

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан
химического факультета



В.Н. Семенов

19.04.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.08 Химия и физика полупроводников

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:

04.03.01- Фундаментальная и прикладная химия

2. Профиль подготовки/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: к.х.н., доцент Косяков Андрей Викторович

7. Рекомендована: НМС химического факультета протокол № 4 от 11.04.2024

8. Учебный год: 2026-2027

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 эксперимент на основе анализа литературных данных; - анализировать и обобщать результаты эксперимента, формулировать выводы.
		ПК - 2.2	Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	

			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 Владеть: - основами теоретических знаний в основных областях химической науки
		ПК-3.2.	Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	

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	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174

		<p>приближение. Волновой вектор. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Квазиимпульс. Эффективная масса электрона</p>	
2. Практические занятия занятия			
2.1	<p>Электрофизические свойства полупроводников и металлов</p>	<p>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.</p>	<p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</p>
2.2	<p>Оптика полупроводников</p>	<p>Оптические свойства полупроводников. Спектр поглощения п/п. Край фундаментальной полосы. Оптическая ширина запрещенной зоны. Центры окраски. Примесное поглощение в п/п. Экситоны.</p>	<p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</p>
2.3	<p>Элементарные, бинарные и многокомпонентные полупроводники</p>	<p>Элементарные полупроводники. Бинарные полупроводники. Общая характеристика. Неоднородные, аморфные, органические полупроводники.</p>	<p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</p>
2.4	<p>Фазовые равновесия в полупроводниковых системах</p>	<p>Типы фазовых диаграмм интерметаллических и п/п систем.</p>	<p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</p>

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 Точечный закон Ома. Вольтамперная характеристика.			2	2
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.		4	2	6

	Температурная зависимость подвижности.				
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	P-n 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>.

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 - 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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
6	Электрофизические свойства полупроводников и металлов	ПК-2 ПК-3		Домашние задания Практико-ориентированные задания
7	Оптика полупроводников			Домашние задания Практико-ориентированные задания
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) полевой транзистор
- г) тиристор

12. К халькогенам относятся:

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

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

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

14. 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

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

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

16. Распределение электронов по энергии в металле подчиняется статистике

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

17. 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

18. 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 $A_2^VB_3^{VI}$

19. Для выпрямления переменного тока применяют:

- а) диоды
- б) терморезисторы

в) транзисторы

г) тиристоры

20. 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 AB и A_2B_3 , оба плавятся инконгруэнтно. Изобразите общий вид T-x 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. P-n 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.

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 экзамен

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

Задания для диагностических работ.

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.