед и указать стандартные обозначения осей координат, элементарных углов и элементарных трансляций.</p> <p>7. Дать определение символа узла.</p> <p>8. Дать определение символа плоскости, индекса плоскости.</p> <p>9. Объяснить, что такое структурно-эквивалентные плоскости, как записать их символы в кубической ячейке.</p> <p>10. Какие плоскости входят в семейство структурно-эквивалентных плоскостей (как различаются их индексы) в кубической ячейке?</p> <p>11. Дать определение символа направления, его записи.</p>
3	Кристаллографическая символика. Связь между символами плоскостей и направлений	<p>1. Указать, какие направления входят в семейство структурно-эквивалентных направлений (как различаются, их индексы для кубической ячейки).</p> <p>2. Объяснить, почему в гексагональной сингонии используют 4-х индексную систему.</p> <p>3. Какие индексы можно менять в семействе структурно-эквивалентных плоскостей в гексагональной ячейке?</p> <p>4. Объяснить, почему третий по порядку индекс плоскости (направления) в гексагональной ячейке можно не указывать.</p> <p>5. Как можно определить третий индекс плоскости, зная два первых индекса в гексагональной ячейке?</p> <p>6. Изобразить гексагональную ячейку, обозначить кристаллографические оси, элементарные углы, элементарные трансляции.</p> <p>7. Как раскрывают детерминанты уравнения для того, чтобы определить индексы направления по которому пересекаются плоскости с известными индексами?</p> <p>8. Как раскрывают детерминанты уравнения для того, чтобы определить индексы плоскости, заключенной между двумя направлениями с известными индексами?</p> <p>9. Дать определение оси зоны.</p> <p>10. Какие грани кристаллического многогранника образу-</p>

		<p>ют пояс (или зону).</p> <p>11. Объяснить запись: <math>[110]</math>, <math>\langle 110 \rangle</math>.</p> <p>12. Объяснить запись <math>(110)</math>, <math>\{110\}</math>.</p>
4	Элементы симметрии конечных фигур	<p>1. Что называют элементами симметрии?</p> <p>2. Объяснить, что такое симметрия.</p> <p>3. Перечислить элементы симметрии кристаллических многогранников.</p> <p>4. Дать определение центра инверсии.</p> <p>5. Дать определение оси симметрии.</p> <p>6. Дать определение плоскости симметрии.</p> <p>7. Что такое инверсионная ось симметрии.</p> <p>8. Почему поворотное действие инверсионно-поворотной оси 4-го порядка эквивалентно поворотному действию оси 2-го порядка?</p>
5	Кристаллографические категории и сингонии. Кристаллографические проекции	<p>1. Дать определение прямого кристаллического комплекса.</p> <p>2. Что такое обратный (полярный) кристаллический комплекс?</p> <p>3. Какими сферическими координатами характеризуют положение точки на поверхности сферы и как их определяют?</p> <p>4. Перечислить положительные и отрицательные моменты при применении сферической проекции.</p> <p>5. Какие комплексы изображения кристалла применяют в сферической проекции?</p> <p>6. Что является плоскостью стереографической проекции?</p> <p>7. Проиллюстрировать на любом примере принцип построения стереографической проекции направления.</p> <p>8. Проиллюстрировать на любом примере принцип построения стереографической проекции плоскости.</p> <p>9. Какой кристаллический комплекс используют для построения стереографической проекции?</p> <p>10. Что является стереографической проекцией направления?</p> <p>11. Что является стереографической проекцией плоскости?</p> <p>12. Какой кристаллический комплекс используют в гномостереографической проекции?</p> <p>13. Принцип построения гномостереографической проекции плоскости.</p> <p>14. Принцип построения гномостереографической проекции направления.</p> <p>15. Что является плоскостью гномостереографической проекции?</p>
6	Простые формы кристаллических многогранников	<p>1. Дать определение простой формы кристаллического многогранника.</p> <p>2. Перечислить открытые простые формы низшей категории.</p> <p>3. Какие простые формы низшей категории замыкают пространство?</p> <p>4. В каких точечных группах симметрии возможен тетраэдр?</p> <p>5. Принцип формирования названий простых форм кубической сингонии.</p> <p>6. Вывести простые формы в классе <math>mmm</math>.</p> <p>7. Вывести простые формы в классе <math>mm2</math>.</p>

