

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники  
и электроники \_\_\_\_\_ /Небольсин В.А./

07 марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«Современные методы синтеза наноматериалов»

Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии  
материалов

Профиль Функциональные материалы

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2024

Автор программы  
Заведующий кафедрой  
Химии и химической  
технологии материалов

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

О.В. Артамонова

О.Б. Рудаков

Руководитель ОПОП

О.Б. Рудаков

Воронеж 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины** дать представление о современных проблемах синтеза твердофазных наноматериалов, решение которых существенно расширит возможности создания новых материалов с заданными свойствами.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

- понимание возможностей современных научных методов исследования функциональных наноматериалов;
- овладение этими методами для решения задач, возникающих при выполнении профессиональных функций;
- использование знания химических процессов и законов в решении материаловедческих проблем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Современные методы синтеза наноматериалов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Современные методы синтеза наноматериалов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-8 - Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и наноструктуры материала на его свойства, взаимодействие материала с окружающей средой, механическими и физическими нагрузками

ПК-12 - Способен участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами

	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-8	Знать методы теоретического и экспериментального исследования наноматериалов
	Уметь самостоятельно проводить теоретические и экспериментальные исследования наносистем и материалов
	Владеть минимально необходимым комплексом сведений о различных классах современных наноматериалов
ПК-12	Знать основные технологические операции на пути от вещества к материалу; методологию разработки технологии новых наноматериалов, направления и проекты современного материаловедения
	Уметь делать обобщения и выводы на основе полученных экспериментальных данных; разрабатывать методологию синтеза функциональных наноматериалов
	Владеть минимально необходимым комплексом сведений о проблемах синтеза наноматериалов

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Современные методы синтеза наноматериалов» составляет 6 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	68	68
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	34	34
в том числе в форме практической подготовки	10	10
<b>Самостоятельная работа</b>	112	112
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации – экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	216	216
зач.ед.	6	6

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий  
**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Методы синтеза твердофазных наноматериалов	Основные проблемы при синтезе твердофазных наноматериалов. Методы синтеза поликристаллических наноматериалов. Методы получения монокристаллов и эпитаксиальных покрытий.	6	4	18	28
2	Основные технологические операции на пути от вещества к материалу	Прекурсоры, наносистемы, термическая обработка, методы закалки, отжиги, рекристаллизация, основные стадии спекания, природа упрочнения при дисперсионном старении.	6	6	18	30
		<i>практическая подготовка обучающихся</i>	-	2	-	2
3	Получение и очистка кристаллов, нанокристаллов	Кристаллизация из расплавов, направленная кристаллизация, рост кристаллов из пара, рост по механизму пар-жидкость-кристалл. Очистка кристаллов.	6	6	18	30
		<i>практическая подготовка обучающихся</i>	-	2	-	2
4	Методология разработки технологии новых материалов	Планарная технология в микроэлектронике. Направления и проекты современного строительного материаловедения.	6	6	18	30
		<i>практическая подготовка обучающихся</i>	-	2	-	2

5	Микромир современных материалов	Керамика и композиты. Виды функциональной керамики. Процессы формирования и спекания керамики. Области применения керамических материалов. Стеклообразные и аморфные материалы. Термодинамика и кинетика процессов стеклования. Структура силикатных, боратных и фосфатных стекол. Прозрачная стеклокерамика. Применение стекол.	6	6	20	32
		<i>практическая подготовка обучающихся</i>	-	2	-	2
6	Наномир современных материалов	Перспективные керамические композиты и нанокерамика. Фотонные кристаллы. Тонкие пленки и покрытия. Пленка как композит. Взаимное влияние пленки и подложки. Условия осаждения и морфология пленки. Эпитаксия. Методы осаждения пленок. Применение тонкопленочных наноматериалов.	6	6	20	30
		<i>практическая подготовка обучающихся</i>	-	2	-	2
<b>Итого</b>			<b>34</b>	<b>34</b>	<b>112</b>	<b>180</b>

Практическая подготовка при освоении дисциплины (модуля) проводится путем непосредственного выполнения обучающимися отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью, способствующих формированию, закреплению и развитию практических навыков и компетенций по профилю соответствующей образовательной программы на практических занятиях и (или) лабораторных работах:

№ п/п	Перечень выполняемых обучающимися отдельными элементами работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью	Формируемые профессиональные компетенции
1	Синтез золь-гель методом оксидных наноразмерных систем	ПК-8, ПК-12
2	Определение качественного состава наноразмерных систем	ПК-8, ПК-12
3	Модифицирование цементных систем твердения комплексными наноразмерными добавками	ПК-8, ПК-12
4	Исследование процессов гидратации и твердения наномодифицированных цементных систем	ПК-8, ПК-12
5	Исследование фазового состава наномодифицированных цементных систем	ПК-8, ПК-12

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ

## ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-8	Знать методы теоретического и экспериментального исследования наноматериалов	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь самостоятельно проводить теоретические и экспериментальные исследования наносистем и материалов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть минимально необходимым комплексом сведений о различных классах современных наноматериалов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-12	Знать основные технологические операции на пути от вещества к материалу; методологию разработки технологии новых наноматериалов, направления и проекты современного материаловедения	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь делать обобщения и выводы на основе полученных экспериментальных данных; разрабатывать методологию синтеза функциональных наноматериалов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть минимально необходимым комплексом сведений о проблемах синтеза наноматериалов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

#### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-8	Знать методы теоретического и экспериментального исследования наноматериалов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь самостоятельно проводить теоретические и экспериментальные исследования наносистем и материалов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть минимально необходимым комплексом сведений о различных классах современных наноматериалов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-12	Знать основные технологические операции на пути от вещества к материалу; методологию разработки технологии новых наноматериалов, направления и проекты современного материаловедения	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь делать обобщения и выводы на основе полученных экспериментальных данных; разрабатывать методологию синтеза функциональных наноматериалов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть минимально необходимым комплексом сведений о проблемах синтеза наноматериалов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые

**контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

**7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

1. Из скольких фаз могут быть получены монокристаллы?
  - A) 3
  - B) 2
  - C) 1
  - D) 4
  - E) 5
  
