

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан  
химического факультета



В.Н. Семенов

29.04.2022 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 № 3 от 19.04.2022
8. Учебный год: 2024-2025 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.<br>Уметь: - осуществлять поиск научно-технической информации с использованием ресурсов сети Интернет, баз данных; оформлять отчет о результатах поиска информации. |
|        |  | ПК - 1.2 | Составляет аналитический обзор собранной научной, технической и патентной информации по тематике исследовательского проекта                   | Владеть: - приемами поиска научно-технической информации и методами составления отчетов о результатах поиска.   |
| 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.   |
|        |  | ПК - 2.2 | Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов | Уметь: - планировать эксперимент на основе анализа литературных данных; - анализировать и обобщать результаты эксперимента, формулировать выводы.<br>Владеть: - навыками использования  |

|  |  |          |   |   |
|--|--|----------|---|---|
|  |  | 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<br>(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.<br>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).<br>Механизмы рассеяния носителей.<br>Температурная зависимость подвижности.<br>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.<br>Бинарные полупроводники. Общая характеристика.<br>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.<br>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<br>ПК-2<br>ПК-3 | ПК - 1.1<br>ПК - 1.2<br>ПК - 2.1<br>ПК - 2.2<br>ПК - 3.1<br>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<br>форма контроля - зачет |                |                                     | Перечень вопросов<br>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> |