		<p>8. Вывести простые формы в классе <math>4/m\bar{3}m</math>.</p> <p>9. Вывести простые формы в классе <math>32</math>.</p> <p>10. Вывести простые формы в классе <math>23</math>.</p>
7	Симметрия структуры кристаллических веществ	<p>1. Что такое кристаллографические категории?</p> <p>2. Что такое сингония?</p> <p>3. Как различают сингонии?</p> <p>4. На какие категории разделяют кристаллические многогранники?</p> <p>5. Что такое кристаллографическая формула кристаллического многогранника?</p> <p>6. Как записывают кристаллографическую формулу по элементам симметрии.</p> <p>7. Что такое класс симметрии кристаллических многогранников?</p> <p>8. Каких порядков бывают оси симметрии и каким углом поворота они соответствуют?</p> <p>9. Почему не существует осей симметрии 5-го порядка и выше шестого.</p> <p>10. Указать возможное число существующих осей симметрии в конечной фигуре.</p> <p>11. Какую фигуру называют конечной.</p> <p>12. Указать каким элементам симметрии равносильны инверсионные оси порядков 1, 2, 3, 4, 6.</p> <p>13. Как обозначают элементы симметрии конечных фигур на плоскости стереографической проекции?</p> <p>14. Что такое теоремы сложения элементов симметрии и для чего их применяют?</p> <p>15. Какое направление называют единичным?</p> <p>16. Дать определение симметрично-равного направления.</p>
8	Точечные дефекты	<p>1. Как делятся дефекты кристаллической решетки по геометрическим признакам?</p> <p>2. Коэффициент компактности упаковки. Чему он равен для типичных металлических решеток?</p> <p>3. Изобразить тетраэдрические и октаэдрические пустоты в решетке Г.П.</p> <p>4. Изобразить тетраэдрические и октаэдрические пустоты в решетке Г.Ц.К.</p> <p>5. Изобразить тетраэдрические и октаэдрические пустоты в решетке О.Ц.К.</p> <p>6. Что такое "ядро дефекта" и как изменяются поля напряжений вокруг вакансии и вокруг межузельного атома?</p> <p>7. С чем связана основная доля энергии образования точечного дефекта?</p> <p>8. Записать формулу, по которой рассчитывают изменение свободной энергии в кристалле при введении вакансий.</p> <p>9. Почему невозможно точно рассчитать равновесную концентрацию точечных дефектов?</p> <p>10. В чем отличие равновесной и неравновесной концентрации точечных дефектов?</p> <p>11. Дать определение энергии активации миграции точечных дефектов.</p> <p>12. Объяснить механизм миграции гантельной конфигурации межузельного атома в ГЦК решетке.</p> <p>13. С помощью какого механизма мигрируют атомы при-</p>