2. Укажите методы получения монокристаллов?
  - 1) метод Чохральского 2) метод Бриджмена 3) метод Стокбаргера
  - A) 1,2,3
  - B) только 1
  - C) только 2
  - D) только 3
  - E) 1,2
  
3. Кристалл какого состава применяется в качестве рабочего кристалла в лазерах?
  - A)  $\text{Ca}(\text{NbO}_3)_2$
  - B)  $\text{CaBrO}_3$
  - C)  $\text{CaPrO}_3$
  - D)  $\text{Ca}(\text{PrO}_2)_2$
  - E)  $\text{CaJO}_3$
  
4. Скорость вытягивания затравки в методе Бриджмена колеблется
  - A) от 2-х до 5 мм/ч
  - B) от 2-х до 4-х мм/ч
  - C) от 2-х до 5 см/ч
  - D) от 2-х до 4-х см/ч
  - E) от 2-х до 10 см/ч
  
5. Чем отличается метод Чохральского от метода кристаллизации из растворов в расплаве?
  - A) при кристаллизации из растворов состав получаемых кристаллов отличается от состава раствора
  - B) в методе Чохральского состав получаемых кристаллов отличается от состава раствора
  - C) метод Чохральского основан на кристаллизации раствора
  - D) в методе Чохральского кристаллизация осуществляется в наиболее холодной части расплава
  - E) это один и тот же метод
  
6. Из чего получают кристаллы различных силикатов с высокими температурами плавления?

- A) из растворов легкоплавких боратов
- B) из растворов фосфатов
- C) из растворов алюминатов
- D) из тугоплавких селенатов
- E) из легкоплавких молибденитов

7. Какую роль выполняет флюс при кристаллизации из растворов в расплаве?

- A) понижает температуру плавления основного кристаллического продукта
- B) повышает плотность основного кристаллического продукта
- C) понижает интенсивность кристаллообразования
- D) повышает дипольный момент основного кристаллического продукта
- E) никакую

8. Что из перечисленного не верно?

- A) структура цеолитов не содержит пустот
- B) образование кристаллических продуктов из растворов, гелей протекает при более низких температурах, чем при твердофазном синтезе
- C) кристаллизация из водных растворов применяется для получения кристаллогидратов
- D) гель, раствор характеризуется однородностью
- E) цеолиты используются в качестве молекулярных сит и катализаторов

9. В результате сополимеризации метасиликат и метаалюминат ионов образуется?

- A) гель
- B) раствор
- C) расплав
- D) стекло
- E) ничего

10. Что общего между кристаллизацией из растворов и кристаллизацией из расплавов?

- 1) совместное плавление исходных твердых веществ способствует высокой степени гомогенизации
  - 2) при охлаждении раствора и расплава происходит образование и рост кристаллов
  - 3) температурный диапазон
- A) 1,2
  - B) 1,3
  - C) 1,2,3
  - D) только 1
  - E) только 3

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

**Задача 1.** Найдите расстояние между центрами соседних молекул фуллерена в его низкотемпературной модификации (плотность  $1.7 \text{ г/см}^3$ ), которая имеет примитивную кубическую решетку, где молекулы находятся только в вершинах кубической элементарной ячейки.

### Решение

В примитивной кубической решетке каждая молекула в вершине куба принадлежит 8 соседним элементарным ячейкам. На одну ячейку приходится  $8 \cdot 1/8 = 1$  молекула  $C_{60}$ .

Объем одного моля фуллерена составляет:

$$V_m = M / \rho = 720.6 / 1.7 = 424 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

Объем одной элементарной ячейки:

$$V_{\text{яч}} = V_m / N_A = 424 / 6.02 \cdot 10^{23} = 7.04 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3 = 0.704 \text{ нм}^3.$$

Расстояние между центрами соседних молекул равно ребру элементарной ячейки:

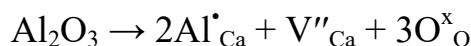
$$a = V_{\text{яч}}^{1/3} = 0.89 \text{ нм}.$$

**Ответ.** 0.89 нм.

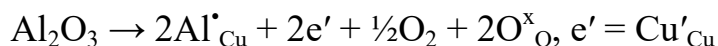
**Задача 2.** Равные навески оксидов металлов  $\text{CaO}$  и  $\text{CuO}$  смешали с одинаковым количеством  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . После прогрева произошло изоморфное растворение  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в оксидах. При этом в  $\text{CaO}$  повысилась ионная проводимость, а в  $\text{CuO}$  – электронная. Как при помощи точного взвешивания определить в каком оксиде, какой тип проводимости? Следует отметить, что до введения примеси исходные оксиды имели стехиометрический состав. Напишите квазихимические уравнения происходящих процессов.

### Решение

$\text{CaO}$  является оксидом, в котором преобладают катионные и анионные вакансии (дефекты Шоттки). Кроме того,  $\text{CaO}$  относится к стехиометрическим оксидам т.е. независимо от внешних условий химический состав оксида слабо отличается от стехиометрического. Повышение ионной проводимости в  $\text{CaO}$  при допировании  $\text{Al}_2\text{O}_3$  свидетельствует об увеличении концентрации вакансий. Ион алюминия в решётке  $\text{CaO}$  имеет положительный эффективный заряд. Поэтому растворение  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в  $\text{CaO}$  должно сопровождаться образованием отрицательно заряженных вакансий кальция.



$\text{CuO}$  относится к кислород-дефицитным оксидам т.е. содержание меди обычно больше содержания кислорода. Замещение меди алюминием способствует удалению кислорода из оксида и ещё большему отклонению от стехиометрического состава.



Образующиеся при этом электроны увеличивают электронную проводимость оксида.

При растворении  $Al_2O_3$  в  $CuO$  будет происходить удаление кислорода и уменьшение веса образца. При растворении  $Al_2O_3$  в  $CaO$  вес образца меняться не будет.

