

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан  
химического факультета



В.Н. Семенов

29.04.2020 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:**  
04.05.01- Фундаментальная и прикладная химия
- 2. Профиль подготовки/специализации:** "Фундаментальная химия в профессиональном образовании"
- 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 № 3 от 19.03.20
- 8. Учебный год:** 2022-2023      **Семестр(-ы):** 6-ой

**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:** Б1.В. –вариативная часть

**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
ПКВ - 1	Способен проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности	ПКВ - 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.
		ПКВ - 1.2	Составляет аналитический обзор собранной научной, технической и патентной информации по тематике исследовательского проекта	
ПКВ - 2	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии	ПКВ - 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 экспериментальных и
		ПКВ - 2.2	Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	

				расчетно-теоретических методов исследования структурно механических свойств дисперсных систем и материалов.
ПКВ - 3	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии	ПКВ - 3.1	Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными	Знать: - логику распространения метода механического описания свойств дисперсных систем и материалов; - взаимосвязь структурообразования в дисперсных системах с их физико-химическими свойствами для выявления прикладных свойств новых веществ и материалов. Уметь: - применять на практике современные реологические методы исследования. Владеть: - навыками использования основ реологии дисперсных систем для прогнозирования структурно-механических свойств различных дисперсных систем; - способами управления структурно-механическими свойствами материалов.
		ПКВ - 3.2	Определяет возможные направления 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		54	54
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.	
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.	
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.	
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.	
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	
2. Лабораторные занятия			
2.1.	Электрофизические свойства полупроводников и металлов	Некоторые сведения из теории электричества. Электронная теория проводимости.	

		<p>Подвижность носителей. Уравнение для электропроводности. Общий характер температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников (собственная проводимость). Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности. Гальваномагнитные явления.</p>	
2.2.	Оптика полупроводников	<p>Оптические свойства полупроводников. Спектр поглощения п/п. Край фундаментальной полосы. Оптическая ширина запрещенной зоны. Центры окраски. Примесное поглощение в п/п. Экситоны.</p>	
2.3.	Элементарные, бинарные и многокомпонентные полупроводники	<p>Элементарные полупроводники. Бинарные полупроводники. Общая характеристика. Неоднородные, аморфные, органические полупроводники.</p>	
2.4.	Фазовые равновесия в полупроводниковых системах	<p>Типы фазовых диаграмм интерметаллических и п/п систем.</p>	
2.5.	Методы получения и очистки полупроводниковых материалов	<p>Синтез и очистка п/п материалов. Требования к п/п материалам. Направленная кристаллизация. Методы роста кристаллов Бриджмена и Чохральского. Теория зонной плавки.</p>	

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Твердое тело как конденсированное состояние вещества. Задачи и разделы физики твердого тела.		2	2	4
2	Элементы кристаллографии. Решетка Браве. Точечная и пространственная симметрия кристаллов		2	2	2
3	Основные феноменологические отличия металлов и полупроводников. Общая	2	2	2	6

	характеристика полупроводниковых материалов. Типы полупроводников.				
4	Химическая связь в полупроводниках		2	2	4
5	Некоторые сведения из теории электричества. Электростатическое поле, теорема Гаусса. Потенциал, уравнение Пуассона		2	2	4
6	Некоторые сведения из теории электричества. Ток, плотность тока. Уравнение неразрывности Точечный закон Ома. Вольтамперная характеристика.		2	2	4
7	Электронная теория проводимости. Подвижность носителей. Уравнение для электропроводности.		2	2	4
8	Общий характер температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников (собственная проводимость). Механизмы рассеяния носителей. Температурная зависимость подвижности.		2	2	4
9	Гальваномагнитные явления. Эффект Холла.		2	2	4
10	Термоэлектрические явления в полупроводниках. Эффект Пельтье, термо-эдс.		2	2	4
11	Статистика электронов в полупроводниках. Фазовое пространство.	4		2	6
12	Понятие функции распределения и плотности состояний. Статистика Больцмана.			2	2
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	4
15	Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Зависимость уровня ферми от температуры, концентрации примесей и эффективных масс носителей			2	2

	заряда.				
16	Поверхностные свойства полупроводников. Изменение уровня Ферми на поверхности полупроводника.	2	2	2	6
17	Структура металл – полупроводник. Эффект выпрямления тока.		2	2	4
18	P-n переход.		2	2	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			2	2
21	Оптические свойства полупроводников. Спектр поглощения п/п. Край фундаментальной полосы. Оптическая ширина запрещенной зоны	2	2	2	6
22	Центры окраски. Примесное поглощение в п/п. Экситоны.			2	2
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	2	6
26	Синтез и очистка п/п материалов. Требования к п/п материалам		2	2	4
27	Направленная кристаллизация. Методы роста кристаллов Бриджмена и Чохральского. Теория зонной плавки.		2	2	4
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.	<b>Шалимова К. В.</b> Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – СПб.: Лань, 2010. — 390 с.
2.	<b>Шалимова К. В.</b> Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – Москва: Лань, 2010. — 390 с.// Издательство “Лань”: электронно-библиотечная система. — <b>URL: <a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a></b>

**б) дополнительная литература:**

№ п/п	Источник
3.	<b>Бонч-Бруевич В. Л.</b> Физика полупроводников / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников. – М. : Наука, 1990. – 688 с.
4.	<b>Киреев П. С.</b> Физика полупроводников / П. С. Киреев. – М. : Высш. школа, 1969. – 592 с.
5.	<b>Китель Ч.</b> Введение в физику твердого тела / Ч. Китель; пер. с англ. – М. : Физматгиз, 1962. – 696 с.
6.	<b>Угай Я. А.</b> Введение в химию полупроводников / Я. А. Угай. – М. : Высш. шк., 1975. – 302 с.
7.	<b>Ормонт Б. Ф.</b> Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников / Б. Ф. Ормонт. – М. : Высш. шк., 1973. – 656 с.
8.	<b>Соединения переменного состава</b> / Под ред. Б. Ф. Ормонта. – Л. : Химия, 1969. – 520 с.
9.	<b>Левин А. А.</b> 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	ПКВ-1 ПКВ-2 ПКВ-3	ПКВ - 1.1 ПКВ - 1.2 ПКВ - 2.1 ПКВ - 2.2 ПКВ - 3.1 ПКВ - 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
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. 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.

**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>