		<p>месей замещения, внедрения?</p> <p>14. Объясните механизм образования вакансий по механизму Шоттки.</p> <p>15. Механизм образования вакансий по механизму Френкеля.</p> <p>16. Что может являться стоками точечных дефектов?</p> <p>17. Указать возможности расчета равновесной концентрации дивакансий в кристалле.</p> <p>18. Сравнить по величине энергии миграции вакансии, дивакансии.</p> <p>19. Объяснить неподвижность тетраэдрического вакансионного комплекса.</p> <p>20. Объяснить, как определить равновесную концентрацию комплексов вакансии - примесный атом в случае разбавленных растворов замещения.</p> <p>21. Какой из комплексов более подвижен “вакансия – примесный атом” или “атом растворенного элемента – вакансия”?</p> <p>22. Какие вакансии называют примесными, а какие тепловыми?</p> <p>23. За счет чего возникает избыток вакансий при закалке (при резком охлаждении) металла?</p> <p>24. При каких условиях закалки более 50% вакансий превращаются в дивакансии и другие вакансионные комплексы?</p> <p>25. При каких условиях закалки вакансии способны объединяться в крупные стабильные комплексы (диски вакансий)?</p> <p>26. Что является стоками в пересыщенном вакансиями кристалле?</p> <p>27. Что происходит с вакансиями при отжиге?</p> <p>28. Как зависит концентрация вакансий от времени отжига?</p> <p>29. Перечислить и дать характеристику методам определения равновесной концентрации вакансий.</p>
9	<p>Основные типы дислокаций и их движение</p>	<p>1. Дать определение дислокации.</p> <p>2. Объяснить наиболее простой способ введения дислокации в кристалл.</p> <p>3. Дать понятие критически скалывающего напряжения.</p> <p>4. Указать расположение линии краевой дислокации по отношению к касательному напряжению.</p> <p>5. Объяснить механизм скольжения краевой дислокации.</p> <p>6. Почему скольжение дислокации называют консервативным движением?</p> <p>7. По какой плоскости происходит скольжение краевой дислокации?</p> <p>8. Дать определение механизма переползания краевой дислокации.</p> <p>9. Какие факторы влияют на скольжение краевой дислокации?</p> <p>10. Какие факторы влияют на переползание краевой дислокации?</p> <p>11. Объяснить варианты положительного и отрицательного переползания краевой дислокации.</p>

		<p>12. Почему переползание дислокаций относят к диффузионному процессу?</p> <p>13. Дать понятие порога на линии дислокации.</p> <p>14. Указать отличия положительной и отрицательной краевой дислокации.</p> <p>15. Указать, в каком направлении по отношению к касательному напряжению скользит винтовая дислокация.</p> <p>15. Объясните, может ли скользить смешанная дислокация.</p>
10	Количественные характеристики дислокаций	<p>1. Описать механизм введения в кристалл призматической дислокации.</p> <p>2. Объяснить возможности перемещения призматической дислокации.</p> <p>3. Что такое вектор Бюргерса.</p> <p>4. Что такое контур Бюргерса.</p> <p>5. Указать расположение вектора Бюргерса относительно линий краевой и винтовой дислокаций.</p> <p>6. Чему равна мощность вектора Бюргерса.</p> <p>7. Дать определение плотности дислокации. Ее размерность.</p> <p>8. Указать параметры, влияющие на плотность дислокаций.</p> <p>9. Показать разложение вектор Бюргерса смешанной дислокации на краевую и винтовую компоненты.</p>
11	Упругие свойства дислокаций.	<p>1. По какой формуле можно вычислить энергию краевой дислокации?</p> <p>2. От каких факторов зависит энергия дислокации?</p> <p>3. Что такое линейное натяжение дислокации и по какой формуле его рассчитывают?</p> <p>4. Почему дислокации являются термодинамически неравновесными дефектами?</p> <p>5. Записать формулу, по которой рассчитывают силу, действующую на единицу длины дислокации.</p> <p>6. От чего зависит упругое взаимодействие краевых дислокаций?</p> <p>7. Объяснить причину упругости конфигурации, которую называют дислокационной стенкой.</p> <p>8. Рассмотреть взаимодействие краевых дислокаций разного знака, когда они вплотную подходят друг к другу; когда находятся в соседних плоскостях скольжения, разделенных одним межатомным расстоянием.</p> <p>9. Чему равна сила, с которой одна винтовая дислокация действует на другую, ей параллельную?</p> <p>10. Чему равна сила, с которой винтовая и краевая, параллельная ей дислокация, действует друг на друга?</p>
12	Дислокации в типичных металлических структурах.	<p>1. Показать векторы тождественной трансляции у кубической, примитивной ячейки.</p> <p>2. По какому признаку отличается единичная дислокация от частичной и от n-кратной мощности?</p> <p>3. По какому критерию проверяют возможность прохождения дислокационной реакции?</p> <p>4. Как образуется полная дислокация в ГП решетке?</p> <p>5. Как образуется полная дислокация в ГЦК решетке?</p> <p>6. Изобразить дефекты упаковки внедрения и вычитания в ГП и ГЦК решетках.</p>