**Задача 3.** Как меняется объём кристалла вследствие образования дефектов: а) по Шоттки; б) по Френкелю?

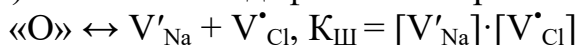
**Решение**

Образование дефектов по Шоттки уменьшает плотность кристалла из-за увеличения его объема при постоянной массе. При образовании дефектов по Френкелю плотность остается неизменной, так как объем кристалла не изменяется.

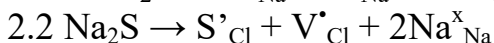
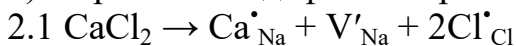
**Задача 4.** Хлорид натрия  $NaCl$  продопирован одновременно примесями  $CaCl_2$  и  $Na_2S$ . Катион  $Ca^{2+}$  замещает  $Na^+$  в катионной подрешетке, а анион  $S^{2-}$  замещает  $Cl^-$  в анионной подрешетке и их концентрации соответственно равны  $C_1$  и  $C_2$ . Приведите выражения для зависимости концентрации дефектов от концентрации внесенных примесей, если известно, что  $NaCl$  дефектен по Шоттки.

**Решение**

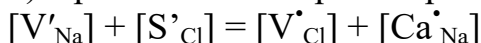
1) Собственная дефектность кристалла:



2) Образование дефектов при введении примесных атомов:



3) Уравнение электронейтральности:



Пусть  $[V'_{Na}] = x$ ,  $[Ca^{\bullet}_{Na}] = C_1$ ,  $[S^{\bullet}_{Cl}] = C_2$ ,  $[V^{\bullet}_{Cl}] = K_{III}/x$ , тогда

$$x + C_2 = C_1 + K_{III}/x$$

Умножив правую и левую часть уравнения на  $x$  получим квадратное уравнение

$$x^2 + (C_2 - C_1)x - K_{III} = 0$$

Физический смысл имеет только положительный корень данного уравнения

$$[V'_{Na}] = x = 1/2(C_1 - C_2) + 1/2((C_1 - C_2)^2 + 4K_{III})^{1/2}$$

$$[V^{\bullet}_{Cl}] = (C_2 - C_1) + x = 1/2(C_2 - C_1) + 1/2((C_1 - C_2)^2 + 4K_{III})^{1/2}$$

**Задача 5.** Найти индексы плоскости, которая отсекает на координатных осях следующие отрезки:  $1/2$ ,  $1/2$ ,  $1/4$ .

**Решение:**

Поскольку длины отрезков выражены в осевых единицах, имеем  $1/h = 1/2$ ;  $1/k = 1/4$ ;  $1/l = 1/4$ . Находим обратные значения и берем их отношение  $h : k : l = 2 : 4 : 4$ . Сократив на два, приведем отношение полученных величин к отношению трех целых наименьших чисел:  $h : k : l = 1 : 2 : 2$ .

Ответ: (122).

**Задача 6.** Определить параметр  $a$  и расстояние  $d$  между ближайшим кристаллом кальция (решетка кубическая гранецентрированная). Плотность  $\rho$  кальция равна  $1,55 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

**Решение**

Объем элементарной ячейки кристалла кубической решетки  $V = a^3$  или отношению молярного объема к числу элементарных ячеек в одном моле  $V = V_\mu/Z_\mu$ . Приравняв правые части этих формул, получим:

$$a^3 = V_\mu/Z_\mu.$$

Молярный объем  $V_\mu = \mu/\rho$ , где  $\rho$  – плотность кальция,  $\mu$  – его молярная масса. Число элементарных ячеек в моле  $Z_\mu = N_A/n$ , где  $n$  – число атомов, приходящихся на одну ячейку. Подставив в предыдущую формулу выражения  $V_\mu$  и  $Z_\mu$  получим:

$$a = \sqrt[3]{\frac{n\mu}{\rho N_A}}.$$

Подставим в полученную формулу значения величин  $\mu$ ,  $\rho$  и  $N_A$  и учитывая, что  $n = 4$ , произведем вычисления:

$$a = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{1.55 \cdot 10^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}} = 0.56 \text{ нм}.$$

Расстояние  $d$  между ближайшими соседними атомами в ГЦК-решетке равно:

$$d = a \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.39 \text{ нм}.$$

Ответ:  $a = 0.56$  нм;  $d = 0.39$  нм.

**Задача 7.** На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновских лучей ( $\lambda = 1,47 \text{ \AA}$ ). Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда лучи падают под углом  $\varphi = 31^\circ 30'$ .

**Решение**

Из уравнения Вульфа-Брэгга найдем межплоскостное расстояние:

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}.$$

Угол  $\theta$  является дополнительным углом к углу  $\varphi$ :  $\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi = 58^\circ 30'$ .

Подставим	числовые	значения:
$d = \frac{n\lambda}{2 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)} = \frac{2 \cdot 1.47 \cdot 10^{10}}{2 \sin 58^\circ 30'} = \frac{2 \cdot 1.47 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 0.853} = 1.7 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 1.7 \text{ \AA} = 0.17 \text{ нм}.$		

Ответ:  $d = 0.17$  нм.

**Задача 8.** Диффузные константы лития в кремнии равны  $D_0 = 2.3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $Q = 0.65 \text{ эВ}$ . Рассчитайте температуру, при которой атом лития, растворенный в кремнии, будет совершать один прыжок за одну секунду.

**Решение**

Частота перемещения атома  $f$  связана с коэффициентом диффузии следующим соотношением  $D = \delta^2 f/6$ . С другой стороны  $D = D_0 e^{-\frac{Q}{kET}}$ . Тогда

$$D_0 e^{-\frac{Q}{kET}} = \frac{\delta^2 f}{6}.$$

После решения полученного уравнения относительно  $T$ :  $T = \frac{Q}{k_E \cdot \ln \frac{6D_0}{\delta^2 \cdot f}}$ .

Подставим численные значения:

$$T = \frac{0.65 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{1.38 \cdot 10^{-23} \ln \frac{6 \cdot 2.3 \cdot 10^{-7}}{(5.43 \cdot 10^{-10})^2}} \approx 260 \text{ K}.$$

Ответ: 260 К.

