

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
общей и неорганической химии



проф. Семенов В.Н.

17.05.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В. ДВ.01.01 Методы исследования дефектообразования в кристаллах**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.04.01 Химия
- 2. Профиль подготовки/специализация:** Физическая химия
- 3. Квалификация выпускника:** магистр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**  
кафедра общей и неорганической химии
- 6. Составитель программы:** Сушкова Татьяна Павловна, кандидат химических наук, доцент
- 7. Рекомендована:** НМС химического факультета 25.04.2023, протокол № 4
- 8. Учебный год:** 2023/24 **Семестр:** 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- знакомство с современными экспериментальными методами наблюдения дефектообразования в реальных кристаллах;
- освоение расчетных методов оценки концентрации точечных дефектов в кристаллах.

*Задачи учебной дисциплины:*

- расширение познаний о закономерностях возникновения дефектов в кристаллах, о взаимосвязи природы и концентрации дефектов и физико-химических свойств кристаллов;
- изучение основных экспериментальных методов наблюдения и определения концентрации точечных и линейных дефектов;
- овладение навыками извлечения информации о природе, концентрации и термодинамических параметрах образования дефектов из результатов экспериментальных измерений;
- освоение методов теоретической оценки концентрации термодинамически равновесных дефектов в кристаллах как функции внешних параметров (температуры, давления).

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (блок Б1.В), является курсом по выбору.

Изучение дисциплины базируется на знаниях в объеме федерального компонента государственного стандарта высшего образования (бакалавриат) по направлению «Химия». Для успешного освоения дисциплины обучающиеся должны в достаточной мере владеть знаниями по базовым курсам, изучаемым в бакалавриате: неорганической химии, физической химии, кристаллохимии, физике.

При изучении предшествующих курсов у обучающихся должны быть частично сформированы компетенции: ОПК-2 Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук; ОПК-3 Способен использовать вычислительные методы и адаптировать существующие программные продукты для решения задач профессиональной деятельности.

Дисциплина изучается во 2 семестре.

## 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-1	Способен проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для	ПК-1.1	Обеспечивает сбор научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач	Уметь: - проводить сбор и анализ научной литературы о процессах дефектообразования в кристаллах

	решения исследовательских задач химической направленности	ПК-1.2	Составляет аналитический обзор собранной научной, технической и патентной информации по тематике исследовательского проекта	
ПК-2	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области физической и неорганической химии	ПК-2.1	Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные экспериментальные и расчетные методы определения концентрации точечных и линейных дефектов;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать оптимальные методы исследования и оборудование в зависимости от поставленной задачи;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с программой Excel для расчета концентрации точечных дефектов в кристаллах.</li> </ul>
		ПК-2.2	Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	
ПК-3	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области физической и неорганической химии	ПК-3.1	Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- закономерности возникновения дефектов в кристалле, взаимосвязь их природы, концентрации и тех свойств, которые они определяют;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретически оценивать концентрацию термодинамически равновесных дефектов в кристаллах как функцию внешних параметров (температуры, давления);</li> <li>- определять основные термодинамические параметры (энтальпию, энтропию) процессов дефектообразования;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками извлечения информации о природе, концентрации и термодинамических параметрах образования дефектов из результатов экспериментальных измерений;</li> <li>- навыками построения диаграмм Броуэра для простых веществ и бинарных соединений.</li> </ul>
		ПК-3.2	Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час** (в соответствии с учебным планом) —   4  /  144  .

**Форма промежуточной аттестации**   зачет с оценкой  

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		2	...	...
Контактная работа	54	54		

в том числе:	лекции	18	18		
	практические	36	36		
	лабораторные	-	-		
	<i>др. виды (при наличии)</i>	-	-		
Самостоятельная работа		90	90		
в том числе: курсовая работа (проект)		-	-		
Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой					
Итого:		144	144		