		<p>7. Объяснить образование частичных дислокаций в кристалле.</p> <p>8. Как связана ширина растянутых дислокаций с энергией дефекта упаковки и какое влияние легирующие элементы оказывают на ширину дефекта упаковки?</p> <p>9. Как образуется частичная дислокация Франка?</p> <p>10. Что такое тетраэдр Томпсона? Покажите на нем вектора Бюргерса полных дислокаций, дислокаций Франка и Шокли.</p> <p>11. Почему дислокацию Ломер-Коттрелла называют барьером?</p> <p>12. Что такое стандартная бипирамида?. Покажите на ней вектора Бюргерса полных и частичных дислокаций.</p> <p>13. Что необходимо, чтобы произошло поперечное скольжение растянутых дислокаций?</p>
13	Пересечение дислокаций.	<p>1. Что необходимо для того, чтобы произошло поперечное скольжение растянутых дислокаций?</p> <p>2. Записать стадии поперечного скольжения растянутых дислокаций.</p> <p>3. Как происходит перестройка кристаллической решетки при двойниковании, где образуется линия двойнивающей дислокации?</p> <p>4. Дать определение сверхструктурной дислокации.</p> <p>5. Что называют парной дислокацией в кристалле со сверхструктурой?</p> <p>6. Общие закономерности пересечения единичных дислокаций.</p> <p>7. Как ведут себя пороги на дислокациях при их скольжении?</p> <p>8. Показать образование диполя и призматических петель при скольжении винтовой дислокации длинным порогом.</p>
14	Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.	<p>1. К какой области краевой дислокации притягиваются атомы элемента, растворенного по способу внедрения?</p> <p>2. К какой области краевой дислокации притягиваются атомы элемента, растворенного по способу замещения?</p> <p>3. Почему атомы элемента, растворенного по способу внедрения, притягиваются к области гидростатического растяжения, и размещаются в ней?</p> <p>4. Что называют атмосферой Коттрелла?</p> <p>5. Объяснить образование атмосферы Коттрелла.</p> <p>6. Почему винтовая дислокация неспособна притягивать единичные точечные дефекты?</p> <p>7. Какой атом может притягиваться к винтовой дислокации?</p> <p>8. Чем отличается винтовая дислокация от геликоидальной дислокации?</p> <p>9. Как влияет повышение и понижение температуры на атмосферу Коттрелла?</p> <p>10. Объяснить эффект Снука.</p> <p>11. Что называют атмосферой Снука?</p> <p>12. Чем отличаются атмосферы Коттрелла и Снука?</p> <p>13. Что называют атмосферой Сузуки?</p> <p>14. Объяснить перераспределение атомов в атмосфере Сузуки.</p>