**Задача 9.** Пусть энергия, требуемая для перемещения атома натрия из внутренней части кристалла на поверхность, равны 1 эВ. Вычислите теплоемкость одного металла при комнатной температуре, обусловленную наличием в ней дефектов Шоттки.

**Решение**

Число дефектов Шоттки в твердом теле:

$$n = Ne^{-\frac{E}{kT}}.$$

Общая энергия дефектов:

$$U = nE = NEe^{-\frac{E}{kT}}.$$

Отсюда находим теплоемкость:

$$C = \frac{\partial U}{\partial T} = \frac{NE^2}{kT^2} e^{-\frac{E}{kT}} = \frac{6.02 \cdot 10^{26} \cdot (1.6 \cdot 10^{-19})^2 e^{-\frac{1.6 \cdot 10^{-19}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300^2} \approx 3.7 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Дж}}{(\text{кмоль} \cdot \text{град})}.$$

Ответ:  $3.7 \cdot 10^{-10}$  Дж/(кмоль·град).

**Задача 10.** В медном проводнике с площадью поперечного сечения  $0.2 \text{ см}^2$  идет ток 1 А. Какова средняя скорость дрейфа электрона?

**Решение**

Плотность тока  $j = I/S$ . С другой стороны  $j = nev_d$ . Отсюда  $v_d = j/ne = I/(Sne)$ .

Концентрацию определяем по формуле:

$$n = \frac{\rho}{\mu} N_A = \frac{8890 \cdot 10^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{63.5} \approx 8.4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

Подставим численные значения:

$$v_d = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 0.84 \cdot 10^{29}} \approx 0.37 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}.$$

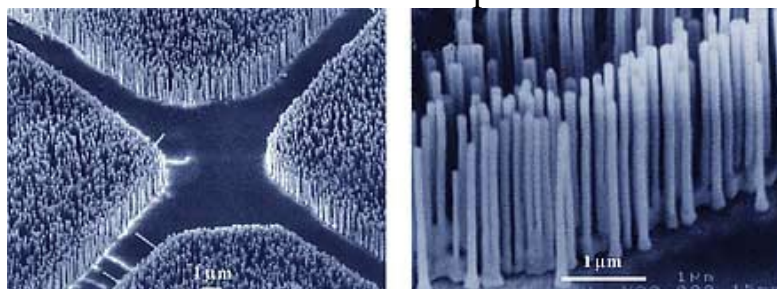
Ответ:  $0.37 \cdot 10^{-5}$  м/с

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

**Задача 1.** Оксид цинка, выращенный в виде цилиндрических наностержней диаметром 20 – 150 нм, способен выступать в роли миниатюрного полупроводникового источника лазерного излучения. Эффективность работы такого устройства в целом зависит от формы и взаимного расположения стержней друг относительно друга. Форма и размеры нанокристаллов оксида цинка зависят от скорости испарения вещества и положения подложки – основы, на которой происходит рост

кристаллов. Добиться параллельного расположения наностержней оксида цинка удастся, используя метод газофазного химического транспорта паров оксида цинка на подложку из нитрида галлия, покрытую тонким слоем золота.

1. Оцените, сколько атомов цинка входит в состав наностержня диаметром 20 нм и длиной 1 мкм, если известно, что плотность оксида цинка равна  $5.75 \text{ г/см}^3$ .
2. Предложите не менее 4 методов получения оксида цинка.
3. Оксид цинка – очень тугоплавкий ( $t_{\text{пл}} \sim 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Как можно получить пары этого вещества? Предложите два способа.
4. Какие применения может найти нанолазер?



Микрофотографии наностержней оксида цинка при различном увеличении

### Решение

1. Наностержень можно представить в виде цилиндра. Его объем:

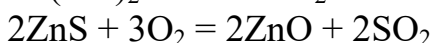
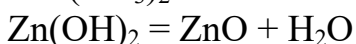
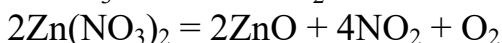
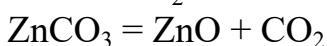
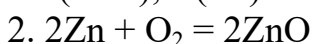
$$V = \pi R^2 h = 3.14 \cdot (10^{-6} \text{ см})^2 \cdot 0.1 \text{ см} = 3.14 \cdot 10^{-13} \text{ см}^3.$$

Масса цилиндра:

$$m = \rho \cdot V = 5.75 \cdot 3.14 \cdot 10^{-13} = 1.806 \cdot 10^{-12} \text{ г.}$$

$$\nu(\text{ZnO}) = m / M = 1.806 \cdot 10^{-12} / 81 = 2.23 \cdot 10^{-14} \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{Zn}) = \nu(\text{ZnO}), N(\text{Zn}) = \nu \cdot N_A = 2.23 \cdot 10^{-14} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 1.34 \cdot 10^{10}.$$



3. Небольшие количества паров оксида цинка можно получить лазерным разогревом поверхности ZnO. Другой способ – испарение цинка ( $t_{\text{кип}} \sim 900 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и окисление паров цинка кислородом.

4. Нанолазеры – это высокоэффективные миниатюрные источники света. Они могут найти применение в микроанализе, медицине, системах хранения данных, дисплеях компьютеров. Подсчитано, что замена использующихся сегодня для записи на CD красных лазеров на нанолазеры приведет к возрастанию плотности записи более, чем в тысячу раз.

**Задача 2.** Оптические наблюдения показали, что в результате сдвиговой деформации кристалла на его поверхности образовались ступеньки высотой 10 мкм, расстояние между ступеньками равно 100 мкм. Определите величину деформации сдвига, если сдвиг осуществлялся перпендикулярно поверхности кристалла. Предполагая, что ступенька образуется в результате движения дислокаций в одной плоскости скольжения, определите число дислокаций вышедших на поверхность, необходимых для образования одной ступеньки, если вектор Бюргерса дислокации перпендикулярен поверхности и равен

$5 \cdot 10^{-10}$  м.

### Решение

В результате образования и движения дислокаций в кристалле происходит его деформация. Ступеньки на поверхности кристалла образуются в результате выхода дислокаций. Выход каждой дислокации увеличивает высоту ступеньки на величину вектора Бюргера дислокации. Таким образом, зная высоту образовавшихся в результате деформации ступенек, мы можем легко найти количество дислокаций, вышедших на поверхность в результате деформации кристалла.

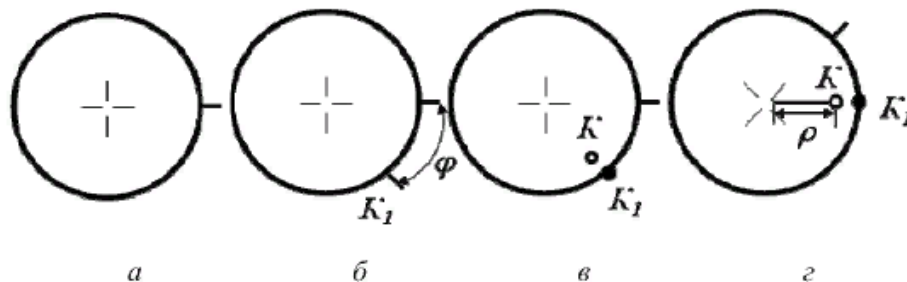
$$N = l/b; N = (10 \cdot 10^{-6}) / (5 \cdot 10^{-10}) = 20\ 000.$$

Такое огромное количество дислокаций образуется в одной плоскости скольжения в результате работы дислокационного источника, например, источника Франка-Рида. Источником Франка-Рида может являться любой сегмент дислокационной линии, имеющий прочные точки закрепления на концах. Источник Франка-Рида может генерировать бесконечное число дислокационных петель, которые расширяясь, выходят на поверхность кристалла. Величину деформации сдвига находим, поделив высоту ступеньки и расстояние между ступеньками:

$$\gamma = l/L; \gamma = 10/100 = 0.1.$$

Локализация пластической деформации в определенной плоскости скольжения связано с действием источника Франка-Рида.

**Задача 3.** Построить на плоскости проекции точку К со сферическими координатами  $\varphi$  и  $\rho$ .



### Решение

**Рис.** Методика построения плоскости проекции точки К со сферическими координатами  $\varphi$  и  $\rho$ .

1. Накладываем кальку на сетку Вульфа, отмечаем крестиком центр проекции и черточкой – нулевое значение  $\varphi$  (рис., а).

2. По часовой стрелке от нулевой точки вдоль основного круга проекций отсчитываем угол  $\varphi$  и ставим вспомогательную точку  $K_1$  (рис., б).

3. Путем concentрического поворота кальки относительно центра выведем точку  $K_1$  на конец одного из диаметров сетки и от центра сетки в направлении точки  $K_1$  отсчитываем координату  $\rho$ . Полученную точку обозначаем буквой К (рис., в).

4. Возвращаем кальку в исходное положение (рис., г). Данная задача

применяется при построении стереографической проекции направления или гномостереографической проекции плоскости по известным сферическим координатам.

**Задача 4.** Кристаллы меди имеют гранецентрированную кубическую решетку. При комнатной температуре ребро элементарного куба равно  $3,608 \text{ \AA}$ . Монокристалл меди вырезан параллельно одной из граней элементарного куба. Пусть на поверхность кристалла падает монохроматический пучок рентгеновских лучей с длиной волны  $1,658 \text{ \AA}$ . Показать, что плоскости, параллельные поверхности, будут отражать рентгеновские лучи, если угол между пучком и поверхностью кристалла приблизительно равен  $27^\circ$  или  $67^\circ$ .

**Решение**

Как известно, отражение от кристалла возникает в том случае, если выполняется условие Вульфа–Брэгга  $2d\sin\theta = n\lambda$ , откуда  $\sin\theta = n\lambda/(2d)$ .

При  $n = 2$ :  $\sin\theta = \lambda/d = 1.658/3.608 = 0.4595$ ;  $\theta \sim 27^\circ$ .

При  $n = 4$ :  $\sin\theta_2 = 2\lambda/d = 2 \cdot 1.658/3.608 = 0.9190$ ;  $\theta \sim 67^\circ$ .

Ответ: При  $n = 2$   $\theta \sim 27^\circ$ , при  $n = 4$   $\theta \sim 67^\circ$

**Задача 5.** Пусть дана диаграмма, представленная на рисунке. При помощи данной диаграммы: 1) опишите превращения; 2) при помощи правила отрезков определите структуру сплава; 3) при помощи правила отрезков определить химический состав сплава по заданной структуре; 4) постройте кривую охлаждения; 5) найдите число степеней свободы.

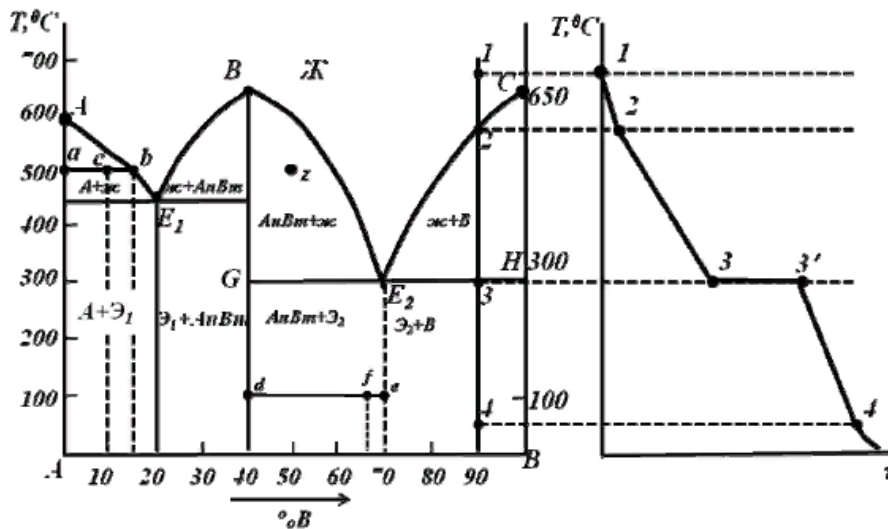


Диаграмма состояния с образованием устойчивого химического соединения и кривая охлаждения сплава 90 % B + 10 % A

**Решение**

1) *Название:* диаграмма состояния для сплавов с образованием устойчивого химического соединения.

*Точки:* A – температура плавления компонента A; C – температура плавления компонента B; B – температура плавления химического соединения  $A_nB_m$ ;  $E_1$  – первая точка эвтектики;  $E_2$  – вторая точка эвтектики.

*Линии:*  $AE_1BE_2C$  – линия ликвидус;  $DF$  и  $GH$  – линии солидус.

*Фазы и структуры:* Ж – расплав компонентов A и B; A – кристаллы

компонента А; В – кристаллы компонента В;  $A_nB_m$  – кристаллы химического соединения  $A_nB_m$ ;  $\mathcal{E}_1$  – первая эвтектика – мелкодисперсная механическая смесь кристаллов А и  $A_nB_m$ ;  $\mathcal{E}_2$  – вторая эвтектика кодисперсная механическая смесь кристаллов  $A_nB_m$  и В.

2) Начальные данные: 10 % В,  $T = 500\text{ }^\circ\text{C}$ .

Этим данным соответствует точка *c* на диаграмме (рис.). В этой точке две фазы, расплав и кристаллы компонента А, т.е. правило отрезков применимо. Через точку *c* проводим горизонтальный отрезок *ab* до пересечения с ближайшими линиями диаграммы. Составляем пропорцию и решаем ее, измерив длину всех отрезков (буквой *Q* обозначаем массу). При решении необходимо помнить, что при составлении пропорции отрезок, соответствующий данной фазе, – это дальний от нее отрезок, т.е. расплаву соответствует отрезок *ac*, а кристаллам А – *cb*. Общая масса – это 100 %, и ей соответствует общий отрезок *ab*.

$$Q_A/Q_{\text{total}} = cb / ab; Q_A / 100\% = 5 / 15; Q_A = 5/15 \cdot 100\% = 33.3\%$$

$$Q_L = 100\% - 33.3\% = 66.7\%$$

Химический состав расплава описывается точкой *b* (15 % В + 85 % А), а твердой фазы – точкой *a* (100 % А).

Ответ:  $Q_A = 33,3\%$ ;  $Q_{\text{ж}} = Q_L = 66,7\%$ ;  $C_A = 100\% \text{ А}$ ;  $C_{\text{ж}} = 15\% \text{ В} + 85\% \text{ А}$ .

3) Дано:  $Q_{A_nB_m} = 10\%$ ,  $Q_{(A_nB_m + B)} = 90\%$ ,  $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ .

Эта задача является обратной задаче 2: дано весовое соотношение и надо найти точку на диаграмме, которой оно соответствует. Из данных задачи следует, что в искомой области присутствуют кристаллы  $A_nB_m$  и вторая эвтектика – это область под отрезком  $GE_2$  на диаграмме. В этой области проводим горизонтальный отрезок *de* при температуре  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . На этом отрезке существует некоторая точка *f*, которая соответствует условиям задачи, соответственно можно составить пропорцию и решить ее:

$$Q_{A_nB_m} / Q_{\text{total}} = fe/de; 10\% / 100\% = fe / 30; fe = 3.$$

Т. к. длина отрезка *fe* найдена, можно определить химический состав сплава в точке *f*: 67 % В и 33 % А.

Ответ:  $C_{\text{сплав}} = 67\% \text{ В} + 33\% \text{ А}$ , (%);  $C_{A_nB_m} = 40\% \text{ В} + 60\% \text{ А}$ ;  $C_{(A_nB_m + B)} = 70\% \text{ В} + 30\% \text{ А}$ .

4) Дано: 90 % В.

Проводим вертикальную линию для данного химического состава и все точки пересечения этой линии с линиям диаграммы последовательно нумеруем, первая точка должна быть в расплаве (рис.). При построении надо помнить, что:

- если в данной точке начинается кристаллизация, то выделяется тепло и охлаждение идет медленнее (более пологий участок);

- если число степеней свободы равно нулю, то на кривой охлаждения будет горизонтальный участок.

Решение приведено на рис. справа:

Точка 1.  $i_1 = 2 - 1 + 1 = 2$ , т. к. 2 компонента и 1 фаза: от точки 1 до точки 2 расплав остывает.

**Точка 2.** Начинается кристаллизация компонента В, охлаждение пойдет медленнее.  $i_2 = 2 - 2 + 1 = 1$ , т. к. 2 компонента и 2 фазы: от точки 2 до точки 3 кристаллизуется компонент В.

**Точка 3.** Линия эвтектики. Здесь одновременно кристаллизуются компонент В и химическое соединение  $A_nV_m$ , т. е. вторая эвтектика, поэтому в равновесии находятся 3 фазы – Ж и кристаллы В и  $A_nV_m$ .

$i_3 = 2 - 3 + 1 = 0$ . На кривой охлаждения наблюдается горизонтальный участок 33', т. е. температура не меняется, пока весь расплав не превратится во вторую эвтектику: от точки 3 до точки 4 остывает механическая смесь фаз  $A_nV_m$  и В.

**Точка 4.**  $i_4 = 2 - 2 + 1 = 1$ .

5) Дано: 50 % В,  $T = 500^\circ\text{C}$ . На рис. это точка z. По формуле Гиббса  $i = K - \Phi + 1$ . В данном случае 2 компонента (А и В), 2 фазы ( $A_nV_m$  и Ж), поэтому  $i = 2 - 2 + 1 = 1$ .

**Задача 6.** Вычислить по классической теории теплоемкость  $C$  кристалла бромида алюминия объемом  $200\text{ см}^3$ . Плотность кристалла  $3.01\text{ г/см}^3$ . Условие  $T > \Theta$  считать выполненным.

### Решение

Химическая формула бромида алюминия –  $AlBr_3$ , т.е. данное соединение содержит четыре атома ( $n = 4$ ). Исходя из этого, молярная теплоемкость кристалла (согласно закону Неймана-Коппа):

$$C_\mu = n3R = 99.7\text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)}.$$

Теплоемкость всего кристалла:

$$C = C_\mu m / \mu = C_\mu \rho V / \mu = 12R\rho V / \mu \quad (1).$$

По таблице Д.И. Менделеева найдем, что относительные атомные массы алюминия и брома составляют 27 и 80 соответственно, при этом  $M_r(AlBr_3) = 267$ , а  $\mu = 0.267\text{ кг/моль}$ .

Подставив численные значения в формулу (1) получим  $C = 225\text{ Дж/К}$ .

Ответ:  $C = 225\text{ Дж/К}$ .

**Задача 7.** Определите температуру вырождения  $T_B$  для калия, если считать, что на каждый атом приходится по одному свободному электрону. Плотность калия  $860\text{ кг/м}^3$ .

### Решение

Температура вырождения  $T_B$  согласно квантовой теории электронов в металле определяется выражением

$$T_B = h^2 n^{2/3} / (2\pi k m) \quad (1),$$

где  $h$  – постоянная Планка ( $6.62 \cdot 10^{-34}\text{ Дж} \cdot \text{с}$ );  $k$  – постоянная Больцмана ( $1.38 \cdot 10^{-23}$ );  $m$  – масса электрона ( $9.1 \cdot 10^{-31}\text{ кг}$ );  $n$  – концентрация квазисвободных электронов в металле. Согласно условию  $n$  равно концентрации  $N$  атомов, которая определяется выражением

$$N = N_{Ar} / \mu \quad (2).$$

По таблице Д.И. Менделеева  $\mu = 39 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$ .

Полагая  $n = N$  и подставляя выражение (2) в формулу (1) с учетом приведенных выше числовых данных окончательно получаем:

$$T_B = 3.12 \cdot 10^4\text{ К}.$$

Ответ:  $T_B = 3.12 \cdot 10^4$  К.

**Задача 8.** Симмонс и Баллуфи наблюдали, что если стержень из серебра нагревается до температуры плавления, то относительное увеличение длины стержня превышает относительное увеличение параметра решётки на  $5.6 \cdot 10^{-5}$ . Предполагая, что единственными имеющимися дефектами являются изолированные вакансии, и принимая энтропию образования вакансии равной  $1.5 R$  Дж/(моль · К), вычислите энтальпию образования вакансии. Температура плавления серебра равна  $1233.5$  К.

### Решение

Одним из способов определения концентрации тепловых точечных дефектов является измерение разности теплового расширения кристалла и сопутствующего изменения периода решётки. При образовании вакансии объём кристалла увеличивается. Увеличение объёма, приходящееся на одну вакансию, близко к объёму атома решётки ( $\Omega$ ). Кубический кристалл из  $N$  атомов при нагревании увеличивает свой объём на  $3N\Omega \cdot a/a$  за счёт увеличения межатомных расстояний (тепловое расширение) и на  $n\Omega$  – за счёт рождения  $n$  вакансий. Поэтому макроскопически наблюдаемое относительное изменение объёма будет равно:

$$V/V = 3L/L = (3N\Omega \cdot a/a + n\Omega)/(N\Omega) = (3 \cdot a/a + [V_{Ag}^x]),$$

где  $[V_{Ag}^x] = n/N$  – изменение концентрации вакансий. Отсюда можно легко определить изменение концентрации вакансий при нагревании кристалла от  $T_0$  до  $T$ :

$$[V_{Ag}^x] = 3(L/L - a/a)$$

Если измерения проводить в широком интервале температур, то  $[V_{Ag}^x](T_0) \ll [V_{Ag}^x](T)$  и  $[V_{Ag}^x] = [V_{Ag}^x](T)$ , т.е. изменение концентрации вакансий при нагревании кристалла от  $T_0$  до  $T$  будет равно концентрации вакансий при более высокой температуре  $T$ .

Из условия задачи нам известно, что относительное увеличение длины стержня превышает относительное увеличение параметра решётки на  $5.6 \cdot 10^{-5}$ .

Следовательно, мы можем легко найти концентрацию вакансий в серебре при температуре плавления.

$$[V_{Ag}^x](T_{пл}) = 3(\Delta L/L - a/a) = 35.6 \cdot 10^{-5} = 1.68 \cdot 10^{-4}.$$

Поскольку концентрация вакансий в серебре определяется выражением

$$[V_{Ag}^x] = \exp(S/R) \exp(-H_{III}/RT),$$

то энтальпия образования вакансии будет равна

$$H_{III} = T_{пл}(S - R \cdot \ln[V_{Ag}^x]).$$

Подставив в эту формулу значения  $T_{пл} = 1233.5$  К,  $\Delta S = 1.5R$  Дж/моль · К, получим значение энтальпии образования вакансий в серебре  $H_{III} = 104.5$  кДж/моль.

Ответ:  $H_{III} = 104.5$  кДж/моль.

**Задача 9.** Вычислите длину волны фононов в свинце, соответствующую частоте  $\omega = 0.1\omega_D$ , если плотность свинца  $\rho = 11.3$  г/см<sup>3</sup>, а его молярная масса  $207$  г/моль.

### Решение

Частота Дебая (максимальная частота колебаний кристаллической

решетки) определяется выражением  $\omega_D = v(6\pi^2 n)^{1/3}$

где  $v$  – скорость распространения колебаний (скорость звука) в кристалле,  $n$  – концентрация атомов в кристалле

$$n = N_A \rho / \mu.$$

В пренебрежении дисперсией звука в кристалле:

$$\lambda_\Phi = 2\pi v / \omega,$$

или, согласно условию задачи,

$$\lambda_\Phi = 20\pi v / \omega_D.$$

Далее подставляя одно выражение в другое получим

$$\lambda_\Phi = 20\pi(6\pi^2 N_A \rho / \mu)^{-1/3}.$$

Подставляя числовые значения в полученную формулу получим  $\lambda_\Phi = 5 \cdot 10^{-9}$  м.

Ответ:  $\lambda_\Phi = 5$  нм

**Задача 10.** В германии при температуре 300 К концентрация собственных носителей равна  $4 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ . Определите концентрацию электронов  $n_n$ , дырок  $p_n$  и доноров  $N_D$ , если  $n_n = 1.005 N_D$ .

**Решение**

По условию задачи дан примесный полупроводник n-типа (донорный полупроводник). Используем уравнение электронейтральности

$$n_n = p_n + N_D$$

Подставляем условие  $n_n$

$$1.005 N_D = p_n + N_D$$

Откуда  $p_n = 5 \cdot 10^{-3} N_D$ .

Для определения  $N_D$  используем закон действующих масс

$$np = n_i^2$$

куда получаем

$$5.025 \cdot 10^{-3} N_D^2 = n_i^2$$

и следовательно

$$N_D = n_i / 0.071 = 5.65 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}.$$

Теперь вычислим концентрацию электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне:

$$n_n = 1.005 N_D = 5.68 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3},$$

$$p_n = 5 \cdot 10^{-3} N_D = 2.86 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}.$$

$$\text{Ответ: } N_D = 5.65 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}, n_n = 5.68 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}, p_n = 2.86 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}.$$

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Методы синтеза твердофазных наноматериалов. Основные проблемы при синтезе твердофазных наноматериалов.

2. Методы синтеза поликристаллических наноматериалов.

3. Методы получения монокристаллов и эпитаксиальных покрытий.

4. Основные технологические операции на пути от вещества к

материалу: прекурсоры, наносистемы, термическая обработка, методы закалки, отжиги, рекристаллизация, основные стадии спекания, природа упрочнения при дисперсионном старении.

5. Получение нанокристаллов. Кристаллизация из расплавов. Направленная кристаллизация. Рост кристаллов из пара. Рост по механизму пар-жидкость-кристалл.

6. Очистка кристаллов и нанокристаллов.

7. Методология разработки технологии новых материалов: планарная технология в микроэлектронике.

8. Направления и проекты современного строительного материаловедения.

9. Керамика и композиты. Виды функциональной нанокерамики. Керамические материалы с диэлектрическими, магнитными, оптическими, химическими и ядерными функциями. Процессы формирования и спекания керамики. Перспективные керамические композиты и нанокерамика. Области применения керамических материалов.

10. Стеклообразные и аморфные материалы. Термодинамика и кинетика процессов стеклования. Структура силикатных, боратных и фосфатных стекол. Прозрачная стеклокерамика. Фотонные кристаллы. Применение стекол.

11. Тонкие пленки и покрытия. Пленка как композит. Взаимное влияние пленки и подложки. Условия осаждения и морфология пленки. Эпитаксия. Методы осаждения пленок. Применение тонкопленочных наноматериалов.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

*(Например: Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.*

*1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.*

*2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов*

*3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.*

*4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)*

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
-------	--	--------------------------------	----------------------------------

1	Методы синтеза твердофазных наноматериалов	ПК-8, ПК-12	Тест, защита реферата
2	Основные технологические операции на пути от вещества к материалу	ПК-8, ПК-12	Тест, защита реферата, защита практической работы
3	Получение и очистка кристаллов, нанокристаллов	ПК-8, ПК-12	Тест, защита реферата, защита практической работы
4	Методология разработки технологии новых материалов	ПК-8, ПК-12	Тест, защита реферата, защита практической работы
5	Микромир современных материалов	ПК-8, ПК-12	Тест, защита реферата, защита практической работы
6	Наномир современных материалов	ПК-8, ПК-12	Тест, защита реферата, защита практической работы

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Кнотько А.В. *Химия твердого тела: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений* / А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Д. Третьяков. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 306 с.

2. Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев. *Введение в химию твердофазных*

материалов / М.: Издательство МГУ. Издательство Наука. 2006. – 324 с.

3. Кабаяси Н.И. Введение в нанотехнологию / пер. с яп. А. В. Хачояна; под ред. Л. Н. Патрикеева. -М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005 (Вологда : "Полиграфист", 2005). -134 с.

4. Пул Чарльз П. (мл.), Ф. Оуэнс. Нанотехнологии: учеб. пособие для вузов – М.: Техносфера, 2007. – 375 с.

5. Артамонова О.В. Химия твердого тела : учебное пособие / О.В. Артамонова. - Химия твердого тела. 2031-06-07. - Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. - 168 с.

6. Нанотехнологии и специальные материалы : учебное пособие для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова; под редакцией Ю. П. Солнцева. - Нанотехнологии и специальные материалы ; 2023-07-26. - Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2020. - 336 с.

7. Артамонова О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. 100 с.

8. Артамонова О.В. Наномодифицированные структуры неорганических систем твердения строительных композитов: монография [Текст] / О.В. Артамонова, Е.М. Чернышов – Воронеж : Издательство «Научная книга», 2022. – 248 с.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

1. Химический каталог. Общая химия. Сайты и книги

<http://www.ximicat.com>

2. Химический каталог. Неорганическая химия. Сайты и книги

<http://www.ximicat.com>

3. Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета МГУ <http://www.chem.msu.ru/rus>

4. Справочно-информационный сайт по химии <http://www.alhimikov.net>

Артамонова О.В. Химия твердого тела : учебное пособие / Артамонова О.В.. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 168 с. — ISBN 978-5-4497-1125-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/108355.html> (дата обращения: 03.01.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/108355>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Весы технические, весы аналитические, химреактивы, химическая посуда, аквадистиллятор, хроматограф 111, автоматические титраторы,

магнитная мешалка, колориметр фотоэлектрический кфк-3, сканирующие зондовые микроскопы "nanoeeducator" (бизнес-инкубатор), сушильный шкаф, электропечь SNOL, иономер И-160, стенды, кино- и видеофильмы, диапроекторы, видеопроектор, компьютер с 2-х или 4-х ядерным процессором, пакет программ HyperChem 6.0, дифрактометр рентгеновский ДРОН-4-07, дериватограф Paulik-Paulik-Erdey Q-1500С, прибор для определения удельной поверхности ПСХ-8.

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

По дисциплине «Современные методы синтеза наноматериалов» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета физико-химических свойств нанодисперсных систем и наноматериалов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не

аттестации	позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.
------------	---

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП