

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан  
химического факультета



В.Н. Семенов

30.06.2021 г.

**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 и прикладная химия”
3. Квалификация (степень) выпускника: специалист
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 № 5 от 17.06.2021
8. Учебный год: 2023-2024 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. Владеть: - навыками использования
		ПК - 2.2	Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	

		ПК 2.3	- Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИОКР	экспериментальных и расчетно-теоретических методов исследования структурно механических свойств дисперсных систем и материалов.
		ПК 2.4	- Готовит объекты исследования	

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

**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	18	18
	лабораторные		
Самостоятельная работа		108	108
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации (экзамен – час.)			
Итого:		144	144

#### 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.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>
1.2	Химическая связь в	Основные	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>

.	полупроводниках. Основы зонной теории твердого тела.	феноменологические отличия металлов и полупроводников. Общая характеристика полупроводниковых материалов. Типы полупроводников. Химическая связь в полупроводниках.	d=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.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>
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.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>
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	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>
<b>2. Практические занятия занятия</b>			
2.1	Электрофизические свойства полупроводников и металлов	Некоторые сведения из теории электричества. Электронная теория проводимости. Подвижность носителей. Уравнение для электропроводности. Общий характер температурной	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>

		зависимости электропроводности металлов и полупроводников (собственная проводимость). Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности. Гальваномагнитные явления.	
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.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>
2.3	Элементарные, бинарные и многокомпонентные полупроводники	Элементарные полупроводники. Бинарные полупроводники. Общая характеристика. Неоднородные, аморфные, органические полупроводники.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>
2.4	Фазовые равновесия в полупроводниковых системах	Типы фазовых диаграмм интерметаллических и п/п систем.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>
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.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2174</a>

### 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			4	4

	физики твердого тела.				
2	Элементы кристаллографии. Решетка Браве. Точечная и пространственная симметрия кристаллов		2	6	8
3	Основные феноменологические отличия металлов и полупроводников. Общая характеристика полупроводниковых материалов. Типы полупроводников.	2		4	6
4	Химическая связь в полупроводниках		2	4	6
5	Некоторые сведения из теории электричества. Электростатическое поле, теорема Гаусса. Потенциал, уравнение Пуассона			4	4
6	Некоторые сведения из теории электричества. Ток, плотность тока. Уравнение неразрывности Точечный закон Ома. Вольтамперная характеристика.			4	4
7	Электронная теория проводимости. Подвижность носителей. Уравнение для электропроводности.		2	4	6
8	Общий характер температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников (собственная проводимость). Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности.		2	6	8
9	Гальваномагнитные явления. Эффект Холла.			4	4
10	Термоэлектрические явления в полупроводниках. Эффект Пельтье, термо-эдс.			4	4
11	Статистика электронов в полупроводниках. Фазовое пространство.	4		4	6
12	Понятие функции распределения и плотности состояний. Статистика Больцмана.		2	4	6
13	Статистика Ферми-Дирака. Уровень Ферми.	2		4	6
14	Уровень Ферми в собственных полупроводниках. Зависимость			4	4

	уровня ферми от температуры и эффективных масс носителей заряда.				
15	Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Зависимость уровня ферми от температуры, концентрации примесей и эффективных масс носителей заряда.		2	4	6
16	Поверхностные свойства полупроводников. Изменение уровня Ферми на поверхности полупроводника.	2		4	6
17	Структура металл – полупроводник. Эффект выпрямления тока.		2	4	6
18	P-n переход.			4	4
19	Зонная структура кристаллов. Свободный электрон, уравнение Шредингера для кристалла. Оператор трансляции. Теорема Блоха. Адиабатическое приближение.	2		4	6
20	Волновой вектор. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Квазиимпульс. Эффективная масса электрона		2	4	6
21	Оптические свойства полупроводников. Спектр поглощения п/п. Край фундаментальной полосы. Оптическая ширина запрещенной зоны	2			6
22	Центры окраски. Примесное поглощение в п/п. Экситоны.		2	2	4
23	Элементарные полупроводники.			2	2
24	Бинарные полупроводники. Общая характеристика.			4	4
	Неоднородные, аморфные, органические полупроводники.	2		4	6
25	Типы фазовых диаграмм интерметаллических и п/п систем	2		4	6
26	Синтез и очистка п/п материалов. Требования к п/п материалам			4	4
27	Направленная кристаллизация. Методы роста кристаллов Бриджмена и Чохральского. Теория зонной плавки.			4	4
Итого:		18	18	108	144

#### 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: <a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a>

##### 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 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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	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.

### 20.2 Промежуточная аттестация

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 № 2

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	Пороговый уровень	<b>Зачтено</b>
Отсутствие знаний по вопросу билета на зачете или неверные, значительно искаженные ответы.	–	<b>Не зачтено</b>