		15. В каком случае вакансии и межузельные атомы могут образовывать атмосферу вокруг линии дислокации типа коттрелловской?
15	Образование дислокаций.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Объяснить образование винтовой дислокации на фронте кристаллизации.</li> <li>2. Что служит подложкой для зарождения кристалла?</li> <li>3. Какие дислокации называют структурными или дислокациями несоответствия?.</li> <li>4. Объяснить образование дислокаций в полностью затвердевшем металле в непосредственной близости от фронта кристаллизации и вдали от него.</li> <li>5. Объяснить возникновение дислокации при концентрации напряжений в отдельных участках кристаллов (около включений, трещин, границ двойников и т.д.).</li> <li>6. Что называют дислокационной сеткой?</li> <li>7. Объяснить механизм размножения дислокаций в процессе пластической деформации.</li> <li>8. Что является зоной при размножении дислокаций при пластической деформации?</li> <li>9. Как называется напряжение, требующееся для выгибания линии дислокации в полуокружность?</li> <li>10. Как ведет себя замкнутая дислокационная петля?</li> <li>11. Почему при напряжении, действующем в одном направлении, сначала спиральные участки дислокации, а затем замкнутая петля распространяются во все стороны, в том числе и в направлении прямо противоположном приложенному напряжению?.</li> <li>12. Объяснить источник размножения дислокаций – R дислокация, возникающих в результате захлопывания вакансионных дисков.</li> <li>13. Объяснить образование источника Франка-Рида при двойном поперечном скольжении.</li> </ol>
16	Границы зерен и субзерен.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что называют границей зерен и субзерен, и к каким дефектам они относятся?</li> <li>2. Какую границу называют границей наклона?</li> <li>3. Какую границу называют границей кручения?</li> <li>4. Какие границы относят к малоугловым, а какие к высокоугловым?</li> <li>5. Какая малоугловая граница образуется из краевых дислокаций одного знака?</li> <li>6. Какую малоугловую границу называют симметричной границей наклона?</li> <li>7. Почему все субзеренные (блочные) границы являются малоугловыми?</li> <li>8. Какую малоугловую границу называют скользящей?</li> <li>9. Каким образом возникают стенки дислокации?</li> <li>10. Как ведет себя малоугловая граница с точечными дефектами, в том числе с примесными атомами?</li> <li>11. Какие границы являются высокоугловыми границами?</li> <li>12. К каким дефектам относят границы зерен?</li> <li>13. Отличительные особенности собственных и несобственных зернограницных дислокаций.</li> </ol>
17	Торможение дислокаций.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие факторы влияют на торможение дислокаций?</li> <li>2. Что называют силой Пайерлса?</li> </ol>

	<p>3. Формула силы Пайерлса.</p> <p>4. Объяснить тормозящее действие, которое оказывают пороги на винтовых дислокациях.</p> <p>5. Взаимодействие скользящей дислокации и порогов.</p> <p>6. Объяснить образование барьера Ломер-Коттрелла.</p> <p>7. Почему диполи не являются прочными барьерами?</p> <p>8. Чем обусловлено барьерное действие межзеренной границы?</p> <p>9. Объяснить механизм смыкания двух изогнутых ветвей дислокации вокруг частиц с образованием петли.</p> <p>10. Объяснить механизм Орована.</p> <p>11. Объяснить механизм локального поперечного скольжения.</p> <p>12. Объяснить торможение дислокаций атмосферами Коттрелла.</p> <p>13. Объяснить торможение дислокаций атмосферами Сузуки.</p> <p>14. Объяснить торможение скользящих дислокаций атмосферами Снука.</p> <p>15. Объяснить торможение дислокаций в твердом растворе с дальним порядком.</p>
--	---

## **5.2. Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ, их краткое содержание и объем.**

Не предусмотрено учебным планом.

## **5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий.**

1. Правильные разбиения плоскости и сферы.
2. Правильные разбиения 3D-пространства. Тела Платона.
3. Кристаллические многогранники. Полиэдры.
4. Элементы симметрии кристаллических многогранников.
5. Группы симметрии низшей и средней категории.
6. Группы симметрии высшей категории.
7. Предельные группы симметрии.
8. Группа симметрии додекаэдра и икосаэдра.
9. Трансляционные группы симметрии на плоскости.
10. Трансляционные группы симметрии 3D-пространства. Решетки Браве.
11. Элементы симметрии правильного дисконтинуума.
12. Евграф Степанович Федоров – основатель современной кристаллографии.
13. Квазикристаллы.
14. Плотнейшие слои и дефекты плотнейших упаковок.
15. Зернограничные дислокации.
16. Ползучесть кристаллов.

Индивидуальное домашнее задание (ИДЗ) это самостоятельная работа студента, которая выполняется по заданию преподавателя. Она имеет описательный характер и предполагает создание краткого научно-исторического обзора с целью показать способность использовать полученные в курсе «Кристаллография и дефекты кристаллического строения» знания, умение работать с литературой. Студент должен кратко и четко изложить в пояснительной записке полученные результаты.

Расчетно-пояснительная записка по ИДЗ должна включать:

- титульный лист,
- задание на ИДЗ,
- основной раздел,
- заключение (выводы),
- список использованной литературы.
- приложения (при необходимости).