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью он-лайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Процессы дефектообразования в кристаллах. Влияние внешних факторов на процессы разупорядочения в кристаллах.	Идеальный кристалл. Дефектообразование в реальных кристаллах. Типы разупорядочения. Номенклатура точечных дефектов. Термодинамика процессов дефектообразования. Зависимость концентрации точечных дефектов в кристалле простого вещества и бинарного соединения от температуры или давления пара летучего компонента. Собственное и примесное дефектообразование в легированных кристаллах простых веществ и химических соединений.	*- в случае перевода студентов на дистанционное обучение <u>все разделы дисциплины</u> могут быть реализованы с помощью электронного курса на образовательном портале ВГУ: <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11716">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11716</a>
1.2	Экспериментальные методы наблюдения точечных дефектов и дислокаций.	Методы травления и ионной бомбардировки поверхности. Ионный проектор. Сканирующая туннельная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Силовая электронная микроскопия.	
1.3	Методы определения концентрации точечных дефектов и энергии их образования.	Оценка концентрации и энтальпии образования термических вакансий по термодинамическим характеристикам вещества. Экспериментальное определение концентрации термических вакансий (метод параллельного измерения длины образца и периода решетки при нагревании; спектроскопия аннигиляции позитронов; резистометрия закаленных образцов). Определение энергии образования дефектов нестехиометрии расчетными методами. Метод расчета, основанный на зависимости энтальпии образования дефектов от энтальпии обра-	

		зования вещества. Метод, основанный на связи интегральных термодинамических свойств вещества с энергией образования дефектов. Определение энергии образования дефектов нестехиометрии экспериментальными методами. Метод, основанный на измерении величины отклонения от стехиометрии как функции температуры. Калориметрический метод. Метод, основанный на измерении электрической проводимости как функции давления и температуры.	
1.4	Влияние дефектов структуры на свойства кристаллов.	Влияние дефектов на оптические, механические, электрические и магнитные свойства кристаллов.	
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Процессы дефектообразования в кристаллах. Влияние внешних факторов на процессы разупорядочения в кристаллах.	Номенклатура точечных дефектов. Уравнения квазихимических реакций. Построение диаграмм Броуэра для чистых и легированных кристаллов простых веществ и бинарных соединений (на примере Ge, InP, InAs, InSb, GaAs). Расчет области гомогенности бинарных полупроводников (InP, InAs, InSb, GaAs), в том числе легированных.	
2.2	Экспериментальные методы наблюдения точечных дефектов и дислокаций.	Экскурсия в Центр коллективного пользования научным оборудованием ВГУ. Знакомство с устройством, возможностями и принципами работы ПЭМ, АСМ, СТМ.	
2.3	Методы определения концентрации точечных дефектов и энергии их образования.	Определение типа и концентрации доминирующих дефектов по экспериментальным данным (решение задач).	
2.4	Влияние дефектов структуры на свойства кристаллов.	Влияние дефектов на оптические, механические, электрические и магнитные свойства кристаллов (семинары).	

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Процессы дефектообразования в кристаллах. Влияние внешних факторов на процессы разупорядочения в кристалле.	5	18		30	53
2	Экспериментальные методы наблюдения точечных дефектов и дислокаций.	4	6		20	30
3	Методы определения концентрации точечных дефектов и энергии их образования.	5	8		20	33

4	Влияние дефектов структуры на свойства кристаллов.	4	4		20	28
	Итого:	18	36		90	144

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

Работа с конспектами лекций, самостоятельное решение задач по учебно-методическому пособию: Семенова Г.В. Химия дефектов. Задачи и упражнения. Учебно-метод. пособие / Г.В. Семенова, Т.П. Сушкова, Б.В. Сладкопечев. — Воронеж : Издат. дом ВГУ, 2019. — 35 с.

