

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан
химического факультета



В.Н. Семенов

10.04.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.08 Химия и физика полупроводников

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование специальности:

04.05.01 "Фундаментальная и прикладная химия"

2. Специализации: Фундаментальная химия в профессиональном образовании

3. Квалификация (степень) выпускника: Химик. Преподаватель химии

4. Форма образования: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: общей и неорганической химии

6. Составители программы: Косяков Андрей Викторович, к.х.н., доцент

7. Рекомендована: НМС химического факультета протокол № 10-03 от 27.03.2025

8. Учебный год: 2027-2028

Семестр(-ы): 6

9. Цели и задачи учебной дисциплины: изучение основ физики твердого тела, физики и химии полупроводников с элементами технологии полупроводников; изучение начал полупроводникового материаловедения.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Блок 1.Дисциплины. 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 - 1	Способен проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности	ПК - 1.1	Обеспечивает сбор научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач	Знать: - источники научно-технической информации, журналы отечественной и международной научной периодики, основы поиска патентной информации. Уметь: - осуществлять поиск научно-технической информации с использованием ресурсов сети Интернет, баз данных; оформлять отчет о результатах поиска информации. Владеть: - приемами поиска научно-технической информации и методами составления отчетов о результатах поиска.
		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 аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии	ПК - 2.1	Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	Знать: - методы обработки и анализа первичного экспериментального материала по синтезу и исследованию дисперсных систем с заданным набором реологических свойств; - методы исследования физико-химических процессов, протекающих на границах раздела фаз. Уметь: - планировать
		ПК - 2.2	Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной	

			задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	эксперимент на основе анализа литературных данных; - анализировать и обобщать результаты эксперимента, формулировать выводы. Владеть: - навыками использования экспериментальных и расчетно-теоретических методов исследования структурно механических свойств дисперсных систем и материалов.
ПК-3	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии	ПК-3.1.	Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными	Знать: - основные и актуальные направления практических и теоретических задач в областях аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии Уметь: - оценивать перспективы практического применения и продолжения анализируемых работ
		ПК-3.2.	Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	Владеть: - основами теоретических знаний в основных областях химической науки

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108

Форма промежуточной аттестации *зачет*

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			6
Аудиторные занятия		36	36
в том числе:	лекции	18	18
	практические		
	лабораторные	36	36
Самостоятельная работа		54	54
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)			

Итого:	108	108
--------	-----	-----

13.1. Содержание дисциплины

Разделы дисциплин и виды занятий

№	Раздел дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайнкурса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Общая характеристика твердого тела. Элементы кристаллографии	Твердое тело как конденсированное состояние вещества. Задачи и разделы физики твердого тела. Элементы кристаллографии. Решетка Браве. Точечная и пространственная симметрия кристаллов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174
1.2	Химическая связь в полупроводниках. Основы зонной теории твердого тела.	Основные феноменологические отличия металлов и полупроводников. Общая характеристика полупроводниковых материалов. Типы полупроводников. Химическая связь в полупроводниках.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174
1.3	Статистика носителей заряда в полупроводниках	Статистика электронов в полупроводниках. Фазовое пространство. Понятие функции распределения и плотности состояний. Статистика Больцмана. Статистика Ферми-Дирака. Уровень Ферми.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174
1.4	Поверхностные и контактные свойства полупроводников	Поверхностные свойства полупроводников. Изменение уровня Ферми на поверхности полупроводника. Структура металл – полупроводник. Эффект выпрямления тока. P-n переход.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174

1.5	Зонная теория твердого тела.	Зонная структура кристаллов. Свободный электрон, уравнение Шредингера для кристалла. Оператор трансляции. Теорема Блоха. Адиабатическое приближение. Волновой вектор. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Квазиимпульс. Эффективная масса электрона	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174
2. Практические занятия занятия			
2.1	Электрофизические свойства полупроводников и металлов	Некоторые сведения из теории электричества. Электронная теория проводимости. Подвижность носителей. Уравнение для электропроводности. Общий характер температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников (собственная проводимость). Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности. Гальваномагнитные явления.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174
2.2	Оптика полупроводников	Оптические свойства полупроводников. Спектр поглощения п/п. Край фундаментальной полосы. Оптическая ширина запрещенной зоны. Центры окраски. Примесное поглощение в п/п. Экситоны.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174
2.3	Элементарные, бинарные и многокомпонентные	Элементарные полупроводники. Бинарные полупроводники.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174