Перечень конкретных вопросов, которые должны быть отражены в основном разделе ИДЗ, определяется преподавателем. Изложение материала основного раздела должно быть достаточно детальным, чтобы была возможность провести проверку результатов.

Заключение по работе должно содержать перечень и оценку результатов выполнения квалификационной работы и степени их соответствия требованиям задания. В приложения следует включать вспомогательный материал, необходимый, по мнению автора, для лучшего понимания изложенного материала, который, однако, загромождает текст основного раздела. Например, вывод используемого в ИДЗ графического иллюстративного материала и т.п.

Общий рекомендуемый объем расчетно-пояснительной записки по ИДЗ с приложениями составляет 10 - 15 страниц.

#### **5.4. Перечень контрольных работ.**

Не предусмотрено учебным планом.

## **6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **6.1. Перечень основной литературы**

1. Строение вещества. Строение кристаллов [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.М. Голубев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010. – 36 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31270>.
2. Кристаллография: учебное пособие / М.П. Шаскольская. – М.: Высшая школа, 1976 – 392 с.
3. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами: учебное пособие / П.В. Ковтуненко. – М.: Высшая школа, 1993. – 352 с.

### **6.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: учебник / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. – М.: Металлургия, 1982. – 631 с.
  2. Физико-химические основы материаловедения: учебное пособие. / Г. Гоппштайн, пер с англ. К.Н. Золотова, Д.О. Чаркина, ред. В.П. Зломанова. – М.:Бином Лаборатория знаний. 2009. – 400 с.

### **6.3. Перечень интернет ресурсов**

В качестве справочного Интернет-ресурса можно порекомендовать англоязычный ресурс <http://webmintral.com>.

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной атте-

станции, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Лекционные занятия проводятся в учебно-лекционных аудиториях кафедры материаловедения и технологии материалов. С целью повышения качества преподавания и использования эффективных дидактико-методических приемов, в настоящий момент, представляется весьма актуальным применение мультимедийных информационных технологий. В качестве одного из этих приемов следует отметить использование интерактивной электронной доски (Hitachi, Japan), позволяющей осуществить эффективный интерфейс между преподавателем и аудиторией. Особенно этот эффект проявляется при интерактивном построении моделей структур, их трансформациях и т.д. Кроме этого, при наличии выхода в Интернет, появляется возможность продемонстрировать аудитории и технологию получения необходимой кристалл структурной информации из открытых баз данных, с последующем ее оперативным использованием. Подобные технологии представляются более наглядными и менее затратными, чем работа со студентами в компьютерном классе.

Для активизации познавательной деятельности студентов, представляется целесообразным давать задания, для выполнения которых необходим Интернет-поиск литературных, справочных, программных и других ресурсов, с целью написания краткого обзора по состоянию конкретного вопроса или для решения прикладной задачи. Помимо всего, это должно привить у студентов навыки ориентироваться в не русскоязычной среде даже без должного знания языка.

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности бакалавров для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций.

Практические и лабораторные занятия проводятся в аудиториях кафедры материаловедения и технологии материалов. Аудитория оснащена медиа-проектором, позволяющим демонстрировать презентационные материалы. Кроме этого имеются поляризационный петрографический, металлографические и бинокулярные микроскопы для визуализации микроструктурного строения минералов.

### **7.1. Перечень программного обеспечения**


Для проведения занятий используется пакет программного обеспечения Microsoft Office Professional 2013 или аналог.

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2016/2017 учебный год.

Протокол № 6 заседания кафедры от «18» мая 2016 г.

Заведующий кафедрой д.т.н., проф.  В.В. Строкова

Директор института д.т.н., проф.  В.А. Уваров

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы с изменениями, дополнениями  
Рабочая программа с изменениями, дополнениями утверждена на 2017/2018  
учебный год.

Протокол № 5 заседания кафедры от «23» мая 2014г.

Дополнить:

п. 6.1. Перечень основной литературы

1. Кристаллография и дефекты в кристаллах. Методические указания к выполнению лабораторных работ. [Электронный ресурс]. / И.В. Жерновский, П.С. Баскаков. – Электрон. текстовые данные. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 38 с. Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2017040311312168800000655704>.
2. Кристаллография и дефекты в кристаллах. Методические указания к выполнению практических работ. [Электронный ресурс]. – / И.В. Жерновский, П.С. Баскаков. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 55 с. Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2017033114270448700000657921>.

Заведующий кафедрой д.т.н., проф.  В.В. Строкова

Директор института д.т.н., проф.  В.А. Уваров

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2018/2019 учебный год.

Протокол № 6 заседания кафедры от «07» мая 2018 г.

Заведующий кафедрой д.т.н., проф.  В.В. Строкова

Директор института д.т.н., проф.  В.А. Уваров

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2019/2020 учебный год.

Протокол № 5 заседания кафедры от «30» мая 2019 г.

Заведующий кафедрой д.т.н., проф.  В.В. Строкова

Директор института д.т.н., проф.  В.А. Уваров



## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2020/2021 учебный год.

Протокол № 3 заседания кафедры от « 28 » 04 2020 г.

Заведующий кафедрой д.т.н., проф.  В.В. Строкова

Директор института д.т.н., проф. В.А. Уваров

## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение №1.** Методические указания для обучающегося по освоению дисциплины (включая перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине).

*Примечание: Приложение №1 выполняется на отдельных листах.*

Для повышения эффективности и наглядности преподавания любых дисциплин кристаллографической направленности, крайне желательно проводить занятия с демонстрацией моделей кристаллических многогранников и кристаллических структур. Используемая, в настоящее время, демонстрация этих сложных пространственных объектов на мониторе компьютера (при помощи соответствующих программ) не всегда удовлетворяет требованиям наглядности. С дидактико-методической точки зрения, гораздо нагляднее для восприятия модели этих объектов. В связи с этим, желательно приобрести для использования в преподавательской практике набор кристаллических структур:

Cu (Au, Ag, Pt), Mg,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Fe, C ( $\alpha$ -,  $\beta$ -графит), BN (борнитрид), C (алмаз, лонсдейлит), модификации ZnS (сфалерит, вюрцит) и C (карборунд), CsCl, NaCl (галит) = MgO (периклаз) = PbS (галенит), NiAs (никелин) = FeS (пирротин), CaF<sub>2</sub> (флюорит) = Li<sub>2</sub>O, модификации TiO<sub>2</sub> (рутил, брукит, анатаз), модификации CaCO<sub>3</sub> (кальцит, арагонит), FeS<sub>2</sub> (марказит, пирит), MoS<sub>2</sub> (молибденит), CO<sub>2</sub>, модификации CdI<sub>2</sub> = Mg(OH)<sub>2</sub> (брусит), Cu<sub>2</sub>O (куприт), CaTiO<sub>3</sub> (перовскит), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (корунд) = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит), MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (шпинель).

Силикаты: (Mg,Fe)<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>] (оливин), Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>] (гранат), Zr[SiO<sub>4</sub>] (циркон), Al<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>](F,OH)<sub>2</sub> (топаз), Zn<sub>4</sub>[SiO<sub>4</sub>](OH)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O (каламин = гемиморфит), BaTi[Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>] (бенитоит), Be<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>[Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>] (берилл), Cu<sub>6</sub>[Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>]·6H<sub>2</sub>O (диоптаз), MgCa[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] (диопсид, Ca<sub>3</sub>[Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>] (волластонит), Ca<sub>2</sub>Mg<sub>5</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub> (тремолит), Al<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>](OH)<sub>4</sub> (каолинит), Mg<sub>3</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>](OH)<sub>4</sub> (серпентин), Al<sub>2</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub> (пирофиллит), Mg<sub>3</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub> (тальк), KAl<sub>2</sub>[Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub> (мусковит), K(Mg,Fe)<sub>3</sub>[Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub> (биотит), CaAl<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub> (маргарит), модификации SiO<sub>2</sub> ( $\alpha$ -,  $\beta$ -кварц, тридимит, кристобалит), K[Si<sub>3</sub>AlO<sub>8</sub>] (ортоклаз).