Разделы курса 1.1, 1.2 и 1.3 подробно рассмотрены в учебном пособии: Семенова Г.В. Химия дефектов : учебное пособие / Г.В. Семенова, Т.П. Сушкова ; Воронежский гос. университет. – Воронеж : Издат. дом ВГУ, 2017. – 130 с.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Семенова Г.В. Химия дефектов : учебное пособие / Г.В. Семенова, Т.П. Сушкова ; Воронежский гос. университет. – Воронеж : Издат. дом ВГУ, 2017. – 130 с.
2	Фахльман Б. Химия новых материалов и нанотехнологии / Б. Фахльман ; пер. с англ. Д.О. Чаркина и В.В. Уточниковой ; под ред. Ю.Д. Третьякова и Е.А. Гудилина. – Долгопрудный : Интеллект, 2011. – 463 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Ярославцев А.Б. Химия твердого тела / А.Б. Ярославцев.— М. : Науч. мир, 2009. — 322 с.
4	Кнотько А.В. Химия твердого тела / А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Д. Третьяков. — М. : Академия, 2006. — 301 с.
5	Третьяков Ю. Д. Введение в химию твердофазных материалов : учеб. пособие / Ю. Д. Третьяков, В. И. Путляев. – М. : Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2006. – 399 с.
6	Синельников Б.М. Физическая химия кристаллов с дефектами : учеб. пособие / Б.М. Синельников. — М. : Высш. шк., 2005. — 134 с.
7	Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштайн. — М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. — 400 с.
8	Петров А.Н. Твердые материалы. Химия дефектов. Структура и свойства твердых тел : учеб. пособие / А.Н. Петров. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2008. — 168 с.
9	Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела: в 2-х т. / В.И. Фистуль. – М. : Металлургия, 1995. — Т.1. — 480 с. ; Т.2. — 320 с.
10	Гончаров Е.Г. Химия полупроводников: учеб. пособие / Е.Г. Гончаров, Г.В. Семенова, Я.А. Угай. — Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1995. — 270 с.
11	Булярский С.В. Термодинамика и кинетика взаимодействующих дефектов в полупроводниках / С.В. Булярский, В.И. Фистуль. — М. : Наука, 1997. — 350 с.
12	Ковтуненко П.В. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами / П.В. Ковтуненко. — М. : Высш. шк., 1993. — 352 с.
13	Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов / Ф. Крегер. — М. : Мир, 1969. — 654 с.

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

№ п/п	Ресурс
1	Электронная библиотека ЗНБ ВГУ
	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" <a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>

2	Электронно-библиотечная система «Лань» <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>
4	Научная электронная библиотека <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
5	Электронный курс «Методы исследования дефектообразования в кристаллах» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11716">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11716</a>

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

№ п/п	Источник
1	Семенова Г.В. Химия дефектов. Задачи и упражнения. Учебно-метод. пособие / Г.В. Семенова, Т.П. Сушкова, Б.В. Сладкопевцев. — Воронеж : Издат. дом ВГУ, 2019. — 35 с. — URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m19-37.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m19-37.pdf</a>
2	Матвиенко А.А. Типовые задачи по химии твердого тела. Дефекты в кристаллах: учебно-метод. пособие / А.А. Матвиенко. — Новосибирск : Изд-во Новосибирского государственного университета, 2011. — 43 с. — URL: <a href="http://window.edu.ru/resource/856/74856">http://window.edu.ru/resource/856/74856</a>
3	Линейные дефекты : учеб.-метод. пособие для вузов / сост.: Г.В. Семенова, Т.П. Сушкова. — Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2011. — 38 с.

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

Лекции, семинарские занятия, решение задач, выполнение студентами индивидуальных практико-ориентированных заданий и подготовка докладов/презентаций.

В случае перевода студентов на дистанционное обучение дисциплина может быть реализована с помощью электронного курса на образовательном портале ВГУ

<https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11716>

#### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины: мультимедийное оборудование

#### 19. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

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	Процессы дефектообразования в кристаллах. Влияние внешних факторов на процессы разупорядочения в кристаллах.	ПК-3	ПК-3.1	Контрольная работа №1
2	Экспериментальные методы наблюдения то-	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	точечных дефектов и дислокаций.			
3	Методы определения концентрации точечных дефектов и энергии их образования.	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Контрольная работа №2 Практико-ориентированное домашнее задание
4	Влияние дефектов структуры на свойства кристаллов.	ПК-1 ПК-3	ПК-1.1,1.2 ПК-3.2	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов

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

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- Контрольные работы; практико-ориентированное задание.
- Устный опрос.
- Тестирование.

### Примеры контрольных работ

#### Контрольная работа №1

1. Кристалл простого вещества с шириной запрещенной зоны  $\Delta E_0 = 2,6$  эВ, содержащий собственные вакансии – доноры ( $\Delta H_V = 0,7$  эВ,  $\Delta E_D = 0,1$  эВ), легируют из газовой фазы акцепторной примесью ( $\Delta H_C = 0,8$  эВ,  $\Delta E_A = 0,2$  эВ). Найти области аппроксимации при использовании приближения Броуэра. Используя метод Броуэра, построить температурную зависимость концентрации дефектов.

2. Напишите процессы дефектообразования и развернутую формулу фазы NiO, если известно, что это фаза с недостатком металла за счет вакансий в катионной подрешетке.

#### Контрольная работа №2

1. Симмонс и Баллуфи наблюдали, что если стержень из серебра нагревается до температуры плавления, то относительное увеличение длины стержня превышает относительное увеличение параметра решетки 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 вакансий. Температура плавления серебра равна 1233,5 К.

2. Оксид ниобия  $NbO_x$  является соединением с широкой областью нестехиометрии ( $0,9 < x < 1,15$ ). Эксперименты показали, что повышение давления кислорода в 16 раз приводит к увеличению электронной проводимости в 2 раза при температуре 500°C. При этом плотность вещества уменьшается с 6,7 до 6,4 г/см<sup>3</sup>.



а) Какой вид дефектов является преобладающим? Напишите квазихимическое уравнение, объясняющее наблюдаемую зависимость электронной проводимости от давления кислорода.

б) Определите концентрацию дефектов до и после повышения давления кислорода, если известно, что NbO имеет структуру NaCl с параметром решетки  $a=0,47$  нм ( $500^{\circ}\text{C}$ ).

Выполнение контрольных работ оценивается по пятибалльной системе.

### Пример практико-ориентированного домашнего задания

Построить диаграмму Броуэра (зависимость концентрации дефектов от давления пара летучего компонента) для нелегированного кристалла InP (или InAs, InSb, GaAs), если известны данные об энтальпиях (эВ) и энтропиях образования собственных точечных дефектов. По полученным результатам установить: 1) какое давление пара летучего компонента необходимо задать, чтобы данный полупроводник обладал n- (или p-) типом проводимости; 2) при каком давлении пара реализуется стехиометрический состав. Необходимые для расчета энтальпии образования дефектов (в эВ) приведены в таблице.

Тип дефекта	InP	InAs	InSb	GaAs
$V_A^{\times}$	2,47	2,44	2,05	2,31
$V_B^{\times}$	1,87	1,90	2,05	2,31
$B_i^{\times}$	1,4	1,50	1,58	1,56
$A''_B$	0,89	0,57	0,27	0,35
$B''_A$	0,42	0,33	0,27	0,35

## 20.2 Промежуточная аттестация

Если студент выполняет практикоориентированное задание на положительную оценку и имеет положительные оценки по контрольным работам и устным опросам, то ему может быть выставлен дифференцированный зачет «автоматом» как средняя оценка по текущим аттестациям. В случае неудовлетворительных оценок или в случае несогласия студента с предложенной оценкой, проводится тестирование либо зачет по билетам.

### 20.2.1. Вопросы для тестирования:

**Закрытые** (1 балл за каждое правильно выполненное задание)

№	Проверяемая компетенция	Вопрос	Варианты ответов	Правильный ответ
1	ПК-1	Выберите научный журнал, в котором с наибольшей вероятностью можно найти информацию о процессах дефектообразования в полупроводниках.	1. Журнал аналитической химии. 2. Биоорганическая химия. 3. Неорганические материалы. 4. Кинетика и катализ	3
2		При составлении обзора литературы Вы работаете с печатными изданиями.	1. Рецензия. 2. Цитата.	3

		ями. Краткая характеристика печатного издания с точки зрения его содержания и назначения называется:	3. Аннотация. 4. Все варианты верны.	
3		Вы составляете обзор литературы по теме Вашего исследования. Точная выдержка из какого-нибудь текста в данном обзоре называется:	1. Рецензия. 2. Цитата. 3. Реферат. 4. Все варианты верны.	2
4	ПК-2	Вам необходимо построить диаграмму Броуэра (зависимость концентрации дефектов от температуры) для бинарного соединения. Расположите в правильном порядке этапы работы (запишите буквы без скобок в нужной последовательности).	А) Выбор последовательности расположения областей аппроксимации уравнения электронейтральности по мере увеличения температуры. Б) Составление модели дефектообразования, выбор наиболее вероятных дефектов, запись квазихимических реакций. В) Оценка или поиск в литературе энтальпии и энтропии образования дефектов. Расчет констант равновесия квазихимических реакций. Г) Расчет концентрации дефектов для каждой области аппроксимации. Д) Построение графика.	БВАГД
5		ТЕМ – аббревиатура названия на английском языке метода исследования, который в России обычно называют:	1. Сканирующая туннельная микроскопия. 2. Просвечивающая электронная микроскопия. 3. Атомная силовая микроскопия. а. Спектроскопия аннигиляции позитронов.	2
6		Сканирующий туннельный микроскоп можно использовать для исследования:	1. Только проводящих поверхностей. 2. Только диэлектриков. 3. Любых материалов, их электропроводность не имеет значения	1
7	ПК-2	При выращивании кристаллов соединения АВ из расплавов с содержанием компонента В ~ 48-50 мол.% преимущественным типом дефектов в кристаллах являются заряженные вакансии этого компонента. Каким типом проводимости будут обладать эти кристаллы?	1. n-тип 2. p-тип 3. Нельзя сделать вывод по приведенным данным	1
8		В 1986 г. Эрнсту Руске была присуждена Нобелевская премия по физике за создание:	1. Автоионного микроскопа. 2. Просвечивающего электронного микроскопа. 3. Атомного силового микроскопа.	2
9		Метод расчета концентрации точечных дефектов в кристалле, основанный на приближении уравнения электронейтральности двумя наибольшими слагаемыми, называется методом...	1. Шоттки 2. Броуэра 3. Крёгера 4. Винка	2
10		Первое прямое экспериментальное определение концентрации вакансий в металлических кристаллах было выполнено методом...	1. Автоионной микроскопии. 2. Спектроскопии аннигиляции позитронов. 3. Параллельного измерения температурной зависимости параметра решетки и линейных размеров образца.	3
11	ПК-3	Вы построили диаграмму Броуэра	1. Можно	1

		для арсенида галлия как зависимость концентрации точечных дефектов от давления пара мышьяка. Можно ли по полученным данным определить, при каком давлении пара реализуется стехиометрический состав?	2. Нельзя 3. Иногда можно, в редких случаях.	
12		Большое количество разнонаправленных дислокаций в кристалле называется:	1. «Заросли дислокаций» 2. «Джунгли дислокаций» 3. «Лес дислокаций»	3
13		Большое количество разнонаправленных дислокаций в кристалле...  (выберите правильные ответы, запишите цифры в порядке возрастания, без запятой и пробела)	1. Увеличивает твердость кристалла 2. Уменьшает твердость кристалла 3. Увеличивает пластичность кристалла 4. Уменьшает пластичность кристалла	14
14		Плотность дислокаций в кристалле можно уменьшить путем:	1. Дополнительной механической обработки 2. Равномерного отжига кристалла 3. Электрохимического травления кристалла	2
15		Из литературных данных известно, что полупроводниковое соединение InAs является двусторонней фазой. Вам необходимо получить InAs с проводимостью n-типа. Для этого необходимо:	1. Отжигать кристалл при повышенном давлении пара мышьяка 2. Отжигать кристалл при пониженном давлении пара мышьяка. 3. Выращивать кристалл из нестехиометрического расплава, обедненного индием.	2

### Открытые задания (2 балла за каждое правильно выполненное задание)

№	Проверяемая компетенция	Вопрос	Правильный ответ
1	ПК-2	Вариант сканирующего зондового микроскопа, предназначенный для измерения рельефа проводящих поверхностей с высоким пространственным разрешением, называется... (запишите ответ с маленькой буквы в именительном падеже)	сканирующий туннельный микроскоп
2		Измерение времени жизни позитрона в исследуемом образце, содержащем вакансии, лежит в основе метода определения концентрации вакансий, который называется... (запишите ответ с маленькой буквы в именительном падеже)	спектроскопия аннигиляции позитронов
3		Метод определения концентрации вакансий, основанный на измерении при температуре жидкого гелия электрического сопротивления закаленных от высокой температуры кристаллов называется низкотемпературной ..... (вставьте пропущенное слово, записав его с маленькой буквы в творительном падеже)	резистометрией
4		Метод избирательного химического травления основан на повышенной ..... травления в местах выхода дислокаций на поверхность. (вставьте пропущенное слово, записав его с маленькой буквы)	скорости
5		Кинетически устойчивыми линейными дефектами в кристаллах являются ..... (допишите слово с маленькой буквы, во множественном числе)	дислокации
6	ПК-3	Какой доминирующий тип точечных дефектов можно ожидать у фазы, состав которой описывается формулой $ZnO_{0,98}$ , если известно, что плотность ее повышена по сравнению со сте-	$Zn_i$

	хиометрическим оксидом цинка? При записи используйте символику Крегера без указания заряда дефекта.	
7	Какой доминирующий тип точечных дефектов можно ожидать у фазы, состав которой описывается формулой $\text{InSb}_{1,005}$ , если известно, что плотность ее понижена по сравнению со стехиометрическим антимонидом индия? При записи используйте символику Крегера без указания заряда дефекта.	$V_{\text{In}}$
8	Для избирательного химического травления ионных кристаллов в качестве травителя обычно используется ..... (вставьте пропущенное слово, записав его с маленькой буквой)	вода
9	Формулу оксида урана (IV) можно представить в виде: 1) $\text{UO}_{2,18}$ или 2) $\text{U}_{0,91}\text{O}_2$ . Какая из этих формул правильно отображает дефектность кристалла, если известно, что плотность образцов увеличена по сравнению со стехиометрическим составом? Какой тип проводимости можно ожидать у этого соединения? В ответе укажите цифру и латинскую букву через запятую	1,p

### Задачи (по 5 баллов за верный ответ)

1	Пренебрегая энтропийным сомножителем, приближенно оцените энтальпию образования одной вакансии в металле, если экспериментально определенная равновесная концентрация вакансий при $927^\circ\text{C}$ равна $10^{-5}$ мол.д. Ответ запишите в электронвольтах (эВ), округлив до десятых (только число, без указания единиц измерения).	1,2
2	В меди, закаленной от температуры 873 К, содержится $1,1 \cdot 10^{-7}$ (мол.д.) вакансий. Какую температуру закалки следует выбрать, чтобы концентрация вакансий возросла на 2 порядка? В ответе укажите только число, округлив до целого (без указания единиц измерения).	1230
3	При температуре 922 К равновесная концентрация вакансий в магнии равна $7,2 \cdot 10^{-4}$ . Пренебрегая энтропийным сомножителем, приближенно оцените равновесную концентрацию вакансий при температуре $25^\circ\text{C}$ . В ответе укажите только число, без указания единиц измерения.	$1,6 \cdot 10^{-10}$
4	Электропроводность нестехиометрического оксида $\text{Cu}_2\text{O}$ увеличивается с повышением давления кислорода по закону $\sigma \sim P^{1/8}$ . Напишите квазихимическое уравнение процесса дефектообразования, объясняющее наблюдаемую зависимость проводимости от давления кислорода.	$\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \leftrightarrow \text{O}_\text{O}^\times + 2V_{\text{Cu}} + 2h^\bullet$

Максимальная сумма баллов – 53.

Набрано баллов: 18-32 – оценка «удовлетворительно»

33-42 – оценка «хорошо»

43-53 – оценка «отлично»

### 20.2.2. Билеты с теоретическими вопросами (два вопроса в билете)

#### Перечень вопросов к зачету:

1. Модель идеального кристалла. Причины возникновения дефектов в реальных кристаллах.
2. Типы собственного разупорядочения.
3. Основные типы атомного структурного разупорядочения в бинарных кристаллах (по Френкелю, по Шоттки, антиструктурное разупорядочение).

4. Равновесие дефектов в беспримесных кристаллах бинарных соединений. Зависимость концентрации дефектов и величины отклонения от стехиометрии от давления пара летучего компонента. (На примере полупроводника).
5. Равновесие дефектов в беспримесных кристаллах бинарных соединений. Зависимость концентрации дефектов и величины отклонения от стехиометрии от давления пара летучего компонента. (На примере материала с широкой запрещенной зоной).
6. Термодинамика процесса разупорядочения по Шоттки.
7. Термодинамика процесса разупорядочения по Френкелю.
8. Оценка концентрации термических вакансий по термодинамическим характеристикам вещества.
9. Оценка энтальпии образования термических вакансий по термодинамическим характеристикам вещества.
10. Экспериментальное определение концентрации термических вакансий. Метод параллельного измерения длины образца и периода решетки при нагревании.
11. Экспериментальное определение концентрации термических вакансий. Спектроскопия аннигиляции позитронов.
12. Экспериментальное определение концентрации термических вакансий. Резистометрия закаленных образцов.
13. Определение энергии образования дефектов нестехиометрии расчетными методами. Метод расчета, основанный на зависимости энтальпии образования дефектов от энтальпии образования вещества.
14. Определение энергии образования дефектов нестехиометрии расчетными методами. Метод расчета, основанный на связи интегральных термодинамических свойств вещества с энергией образования дефектов.
15. Определение энергии образования дефектов нестехиометрии экспериментальными методами. Метод, основанный на измерении величины отклонения от стехиометрии как функции температуры.
16. Определение энергии образования дефектов нестехиометрии экспериментальными методами. Калориметрический метод.
17. Определение энергии образования дефектов нестехиометрии экспериментальными методами. Метод, основанный на измерении электрической проводимости как функции давления и температуры.
18. Методика расчета области гомогенности бинарных фаз.
19. Методы экспериментального наблюдения дефектов в кристаллах. Метод химического травления и ионной бомбардировки поверхности кристалла.
20. Методы экспериментального наблюдения дефектов в кристаллах. Ионная микроскопия (ионный проектор).
21. Методы экспериментального наблюдения дефектов в кристаллах. Сканирующая туннельная микроскопия.
22. Методы экспериментального наблюдения дефектов в кристаллах. Атомная силовая микроскопия.
23. Методы экспериментального наблюдения дефектов в кристаллах. Просвечивающая электронная микроскопия.
24. Влияние точечных дефектов на оптические свойства кристаллов.
25. Влияние точечных и линейных дефектов на механические свойства кристаллов.
26. Влияние дефектов на магнитные свойства кристаллов.
27. Влияние дефектов на электрические свойства кристаллов.
28. Влияние дефектов на тепловые свойства кристаллов.

**Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации, проводимой в традиционной форме по билетам:**

Для оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете используются следующие показатели:

- владение понятийным аппаратом химии дефектов (теоретическими основами дисциплины),
- способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований,
- применять теоретические знания для решения практических задач по оценке концентрации и энергии образования точечных дефектов в кристаллах,
- знание современных методов экспериментального наблюдения дефектов в кристаллах.

Для оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете используется шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом химии дефектов (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач по оценке концентрации и энергии образования точечных дефектов в кристаллах, знает основы современных методов экспериментального наблюдения дефектов в кристаллах.	Повышенный уровень	Отлично
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно демонстрирует умение применять теоретические знания для решения ситуационных практических задач.	Базовый уровень	Хорошо
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует двум из перечисленных показателей. Знание основного учебного материала, предусмотренного программой; ответ неполный, без обоснований, объяснений, с ошибками, которые устраняются по дополнительным вопросам преподавателя.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем из перечисленных показателей. Знания несистематические, отрывочные; в ответах допущены грубые, принципиальные ошибки, которые не устраняются после наводящих вопросов преподавателя.	–	Неудовлетворительно

Задания раздела 20.2.1 (вопросы для тестирования) рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины.