

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем



В.М. Иевлев  
17.04.2024 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.06 Реальная структура материалов

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:** материаловедение и индустрия наносистем
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Прижимов Андрей Сергеевич, кандидат физико-математических наук
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол №4 от 11.04.2024

---

*отметки о продлении вносятся вручную)*

---

8. Учебный год: 2026-2027

Семестр(ы): 6

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

ознакомление студентов с дефектами в твердых телах, с их классификацией, характеристиками, взаимодействием дефектов друг с другом, влиянием дефектов на свойства твердых тел.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1.	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	знать: классификацию дефектов, их определения и основные свойства уметь: определять тип дефекта, вид дислокаций, их вектор Бюргерса, виды межфазных и межзеренных границ, структурные элементы и параметры специальных границ, атомную структуру поверхности владеть: методами анализа, проектирования научного исследования и прогнозирования свойств
		ПК-2.2.	Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	знать: классификацию дефектов, их определения и основные свойства уметь: рассчитывать межплоскостные расстояния, периоды сетки дислокаций, параметры сопряжения на межфазных границах; обрабатывать результаты исследований, владеть: современными методами исследования свойств материалов
ПК-3	Способен проводить обработку и анализ результатов исследования, полученных основными методами анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)	ПК-3.1	Обладает знаниями возможностей основных методов анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (в том числе наноматериалов)	знать: основы кристаллографии, кристаллофизики и кристаллохимии. уметь: планировать оптимальное проведение исследования элементного, фазового состава и атомной структуры материалов владеть: навыками решения реальных задач исследования структуры материалов (в том числе наноматериалов);
		ПК-3.2	Способен обрабатывать и анализировать результаты типовых методов исследования состава, структуры и свойств материалов (в	знать: основные возможности методов исследования состава, структуры и свойств материалов уметь: применять методы обработки и представления результатов измерений владеть: навыками планирования, постановки задачи и обработки результатов эксперимента

			том числе наноматериалов )	
--	--	--	----------------------------	--

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 4/144

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			№ семестра	№ семестра 6	...
Контактная работа		72		72	
в том числе:	лекции	36		36	
	практические	18		18	
	лабораторные				
	Групповые консультации	18		18	
Самостоятельная работа		36		36	
Промежуточная аттестация		36		36	
Итого:		144		144	

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Введение: от идеального кристалла к реальному	Понятие дефекта, классификация дефектоа	-
1.2	Точечные и одномерные дефекты	Точечные дефекты, концентрация точечных дефектов; дислокации, вектор и контур Бюргерса, энергия дислокаций, движение дислокаций, взаимодействие дислокаций друг с другом и с точечными дефектами, дислокации в ГЦК, ОЦК и ГПУ решетках	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>
1.3	Дефекты упаковки	Дефекты упаковки, частичные дислокации Шокли и Франки, барьер Ломера-Коттрелла, тетраэдр Томпсона	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>
1.4	Границы зерен и межфазные границы	Классификация межфазных границ и границ зерен. Атомная структура границ. Решетка совпадающих узлов. 0-решетка. Специальные межфазные границы. Межфазные и зернограничные дислокации.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>
1.5	Поверхность	Типы поверхности. Атомная структура свободной поверхности. Кристаллография поверхности кристалла. Рельеф поверхности, шероховатость	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>
<b>2. Практические занятия</b>			

2.1	Точечные и одномерные дефекты	Определение концентрации точечных дефектов. Построение вектора и контура Бюргерса, расчет энергии дислокаций, определение механизма движения дислокаций, определение вектора Бюргерса дислокаций в ГЦК, ОЦК и ГПУ решетках	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>
2.2	Дефекты упаковки	Диссоциация полной дислокации на частичные, расчет энергии частичной дислокации.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>
2.3	Границы зерен и межфазные границы	Классификация межфазных границ и границ зерен. Атомная структура границ. Расчет параметров решетки совпадающих узлов. Использование 0-решетки для прогнозирования ориентационных соотношений. Определение структурных элементов специальных межфазных границ. Определение вектора Бюргерса межфазных и зернограницных дислокаций	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>
2.4	Поверхность	Определение типа поверхности. Расчет и построение заданной структуры поверхности. Элементы кристаллографии поверхности кристалла. Параметры рельефа поверхности	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196</a>

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение: от идеального кристалла к реальному	2	1		2	6
2	Точечные и одномерные дефекты	10	5		10	30
3	Дефекты упаковки	4	2		4	12
4	Границы зерен и межфазные границы	12	6		12	36
5	Поверхность	8	4		8	24
	Итого:	36	18		36	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины, необходимо

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- выполнение практического задания.

Использование ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196>

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: Механизм роста и субструктура : учеб. пособие / В.М. Иевлев. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. – 496 с.
2	Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштайн ; пер. с англ. К.Н. Золотовой, Д.О. Чаркина под ред. В.П. Зломанова. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 400 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Павлов П.В. Физика твердого тела / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – М. : "Высшая школа", 1985. – 383 с.
4	Фридель, Ж. Дислокации / Ж. Фридель ; Пер. с англ. А.Л. Ройтбурда. – М. : Мир, 1967. – 643 с.
5	Хирт Д. Теория дислокаций / Дж. Хирт, И. Лоте; под ред. Э.М. Надгорного, Ю.А. Осипьяна. — М. : Атомиздат, 1972. — 598 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Источник
6	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – научная электронная библиотека.
7	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ.

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.  
ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6196>

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специальных технических средств не требуется

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение: от идеального кристалла к реальному	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Устный опрос
2	Точечные и одномерные дефекты	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Устный опрос
3	Дефекты упаковки	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Устный опрос
4	Границы зерен и межфазные границы	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Устный опрос
5	Поверхность	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Комплект КИМ

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- 
1. Понятие дефекта, классификация дефектов.
  2. Дислокации в ГЦК, ОЦК и ГПУ решетках.
  3. Точечные дефекты, концентрация точечных дефектов.
  4. Дефекты упаковки.
  5. Вектор и контур Бюргера.
  6. Специальные межфазные границы.
  7. Типы поверхности.
  8. Энергия дислокаций.
  9. Взаимодействие дислокаций друг с другом и с точечными дефектами..
  10. барьер Ломера-Коттрелла
  11. Классификация межфазных границ и границ зерен.
  12. Межфазные и зернограничные дислокации.
  13. Частичные дислокации Шокли и Франка.
  14. Тетраэдр Томпсона.
  15. Атомная структура межфазных границ.
  16. Решетка совпадающих узлов. 0-решетка.
  17. Движение дислокаций.
  18. Атомная структура свободной поверхности
  19. Рельеф поверхности, шероховатость
  20. Кристаллография поверхности кристалла

#### Практические задания

1. Определить концентрацию точечных дефектов при заданной температуре в кристалле меди.
2. Построить дислокацию в ГЦК-кристалле. Определить ее вектор Бюргера.
3. Построить контур Бюргера.
4. Определить тип дислокации, приведенной на рисунке.
5. Рассчитать энергию полной дислокации в ОЦК-кристалле.
6. Доказать выгодность диссоциации полной дислокации в ГЦК-кристалле на две частичные дислокации Шокли.
7. Определить параметры специальной границы.
8. Построить поверхность с заданной атомной структурой.

Описание технологии проведения.

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 40 минут.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания.

Оценка “отлично” ставится если студент дает полный и правильный ответ, раскрывая теоретические и практические аспекты вопроса, анализируя литературные источники по данному вопросу, аргументирует собственную позицию по данному вопросу

Оценка “хорошо” ставится если студент допускает несущественные ошибки, испытывает трудности при определении собственной оценочной позиции

Оценка “удовлетворительно” ставится если студент допускает существенные ошибки, нарушена логика изложения материала, требуются наводящие вопросы преподавателя

Оценка “неудовлетворительно” ставится при незнании или непонимании большей или наиболее существенной части содержания учебного материала

### 20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

**Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:**

1. Какие дефекты относятся к точечным?
  - а) линейные, вакансии, примесные атомы;
  - б) вакансии, междоузельные атомы, примесные атомы;**
  - в) межфазные границы, вакансии, границы зерен;
  - г) вакансии, междоузельные атомы, поверхностные атомы.
2. К какому типу дефектов относятся дислокации:
  - а) точечные;
  - б) линейные;**
  - в) двухмерные;
  - г) трехмерные.
3. Какие дефекты во всех трех измерениях имеют размеры, сравнимые с межатомным расстоянием:
  - а) точечные;**
  - б) линейные;
  - в) двухмерные;
  - г) трехмерные.
4. Что такое дефект кристаллической структуры?
  - а) несоответствие параметров решетки кристаллов;
  - б) брак, возникающий при производстве изделия;
  - в) отклонение от периодичности расположения атомов;**
  - г) отклонение параметра решетки кристалла.
5. Дефект по Френкелю – это:
  - а) парный дефект, состоящий из вакансии и междоузельного атома;**
  - б) вакансия, находящаяся в объеме кристалла;
  - в) парный дефект, состоящий из вакансии и примесного атома;
  - г) атом, находящийся на поверхности.
6. При увеличении температуры концентрация вакансий:
  - а) увеличивается линейно;
  - б) увеличивается экспоненциально;**
  - в) не изменяется;
  - г) уменьшается экспоненциально.
7. Отклонение от специальной ориентации компенсируется:
  - а) вакансиями;
  - б) границами зерен;
  - в) дислокациями Шокли;
  - г) межфазными дислокациями.**
8. Границы зерен относятся к:
  - а) точечным дефектам;
  - б) плоскостным дефектам;**
  - а) линейным дефектам;
  - а) объемным дефектам;
9. Период сетки дислокаций, компенсирующих несоответствие на границе зерен:
  - а) прямо пропорционален модулю вектора Бюргерса;**
  - б) обратно пропорционален модулю вектора Бюргерса;
  - в) равен модулю вектора Бюргерса;
  - г) всегда равен нулю.
10. Вектор Бюргерса краевой дислокации:
  - а) перпендикулярен линии дислокации;**
  - б) параллелен линии дислокации;
  - в) не определен;
  - г) всегда равен нулю.

26. Границы зерен классифицируются на:

- а) границы наклона и кручения;
- б) малоугловые и большеугловые;
- в) все ответы верны.**

ПК-3 Способен проводить обработку и анализ результатов исследования, полученных основными методами анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)

### **Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:**

1. Специальная граница – это:

- а) граница, характеризующаяся наличием совпадающих узлов;
- б) граница, соответствующая специальной ориентации;
- в) граница, характеризующаяся пониженной энергией;
- г) все ответы верны.**

2. Параметр  $\Sigma$  определяет:

- а) обратную объемную долю совпадающих узлов на границе;**
- б) объемную долю совпадающих узлов на границе;
- в) обратную объемную долю несовпадающих узлов на границе;
- г) правильного ответа нет.

3. Межфазная граница, на которой атомные плоскости одной фазы переходят, не прерываясь, в другую фазу так, что атомы на границе принадлежат одновременно кристаллическим решеткам двух фаз, называется:

- а) когерентной;**
- б) частично когерентной;
- в) некогерентной;
- г) специальной.

4. Поверхность, расположенная под небольшим углом к кристаллической поверхности с малыми индексами Миллера, называется:

- а) сингулярной;
- б) вицинальной;**
- в) ювенильной;
- г) перестроенной.

5. Очищенная от загрязнений поверхность называется:

- а) сингулярной;
- б) вицинальной;
- в) ювенильной;**
- г) перестроенной.

6. Атомная структура поверхности «с пропущенным рядом» может быть записана как:

- а)  $(2 \times 2)_{45^\circ}$ ;
- б)  $(2 \times 1)$ ;**
- в)  $(3 \times 0)$ ;
- г)  $(1 \times 1)$ .

### **Задания с развернутым ответом**

1. Для ОЦК и ГЦК решеток вычислить углы между направлениями:

1)  $[001]$  и  $\langle 111 \rangle$ ; 2)  $[001]$  и  $\langle 112 \rangle$ ; 3)  $[111]$  и  $\langle 112 \rangle$ ;

2. Выбрать максимальное число плоскостей одной зоны:

$(111)$ ,  $(171)$ ,  $(312)$ ,  $(021)$ ,  $(311)$ ,  $(515)$ ,  $(133)$ ,  $(113)$ ,  $(110)$ ,  $(011)$ ,  $(101)$ ,  $(100)$ .

3. Определить индексы плоскостей, отсекающих на координатных осях отрезки:

1) 2, 3, 4; 2) -3, 3, 2; 3) 1, -1, -5.

4. Найти индексы  $(hkl)$  плоскости, в которой находятся направления  $[011]$  и  $[102]$  для кристаллов кубической сингонии.

### **Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:**

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:



1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

**Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).**