	полупроводники	Общая характеристика. Неоднородные, аморфные, органические полупроводники.	
2.4	Фазовые равновесия в полупроводниковых системах	Типы фазовых диаграмм интерметаллических и п/п систем.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174
2.5	Методы получения и очистки полупроводниковых материалов	Синтез и очистка п/п материалов. Требования к п/п материалам. Направленная кристаллизация. Методы роста кристаллов Бриджмена и Чохральского. Теория зонной плавки.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практические работы	Самостоятельная работа	Всего
1	Твердое тело как конденсированное состояние вещества. Задачи и разделы физики твердого тела.			2	2
2	Элементы кристаллографии. Решетка Браве. Точечная и пространственная симметрия кристаллов		4	2	6
3	Основные феноменологические отличия металлов и полупроводников. Общая характеристика полупроводниковых материалов. Типы полупроводников.	2		2	4
4	Химическая связь в полупроводниках		4	2	6
5	Некоторые сведения из теории электричества. Электростатическое поле, теорема Гаусса. Потенциал, уравнение Пуассона			2	2
6	Некоторые сведения из теории электричества. Ток, плотность тока. Уравнение неразрывности			2	2

	Точечный закон Ома. Вольтамперная характеристика.				
7	Электронная теория проводимости. Подвижность носителей. Уравнение для электропроводности.		4	2	6
8	Общий характер температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников (собственная проводимость). Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности.		4	2	6
9	Гальваномагнитные явления. Эффект Холла.			2	2
10	Термоэлектрические явления в полупроводниках. Эффект Пельтье, термо-эдс.			2	2
11	Статистика электронов в полупроводниках. Фазовое пространство.	4		2	6
12	Понятие функции распределения и плотности состояний. Статистика Больцмана.		4	2	6
13	Статистика Ферми-Дирака. Уровень Ферми.	2		2	4
14	Уровень Ферми в собственных полупроводниках. Зависимость уровня ферми от температуры и эффективных масс носителей заряда.			2	2
15	Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Зависимость уровня ферми от температуры, концентрации примесей и эффективных масс носителей заряда.		4	2	6
16	Поверхностные свойства полупроводников. Изменение уровня Ферми на поверхности полупроводника.	2		2	4
17	Структура металл – полупроводник. Эффект выпрямления тока.			2	2

18	Р-п переход.		4		4
19	Зонная структура кристаллов. Свободный электрон, уравнение Шредингера для кристалла. Оператор трансляции. Теорема Блоха. Адиабатическое приближение.	2		2	4
20	Волновой вектор. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Квазиимпульс. Эффективная масса электрона		4	2	6
21	Оптические свойства полупроводников. Спектр поглощения п/п. Край фундаментальной полосы. Оптическая ширина запрещенной зоны	2		2	4
22	Центры окраски. Примесное поглощение в п/п. Экситоны.		4	2	6
23	Элементарные полупроводники.			2	2
24	Бинарные полупроводники. Общая характеристика.			2	2
	Неоднородные, аморфные, органические полупроводники.	2		2	4
25	Типы фазовых диаграмм интерметаллических и п/п систем	2		2	4
26	Синтез и очистка п/п материалов. Требования к п/п материалам			2	2
27	Направленная кристаллизация. Методы роста кристаллов Бриджмена и Чохральского. Теория зонной плавки.			2	2
Итого:		18	36	54	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Максимально возможный охват рекомендуемой литературы при подготовке к семинарским занятиям, докладам и при самостоятельной работе. Использование методических разработок кафедры. При возникновении вопросов по дисциплине контакт с преподавателем, через систему <https://edu.vsu.ru>.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом их индивидуальных психофизических особенностей. Для лиц с нарушением слуха информация по учебной дисциплине предоставляется на бумажном или электронном носителе, допускается присутствие ассистентов и сурдопереводчиков на занятиях. Промежуточная аттестация для таких студентов

проводится в письменной форме с общими критериями оценивания; при необходимости время подготовки на экзамене может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации с использованием программ-синтезаторов речи, а также использование звукозаписывающих устройств на лекциях. На занятиях также может присутствовать ассистент. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование; время подготовки на экзамене может быть увеличено.

Студенты с нарушениями опорно-двигательного аппарата могут проходить часть занятий дистанционно. Промежуточная аттестация для них проводится на общих основаниях, при необходимости процедура экзамена может быть реализована дистанционно.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Шалимова К. В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – СПб.: Лань, 2010 .— 390 с.
2.	Шалимова К. В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – Москва: Лань, 2010 .— 390 с.// Издательство “Лань”: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	Бонч-Бруевич В. Л. Физика полупроводников / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников. – М. : Наука, 1990. – 688 с.
4.	Киреев П. С. Физика полупроводников / П. С. Киреев. – М. : Высш. школа, 1969. – 592 с.
5.	Китель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Китель; пер. с англ. – М. : Физматгиз, 1962. – 696 с.
6.	Угай Я. А. Введение в химию полупроводников / Я. А. Угай. – М. : Высш. шк., 1975. – 302 с.
7.	Ормонт Б. Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников / Б. Ф. Ормонт. – М. : Высш. шк., 1973. – 656 с.
8.	Соединения переменного состава / Под ред. Б. Ф. Ормонта. – Л. : Химия, 1969. – 520 с.
9.	Левин А. А. Введение в квантовую химию твердого тела. Химическая связь и структура энергетических зон в тетраэдрических полупроводниках / А. А. Левин. – М. : Химия, 1974. – 240 с.

в). Информационные электронно-образовательные ресурсы

1. <https://lib.vsu.ru/>

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

Учебно-методический комплекс дисциплины на сайте <https://edu.vsu.ru>

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

При реализации дисциплины используются классические образовательные технологии без замены аудиторных занятий (лекций и практических занятий) на ДОТ.

При возможных ограничениях по посещению аудиторных занятий могут быть использованы элементы электронного обучения (ЭО) и дистанционные образовательные технологии (ДОТ) в части освоения лекционного материала,

проведения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций, взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров. Основные типы лекций – вводные лекции (в начале изучения дисциплины) и информационные лекции с визуализацией (мультимедийные презентации). Проведение промежуточной аттестации осуществляется в форме устного собеседования по КИМ. Самостоятельная работа по всем разделам предполагает выполнение обязательных письменных домашних заданий.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины: мультимедийная техника для чтения лекций с использованием электронных презентаций. Высокотемпературный измерительный комплекс RLG 4270/GP, Печь электрическая муфельная ЭП-1200-2, Термометр контактный ТК-5,11, двухканальный без зондов, Мультиметр Keithley 2700 (ауд. 359, 535).

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.	Общая характеристика твердого тела. Элементы кристаллографии	ПК–1 ПК-2 ПК-3	ПК - 1.1 ПК - 1.2 ПК - 2.1 ПК - 2.2 ПК - 3.1 ПК - 3.2	Домашние задания Практико-ориентированные задания
2.	Химическая связь в полупроводниках. Основы зонной теории твердого тела.			Домашние задания Практико-ориентированные задания
3	Статистика носителей заряда в полупроводниках			Домашние задания Практико-ориентированные задания
4	Поверхностные и контактные свойства полупроводников			Домашние задания Практико-ориентированные задания
5	Зонная теория твердого тела.			Домашние задания Практико-ориентированные задания
6	Электрофизические свойства полупроводников и металлов			Домашние задания Практико-ориентированные задания
7	Оптика			Домашние задания Практико-ориентированные задания

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	полупроводников			
8	Элементарные, бинарные и многокомпонентные полупроводники			Домашние задания Практико-ориентированные задания
9	Фазовые равновесия в полупроводниковых системах			Домашние задания Практико-ориентированные задания
10	Методы получения и очистки полупроводниковых материалов			Домашние задания Практико-ориентированные задания
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Перечень вопросов КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устный опрос (индивидуальный опрос); выполнение письменных домашних и практико-ориентированных заданий, выполнение тестовых заданий. Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены в п. 20.2.

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: практико-ориентированные задания, домашние задания, тестовые задания, устный опрос. Вопросы для домашнего задания формулируются на практическом занятии. На следующем практическом занятии студенты представляют решение домашнего задания, занятие начинается с обсуждения вариантов решения. Устные опросы и тестирования проводятся на практическом занятии, о чем преподаватель заранее сообщает обучающимся.

Комплект тестовых заданий, который может быть использован для проведения диагностической работы.

Закрытые вопросы.

1. Энергии, необходимые для образования электронов проводимости в германии $E_1 = 1,12 \cdot 10^{-19}$ Дж, в кремнии $E_2 = 1,76 \cdot 10^{-19}$ Дж. В каком из этих полупроводников при данной температуре будет большая концентрация собственных электронов проводимости.

(Ответ: В германии, так как для образования электронов проводимости у него требуется меньшая энергия.)

2. Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить примесь фосфора?

(Ответ: электронная.)

3. Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить примесь цинка (2-х вал.)?

(Ответ: дырочная.)

4. При уменьшении температуры удельная электрическая проводимость полупроводников (нелегированных):

- а) уменьшается
- б) увеличивается
- в) остается без изменений
- г) сначала увеличивается, потом уменьшается

5. Полупроводниковый диод служит для:

- а) увеличения напряжения или тока
- б) преобразования переменного тока в постоянный
- в) управления внешними устройствами
- г) преобразования постоянного тока в переменный

6. Фотопроводимость-это:

- а) проводимость, вызванная действием примеси
- б) проводимость, вызванная действием температуры
- в) проводимость, вызванная действием света
- г) проводимость, вызванная действием тока

7. Кроме биполярных транзисторов бывают:

- а) луговые транзисторы
- б) полевые транзисторы
- в) литиевые транзисторы
- г) литий-ионные транзисторы

8. Полупроводниковые приборы, электрическое сопротивление которых изменяется под действием светового потока:

- а) фототиристор
- б) фототранзистор
- в) фотодиод
- г) **фоторезистор**

9. Какой полупроводник называется примесным?

- а) смесь нескольких различных полупроводников
- б) сплав кремния и германия
- в) **полупроводник, содержащий в небольшой концентрации примесь с валентностью, отличной от валентности основного вещества**
- г) полупроводник, содержащий в небольшой концентрации примесь с валентностью, равной валентности основного вещества

10. Диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный называется:

- а) плоскостной диод
- б) выпрямительный диод**
- в) туннельный диод
- г) импульсный диод

11. Полупроводниковый прибор, назначением которого является усиление мощности электрических сигналов:

- а) биполярный транзистор
- б) диод
- в) транзистор**
- г) тиристор

12. К халькогенам относятся:

- а) Zn, Cd, Be
- б) V, Sb, Bi
- в) S, Se, Te**
- г) W, Se, Cr

13. Какие из перечисленных материалов (все три) относятся к полупроводниковым материалам?

- а) серебро, пары ртути, раствор H_2SO_4
- б) алюминий, раствор сахара, плазма
- в) германий, кремний, фосфид галлия**
- г) германий, полистирол, серебро

14. Какой из группы не существует у органических полупроводниковых материалов?

- а) полярные**
- б) полимерные полупроводники
- в) молекулярные кристаллы
- г) пигменты

15. Распределение электронов по энергии в металле подчиняется статистике

- а) Максвелла-Больцмана
- б) Ферми-Дирака**
- в) Бозе-Эйнштейна
- г) ни одной из перечисленных

16. К неосновным носителям заряда в полупроводниках относят?

- а) Электроны проводимости
- б) Дырки в валентной зоне
- в) Экситоны при низких температурах
- г) носители заряда, имеющие наименьшую концентрацию**

17. К какому типу полупроводниковых материалов относится арсенид галлия (GaAs):

- а) сложный полупроводник типа $A^{III}B^V$**
- б) сложный полупроводник типа $A^{II}B^{VI}$
- в) сложный полупроводник типа $A^{IV}B^{VI}$

г) сложный полупроводник типа $A_2^V B_3^VI$

18. Для выпрямления переменного тока применяют:

- а) диоды
- б) терморезисторы
- в) транзисторы
- г) тиристоры

19. Процесс контролируемого введения в полупроводник необходимых примесей называется?

- а) легированием
- б) поляризацией
- в) адгезией
- г) аллотропией

Открытые вопросы

1. Эффектом Холла называется появление поперечной разности потенциалов в проводнике, по которому течет ток, и который помещен во внешнее _____ поле

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: магнитное

2. Минимальное расстояние между дном зоны проводимости и потолком валентной зоны называют шириной _____ зоны.

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: запрещенной

3. Квазичастица, которую можно представить как квант энергии согласованного колебательного движения атомов твёрдого тела, называется _____.

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: фононом (фонон)

4. Преобладающим типом носителей заряда в кремнии, легированном фосфором являются _____.

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: электроны

5. Преобладающим типом химической связи в таких полупроводниках как кремний, германий, $A^{III}B^V$ является _____ связь

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: ковалентная

6. Для обозначения плоскостей и направлений кристалла используются так называемые кристаллографические индексы _____. Как правило, обозначение направления или плоскости выглядит, как три взаимно простых целых числа, записанные в круглых скобках: (111), (101), (110).

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: Миллера

Задачи.

1. Известно, что свойства полупроводников сильно зависят от состава. Рассчитайте, какую массу серы и сульфида галлия состава Ga_2S_3 нужно взять, чтобы синтезировать образец массой 2 г, содержащий 61 мольных (атомных) процентов серы.

2. Что надо сделать с полупроводником GaAs, чтобы создать в нем электронный тип проводимости. Предложите как можно больше вариантов.
3. В бинарной системе присутствует два соединения со стехиометрией АВ и A_2B_3 , оба плавятся инконгруэнтно. Изобразите общий вид Т-х диаграммы такой системы.

20.2 Промежуточная аттестация (зачет)

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

1. Основные феноменологические отличия металлов и полупроводников. Общая характеристика полупроводниковых материалов
2. Элементы кристаллографии. Решетка Браве. Точечная и пространственная симметрия кристаллов
3. Химическая связь в полупроводниках
4. Подвижность носителей электрического тока. Уравнение для электропроводности.
5. Общий характер температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников (собственная проводимость).
6. Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности.
7. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла
8. Синтез и очистка п/п материалов. Направленная кристаллизация. Методы роста кристаллов Бриджмена и Чохральского. Теория зонной плавки.
9. Зонная структура кристаллов.
10. Оптические свойства полупроводников. Спектр поглощения п/п. Край фундаментальной полосы.
11. Структура металл – полупроводник. Эффект выпрямления тока.
12. Полупроводниковые приборы (диод, триод, полупроводниковый лазер)
13. Понятие функции распределения и плотности состояний. Статистика Больцмана.
14. Поверхностные свойства полупроводников. Р-п переход. Бинарные полупроводники. Общая характеристика.
15. Статистика Ферми-Дирака. Уровень Ферми.
16. Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Зависимость уровня ферми от температуры
17. Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности.

Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация определяет:

- полноту и прочность теоретических знаний;
- сформированность умений применять теоретические знания при решении практических и профессиональных задач;
- сформированность общих и профессиональных компетенций.

Подготовка к промежуточной аттестации является формой самостоятельной работы студентов. При этом обучающийся может использовать рекомендованный рабочей программой перечень основной и дополнительной литературы, материалы лекций, информационные и электронно-образовательные ресурсы, а также любую научную и образовательную литературу по теме программы. Для

подготовки к промежуточной аттестации студент также может использовать перечень вопросов, перечисленных в рабочей программе.

Промежуточная аттестация проводится в устной форме. Преподаватель, проводящий промежуточную аттестацию, имеет право задавать студентам дополнительные вопросы по всему разделу программы учебной дисциплины. Время проведения аттестации устанавливается нормами времени. Результат сдачи промежуточной аттестации заносится преподавателем в зачетно-экзаменационную ведомость и зачетную книжку.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка результатов обучения на промежуточной аттестации происходит по следующим показателям:

- 1) знание учебного материала и владение общим понятийным аппаратом;
- 2) знание основ кристаллохимии, физики и химии твердого тела, неорганической химии;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, уравнениями реакций, формулами;

По результатам всех выполненных заданий текущего контроля, активного участия в семинарских занятиях, студентам может быть выставлен зачет автоматом.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено. Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности и компетенций	Шкала оценок
Владение основным материалом курса, полные и правильные ответы на зачете (достаточно знание до 75% материала).	Удовлетворительный уровень или выше	Зачтено
Отсутствие знаний по вопросу билета на зачете или неверные, значительно искаженные ответы.	–	Не зачтено

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене.

Пример контрольно-измерительного материала к промежуточной аттестации.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой общей и неорганической химии

Д.х.н. проф. В.Н. Семенов

Направление подготовки / специальность 04.05.01- Фундаментальная и прикладная химия

Дисциплина Химия и физика полупроводников

Форма обучения очное
Вид контроля зачет
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Химическая связь в полупроводниках
2. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла

Преподаватель: _____ А.В. Косяков

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Владение основным материалом курса, полные и правильные ответы на зачете (достаточно знание до 75% материала).	Удовлетворительный уровень или выше	Зачтено
Отсутствие знаний по вопросу билета на зачете или неверные, значительно искаженные ответы.	–	Не зачтено

20.3 Задания, рекомендованные к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины:

ПК-1.1.

Закрытые вопросы.

1. Фотопроводимость-это:
 - а) проводимость, вызванная действием примеси
 - б) проводимость, вызванная действием температуры
 - в) проводимость, вызванная действием света
 - г) проводимость, вызванная действием тока
2. Кроме биполярных транзисторов бывают:
 - а) луговые транзисторы
 - б) полевые транзисторы
 - в) литиевые транзисторы
 - г) литий-ионные транзисторы

Открытые вопросы

1. Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить примесь фосфора?

(Ответ: электронная.)

2. Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить примесь бора?

(Ответ: дырочная.)

Комбинированные вопросы и задачи

1. Энергии, необходимые для образования электронов проводимости в германии $E_1 = 1,12 \cdot 10^{-19}$ Дж, в кремнии $E_2 = 1,76 \cdot 10^{-19}$ Дж. В каком из этих полупроводников при данной температуре будет большая концентрация собственных электронов проводимости.

(Ответ: В германии, так как для образования электронов проводимости у него требуется меньшая энергия.)

ПК-1.2.

Закрытые вопросы

1. При уменьшении температуры удельная электрическая проводимость полупроводников (нелегированных):

- а) уменьшается
- б) увеличивается
- в) остается без изменений
- г) сначала увеличивается, потом уменьшается

2. Полупроводниковый диод служит для:

- а) увеличения напряжения или тока
- б) преобразования переменного тока в постоянный
- в) управления внешними устройствами
- г) преобразования постоянного тока в переменный

Открытые вопросы

1. Эффектом Холла называется появление поперечной разности потенциалов в проводнике, по которому течет ток, и который помещен во внешнее _____ поле

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: магнитное

Комбинированные вопросы и задачи

1. Известно, что свойства полупроводников сильно зависят от состава.

Рассчитайте, какую массу серы и сульфида галлия состава Ga_2S_3 нужно взять, чтобы синтезировать образец массой 2 г, содержащий 61 мольных (атомных) процентов серы.

ПК -2.1

Закрытые вопросы

1. Фотопроводимость-это:

- а) проводимость, вызванная действием примеси
- б) проводимость, вызванная действием температуры

- в) проводимость, вызванная действием света
- г) проводимость, вызванная действием тока

2. Кроме биполярных транзисторов бывают:

- а) луговые транзисторы
- б) полевые транзисторы
- в) литиевые транзисторы
- г) литий-ионные транзисторы

4. Для выпрямления переменного тока применяют:

- а) диоды
- б) терморезисторы
- в) транзисторы
- г) тиристоры

Открытые вопросы

1. Минимальное расстояние между дном зоны проводимости и потолком валентной зоны называют шириной _____ зоны.

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: запрещенной

Комбинированные вопросы и задачи

Рассчитайте силу Лоренца, действующую на заряд $-3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, движущийся в магнитном поле с индукцией 0,5 Тл со скоростью 150 м/с под углом 60 градусов к вектору магнитной индукции.

ПК -2.2.

Закрытые вопросы

1. Какой полупроводник называется примесным?

- а) смесь нескольких различных полупроводников
- б) сплав кремния и германия
- в) полупроводник, содержащий в небольшой концентрации примесь с валентностью, отличной от валентности основного вещества
- г) полупроводник, содержащий в небольшой концентрации примесь с валентностью, равной валентности основного вещества

2. Диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный называется:

- а) плоскостной диод
- б) выпрямительный диод
- в) туннельный диод
- г) импульсный диод

3. Какой из группы не существует у органических полупроводниковых материалов?

- а) полярные
- б) полимерные полупроводники
- в) молекулярные кристаллы
- г) пигменты

Открытые вопросы

1. Квазичастица, которую можно представить как квант энергии согласованного колебательного движения атомов твёрдого тела, называется _____.

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: фононом (фонон)

Комбинированные вопросы и задачи

1. Какое физическое явление лежит в основе эффекта Холла?

Приведите краткое обоснование.

2. В бинарной системе присутствует два соединения со стехиометрией АВ и A_2B_3 , оба плавятся инконгруэнтно. Изобразите общий вид Т-х диаграммы такой системы.

ПК-3.1

Закрытые вопросы

1. Окрашенные минеральные или органические вещества, обладающие полупроводниковыми свойствами, которые не растворяются в связующем:

- а) молекулярные кристаллы
- б) металлоорганические комплексы
- в) молекулярные комплексы
- г) пигменты

2. Какие из перечисленных материалов относятся к полупроводниковым материалам?

- а) серебро, пары ртути, раствор H_2SO_4
- б) алюминий, раствор сахара, плазма
- в) германий, кремний, фосфид галлия
- г) германий, полистирол, серебро

Открытые вопросы

1. Преобладающим типом носителей заряда в кремнии, легированном фосфором являются ____.

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: электроны

2. При описании симметрии кристаллических решеток используют термин – сингония. Приведите все существующие сингонии и их особенности (соотношения между трансляциями и углами).

Комбинированные вопросы и задачи

1. Что надо сделать с полупроводником GaAs, чтобы создать в нем электронный тип проводимости. Предложите как можно больше вариантов.

2. Распределите предложенные материалы (GaAs, антрацен, германий, кремний, висмут, оксид кальция) по представленным группам

А) Элементарный полупроводник Б) полупроводник типа $A^{III}B^V$ В) металл

Г) органический полупроводник Д) диэлектрик

ПК-3.2

1. Распределение электронов по энергии в металле подчиняется статистике

- а) Максвелла-Больцмана
- б) Ферми-Дирака
- в) Бозе-Эйнштейна
- г) ни одной из перечисленных

2. К неосновным носителям заряда в полупроводниках относят?

- а) Электроны проводимости
- б) Дырки в валентной зоне
- в) Экситоны при низких температурах
- г) носители заряда, имеющие наименьшую концентрацию

3. К какому типу полупроводниковых материалов относится арсенид галия (GaAs):

- а) сложный полупроводник типа $A^{III}B^V$
- б) сложный полупроводник типа $A^{II}B^{VI}$
- в) сложный полупроводник типа $A^{IV}B^{VI}$
- г) сложный полупроводник типа $A_2^VB_3^{VI}$

5. Процесс контролируемого введения в полупроводник необходимых примесей называется?

- а) легированием
- б) поляризацией
- в) адгезией
- г) аллотропией

Открытые вопросы

1. Преобладающим типом химической связи в таких полупроводниках как кремний, германий, $A^{III}B^V$ является _____ связь

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: ковалентная

2. Для обозначения плоскостей и направлений кристалла используются так называемые кристаллографические индексы _____. Как правило, обозначение направления или плоскости выглядит, как три взаимно простых целых числа, записанные в круглых скобках: (111), (101), (110).

Вставьте пропущенное слово.

Ответ: Миллера

Комбинированные вопросы и задачи

1. Что надо сделать с полупроводником InP, чтобы создать в нем дырочный тип проводимости. Предложите как можно больше вариантов.

2. Изобразите в общем виде зависимость оптического поглощения от длины волны (или частоты) поглощаемого света для прямозонного и непрямозонного полупроводников.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

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

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

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

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

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 выполнения нескольких подзаданий, 50% которых выполнено верно;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее его изучение).