


|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением Ученого совета инженерно-физического  
факультета высоких технологий  
от « 18 » мая 2021 г., протокол № 10

Председатель \_\_\_\_\_ /В.В. Рыбин/  
(подпись)  
« 18 » мая 2021 г.



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

|            |   |
|------------|---|
| Дисциплина | <b>"ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ"</b>                   |
| Факультет  | Инженерно-физический факультет высоких технологий |
| Кафедра    | Радиофизики и электроники (РФЭ)                   |
| Курс       | 4   |

Направление (специальность) 28.03.02 "Наноинженерия"  
*код направления (специальности), полное наименование*

Направленность (профиль/специализация) Нанотехнологии и наноматериалы  
*полное наименование*

Форма обучения очная  
*очная, заочная, очно-заочная (указать только те, которые реализуются)*

Дата введения в учебный процесс УлГУ: « 01 » сентября 2021 г.

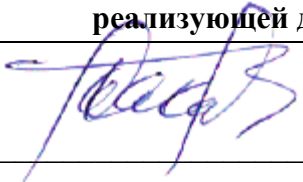
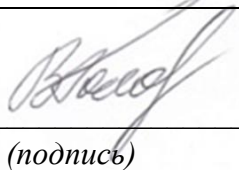
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.


Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Сведения о разработчиках:

| ФИО                          | Кафедра                   | Должность,<br>ученая степень, звание |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Вострецова Любовь николаевна | Радиофизики и электроники | к.ф.-м.н., доцент                    |

| СОГЛАСОВАНО   | СОГЛАСОВАНО   |
|---|---|
| Заведующий кафедрой ИФ,<br>реализующей дисциплину   | Заведующий выпускающей кафедрой<br>Физического материаловедения   |
| <br>_____/С.Б. Бакланов/<br>12 мая 2021 г. | <br>_____/В.Н. Голованов/<br>(подпись) (ФИО)<br>« 30 » апреля 2021 г. |



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

**Целью курса** «Физика полупроводников» является изучение природы полупроводников, физических процессов, которые в них протекают при различных внешних воздействиях, современных методов их описания. Кроме того, курс «Физика полупроводников» позволяет сформировать у студентов представления о принципах работы полупроводниковых приборов, способах их изготовления и применении.

### **Задачи дисциплины:**


- изучение основных представлений физики полупроводников;
- ознакомление студентов с физическими основами работы современных полупроводниковых устройств;
- развитие способностей и интереса к исследованию полупроводниковых материалов и приборов на их основе, к самостоятельному мышлению и творческой деятельности.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина «Физика полупроводников» входит в базовую часть дисциплин основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) бакалавров по направлению 28.03.02 «Наноэлектроника», преподается в 7-м семестре 4-ого курса бакалаврам очной формы обучения после завершения общего курса.

Дисциплина «Физика полупроводников» базируется на курсах

- Механика
- Химия
- Экология
- Математический анализ
- Аналитическая геометрия и линейная алгебра
- Введение в специальность
- Информатика
- Молекулярная физика и термодинамика
- Ознакомительная практика
- Численные методы и математическое моделирование
- Электричество и магнетизм
- Дифференциальные и интегральные уравнения
- Электротехника и электроника
- Колебания и волны, оптика
- Теория вероятностей и математическая статистика
- Технологическая (проектно-технологическая) практика
- Нанометрология
- Материаловедение наноматериалов и наносистем
- Атомная и ядерная физика
- Сопротивление материалов
- Радиоэлектроника/ Испытания изделий
- Проектная деятельность
- Физико-химические основы нанотехнологий
- Полупроводниковая электроника
- Методы диагностики в нанотехнологиях
- Основы электро- и радиоизмерений

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

- Распространение электромагнитных волн в однородных, периодических и наноструктурах
- Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)

. Данная дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими частями ОПОП, а именно с курсами

- Композиционные материалы. Металломатричные, с полимерной матрицей.
- Статистическая радиофизика и нанооптика
- Электродинамика СВЧ
- Технологические системы в нанотехнологиях/ Конструкции гибридных интегральных схем и микросборок
- Преддипломная практика
- Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
- Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

После изучения данной дисциплины студент должен понимать природу физических процессов, происходящих в полупроводниках, уметь выводить основные законы, описывающие свойства полупроводников, и применять свои знания на практике. Общая трудоемкость курса - 3 зачетных единицы.

Для освоения дисциплины студент должен иметь следующие входные знания, умения, навыки и компетенции, полученные в рамках изучения предшествующих дисциплин: базовые знания, умения, навыки в области общей и теоретической физики и радиофизики;

ОПК-1 - Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования


ОПК-3 - способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

ПК-2 – Освоение конструктивных особенностей и режимов работы оборудования по производству наноматериалов и наноструктур

ПК-4 - Проведение испытаний наноматериалов и наноструктур на измерительном оборудовании с целью выявления функциональных свойств и контроля качества;

### **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы**

| Код и наименование реализуемой компетенции  | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций  |
|---|---|
| ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных | <i><b>Знать:</b></i> основные понятия, связанные с физикой полупроводников, процессами переноса носителей заряда в полупроводниковых системах, с основными явлениями на контактах полупроводника с металлами, полупроводниками, диэлектриками, применением этих явлений в приборных устройствах с применением этих явлений в приборных устройствах. |


|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|  |  |
|--|--|
| знаний, методов математического анализа и моделирования;   | <p><b>Уметь:</b> применять полученные знания для анализа работы приборных объектов, использовать физические законы для предсказания поведения физических параметров полупроводниковых объемных и контактных приборов, оперировать физическими и технологическими терминами и величинами, анализировать задачи по переносу носителей заряда в полупроводниковых системах различной природы.</p> <p><b>Владеть:</b> информацией об областях применения полупроводников в приборных системах</p>                                      |
| ОПК-3 - способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные  | <p><b>Знать:</b> основные методы измерения характеристик полупроводниковых материалов и структур</p> <p><b>Уметь:</b> измерять основные характеристики полупроводниковых материалов и структур.</p> <p><b>Владеть:</b> информацией о методах измерения основных параметров полупроводников;</p>  |
| ПК – 2 Освоение конструктивных особенностей и режимов работы оборудования по производству наноматериалов и наноструктур                                | <p><b>Знать:</b> основные понятия, связанные с процессами переноса носителей заряда в полупроводниковых системах, с основными явлениями на контактах полупроводника с металлами, полупроводниками, диэлектриками, применением этих явлений в приборных устройствах .</p> <p><b>Уметь:</b> применять полученные знания для анализа работы приборных объектов, оперировать физическими и технологическими терминами и величинами.</p> <p><b>Владеть:</b> информацией об областях применения полупроводников в приборных системах</p> |
| ПК – 4 - Проведение испытаний наноматериалов и наноструктур на измерительном оборудовании с целью выявления функциональных свойств и контроля качества | <p><b>Знать:</b> основные методы испытания полупроводниковых материалов и структур</p> <p><b>Уметь:</b> проводить основные испытания полупроводниковых материалов и структур.</p> <p><b>Владеть:</b> информацией о методах испытания полупроводников полупроводниковых материалов и структур;</p>  |

#### 4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) \_\_3\_\_

4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы (в часах) 108


|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

| Вид учебной работы  | Количество часов (форма обучения очная)                          |                     |  |   |
|---|--|---------------------|--|---|
|   | Всего по плану   | В т.ч. по семестрам |  |   |
|   |  | 1                   | 2  | 3 |
| 1   | 2  | 6                   | 7  | 8 |
| Контактная работа обучающихся с преподавателем в соответствии с УП  | 36/36  |                     | 36/36  |   |
| Аудиторные занятия:   |  |                     |  |   |
| • Лекции (в т.ч. 0 ПрП)*  | 18/18  |                     | 18/18  |   |
| • семинары и практические занятия (в т.ч. 0 ПрП)*   |  |                     |  |   |
| • лабораторные работы, практикумы (в т.ч. 0 ПрП)*   | 18/18  |                     | 18/18  |   |
| Самостоятельная работа  | 72   |                     | 72   |   |
| Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др. (не менее 2 видов) | Тестирования<br>Контрольная работа<br>Выполнение расчетных работ |                     | Тестирования<br>Контрольная работа<br>Выполнение расчетных работ |   |
| Курсовая работа   | -  |                     | -  |   |
| Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)  | зачет  |                     | зачет  |   |
| Всего часов по дисциплине   | 108  |                     | 108  |   |

- В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения

#### 4.3. Содержание дисциплины (модуля.) Распределение часов по темам и видам учебной работы:


| Название разделов и тем | Всего | Виды учебных занятий |                      |                      |                      | Форма текущего контроля знаний |                 |
|-------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------|
|                         |       | Аудиторные занятия   |                      |                      | Занятия в интерактив |                                | Самостоятельная |
|                         |       | Лекции               | Практические занятия | Лабораторные работы, |                      |                                |                 |
|                         |       |                      |                      |                      |                      |                                |                 |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|   |     |    | семинары | практикумы | ной форме | работа |   |
|---|-----|----|----------|------------|-----------|--------|---|
| 1   | 2   | 3  | 4        | 5          | 6         | 7      |   |
| 1. Введение.  | 7   | 1  |          |            |           | 6      | Устный опрос, тестирование                              |
| 2. Статистика носителей заряда в полупроводниках  | 14  | 2  |          | 2          |           | 10     | Устный опрос, тестирование<br>Защита лабораторных работ |
| 3. Кинетические явления в полупроводниках.  | 17  | 3  |          | 4          |           | 10     | Устный опрос, тестирование<br>Защита лабораторных работ |
| 4. Контактные явления в полупроводниках. Электрические переходы.  | 18  | 3  |          | 3          |           | 12     | Устный опрос, тестирование<br>Защита лабораторных работ |
| 5. Поверхностные явления в полупроводниках  | 18  | 3  |          | 3          |           | 12     | Устный опрос, тестирование<br>Защита лабораторных работ |
| 6. Термоэлектрические и термомагнитные явления, эффект Холла, гальваномагнитные явления.  | 13  | 3  |          | -          |           | 10     | Устный опрос, тестирование<br>Защита лабораторных работ |
| 7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фотопроводимость. Фотовольтаические эффекты. Спонтанное и вынужденное излучения. Лазеры. | 21  | 3  |          | 6          |           | 12     | Устный опрос, тестирование<br>Защита лабораторных работ |
| Итого:  | 108 | 18 |          | 18         |           | 72     |   |

### 5. Содержание дисциплины (модуля)

Физика полупроводников – область фундаментальной и прикладной науки и техники, включающая экспериментальные и теоретические исследования физических свойств полупроводниковых материалов и композитных структур на их основе (включая гетероструктуры, МОП структуры и барьеры Шоттки), а также, происходящих в них физических явлений, разработку и исследование технологических процессов получения полупроводниковых материалов и композитных структур на их основе, создание оригинальных полупроводниковых приборов и интегральных устройств.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

Дисциплина «Физика полупроводников» рассматривает физические процессы, происходящие в объеме полупроводника, на его поверхности и на границе полупроводника с другими материалами.

## **5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля).**

### **Тема 1. Введение.**

Роль полупроводников в современной физике и технике. Вещества, относящиеся к полупроводникам. Особенности их кристаллической структуры и характер химической связи. Зонная структура полупроводниковых материалов. Основные особенности электрических свойств полупроводников. Влияние примесей. Основы практического использования полупроводников.

### **Тема 2. Статистика носителей заряда в полупроводниках.**

Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Невырожденные, вырожденные и примесные полупроводники. Степень заполнения примесных уровней. Концентрация электронов и дырок. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках. Закон действующих масс. Уравнение электронейтральности. Температурная зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей заряда в полупроводнике, легированном одним типом примеси, в компенсированном полупроводнике.

### **Тема 3. Кинетические явления в полупроводниках.**

Электропроводность полупроводников в слабых электрических полях. Подвижность электронов и дырок. Электропроводность собственного и примесного полупроводников. Температурная зависимость подвижности и электропроводности при различных механизмах рассеяния носителей заряда. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводнике. Соотношения Эйнштейна. Закон полного тока. Неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях.

### **Тема 4. Контактные явления в полупроводниках. Электрические переходы.**

**4.1 Электронно-дырочный переход.** Распределение примесей, объемного заряда, свободных носителей, напряженности поля и потенциала на  $p-n$  – переходе. Энергетические диаграммы  $p-n$  – перехода в равновесном состоянии и под влиянием внешнего поля. Выпрямление на  $p-n$ -переходе. Вольт-амперная характеристика  $p-n$ -перехода. Пробой  $p-n$ -перехода. Дифференциальное сопротивление и емкость  $p-n$ -перехода.

**4.2 Контакт «металл-полупроводник». Переход Шоттки.** Полупроводник во внешнем электрическом поле. Работа выхода. Контактная разность потенциалов. Выпрямление на контакте металл-полупроводник.

**4.3 Контакт между полупроводниками одного типа проводимости.**


**4.4. Гетеропереходы.**

**4.5. Свойства омических переходов.**

### **Тема 5. Поверхностные явления в полупроводниках.**

Уравнение Пуассона. Поверхностный потенциал. Поверхностная проводимость. Эффект поля. МДП-структура. Емкость МДП-структуры.



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

**Тема 6. Термоэлектрические и термомагнитные явления, эффект Холла, гальваномагнитные явления.**

Эффект Холла, эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда. Магниторезистивный эффект. Эффект Пельтье, эффект Томсона и эффект Зеебека.

**Тема 7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фотопроводимость. Фотовольтаические эффекты. Спонтанное и вынужденное излучения. Лазеры.**

Спектр отражения и спектр поглощения оптического излучения. Собственное поглощение света, прямые и непрямые переходы. Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводников. Экситонное поглощение, поглощение свободными носителями заряда, примесное и решеточное поглощение. Фоторезистивный эффект, квантовый выход, коэффициент усиления. Зависимость фототока от интенсивности света, кинетика фототока.

**6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

*Данный вид работы не предусмотрен УП.*

**7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ, ПРАКТИКУМЫ**

Лабораторная работа №1 Определение ширины запрещенной зоны полупроводника.

Цель работы: изучить статистику электронов и дырок собственного полупроводника, знакомство с зонной теорией полупроводника.

Результатом выполнения работы являются навыки анализа температурной зависимости сопротивления собственного полупроводника, соотнесения экспериментальных результатов с зонной теорией и статистикой электронов и дырок в полупроводнике.


Лабораторная работа №2. “Определение диффузионной длины и времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках”

Цель работы: определение диффузионной длины и времени жизни неосновных носителей заряда. Метод основан на измерении пространственного распределения концентрации неравновесных носителей заряда, возбужденных светом.

Результатом выполнения работы являются знакомство с понятием неравновесные носители заряда, формирования понимания влияния параметров процессов генерации и рекомбинации в полупроводнике на быстроедействие полупроводниковых структур, формирование навыков измерения параметров кинетических процессов.

Лабораторная работа №3 Определение контактной разности р-п- перехода

Цель работы: из вольт-фарадной характеристики резкого р-п-перехода определить контактную разность р-п-перехода, концентрацию легирующей примеси.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

Результатом выполнения работы является знакомство с теорией барьерной емкости в р-п0 переходе, формирование навыка анализа экспериментальной зависимости емкости полупроводниковой структуры от напряжения.

Лабораторная работа №4 Исследование электрических характеристик контакта металл-полупроводник

Цель работы: Изучение принципа работы диодов Шоттки, измерение и анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) и вольт-фарадных характеристик (ВФХ), определение основных параметров диодов.

Результатом выполнения работы является знакомство с принципом работы структур на основе барьера Шоттки, формирования навыков экспериментального анализа электрических характеристик подобных структур.

Лабораторная работа №5 Исследование статических вольт-амперных характеристик МДП-транзистора с индуцированным каналом.

**Цель работы** – ознакомиться с ВАХ и основными дифференциальными статическими параметрами полевых транзисторов с изолированным затвором (МДП-транзисторов).

Результатами выполнения работы является формирование навыка измерения порогового напряжения МОПТ, его передаточных и выходных вольт-амперных характеристик, определения статических дифференциальных параметров.

Лабораторная работа №6. Исследование спектров поглощения света в полупроводниках

Цель работы – Определение спектральной зависимости коэффициента поглощения света в полупроводниках. Выявление области собственного поглощения. Определение ширины запрещенной зоны образца


Результатом выполнения работы является формирование навыков работы с спектрометром СФ-46, представлений о зонной структуре прямозонного и непрямоzonного полупроводника, экспериментального анализа спектров поглощения полупроводника.

Лабораторная работа №7. Исследование фотопроводимости в полупроводниках

Цель работы – изучение фотоэлектрических в полупроводниках. Измерение спектральной зависимости полупроводникового фотоприемника, определение красной границы фотоэффекта. Определение времени жизни неравновесных носителей заряда.

Результатом выполнения работы является формирование представление о фотопроводимости в полупроводнике, механизмов образования неравновесных носителей заряда, навыков экспериментального определения времени жизни неравновесных носителей заряда методом фотопроводимости.


## 8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

*Данный вид работы не предусмотрен УП.*

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ


1. Строение полупроводников. Кристаллическая решетка. Классификация кристаллических решеток по характеру химической связи.
2. Кристаллическая решетка полупроводников. Симметрия кристаллов. Решетки Бравэ. Классификация кристаллических решеток по отношению к операциям симметрии.
3. Кристаллическая решетка полупроводников. Решетки Бравэ. Положение узлов кристаллической решетки. Положение и ориентация плоскостей и направлений в кристалле. Индексы Миллера.
4. Кристаллическая решетка полупроводников. Дефекты кристаллической решетки. Классификация дефектов.
5. Обобществление электронов в кристалле. Образование энергетических зон. Деление твердых тел на проводники, полупроводники и диэлектрики.
6. Обобществление электронов в кристалле. Образование энергетических зон. Влияние дефектов на зонную структуру твердых тел.
7. Квантовомеханическое описание электронов в кристаллах. Приближение сильной и слабой связи. Волновые функции и энергетический спектр почти свободных электронов.
8. Волновые функции и энергия электронов, движущихся в периодическом поле кристалла. Эффективная масса электронов.
9. Функция распределения электронов в металле. Уровень Ферми и энергия Ферми. Связь энергии Ферми с концентрацией электронного газа в металле.
10. Положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей в собственных полупроводниках. Зависимость концентрации свободных носителей от температуры.
11. Положение уровня Ферми и концентрация носителей в примесных полупроводниках n-типа. Область низких температур, область истощения примеси, область собственной проводимости.
12. Положение уровня Ферми и концентрация носителей в примесных полупроводниках p-типа. Область низких температур, область истощения примеси, область собственной проводимости.
13. Положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей в собственных и примесных полупроводниках. Закон действующих масс.
14. Нормальные колебания решетки. Спектр нормальных колебаний. Температура Дебая.
15. Фононы. Зависимость концентрации фононного газа от температуры.
16. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Закон Дебая. Закон Дюлонга и Пти.
17. Теплоемкость твердых тел. Электронная теплоемкость.
18. Теплопроводность твердых тел. Решеточная и электронная теплопроводность.
19. Дрейф электронов под действием внешнего поля. Подвижность носителей заряда. Связь подвижности с временем релаксации и длиной свободного пробега.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

20. Удельная электропроводность проводников. Связь электропроводности с подвижностью носителей заряда. Электропроводность невырожденного и вырожденного газов.
21. Удельная электропроводность проводников. Электропроводность невырожденного и вырожденного газов. Закон Видемана-Франца-Лоренца.
22. Удельная электропроводность проводников. Связь электропроводности с подвижностью носителей заряда. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.
23. Электропроводность чистых металлов и сплавов. Закон Нордгейма. Правило Матиссена об аддитивности удельного сопротивления.
24. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Закон действующих масс. Зависимость примесной проводимости от температуры.
25. Эффекты сильного поля (разогрев электронного газа; эффект дрейфового насыщения; термоэлектронная ионизация; ударная ионизация; электростатическая ионизация).
26. Эффект Ганна. Отрицательная дифференциальная проводимость. Физические принципы работы диодов Ганна.
27. Взаимодействие света с веществом. Коэффициенты отражения и поглощения. Закон Бугера-Ламберта.
28. Взаимодействие света с веществом. Собственное поглощение света в полупроводниках, поглощение свободными носителями заряда и поглощение примесными центрами.
29. Взаимодействие света с веществом. Фотопроводимость полупроводников и ее использование в электронике.
30. Фотовольтаические эффекты. Эффект Дембера.
31. Вентильный эффект. Фото- ЭДС и её практическое использование.
32. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла. Связь постоянной Холла с концентрацией и знаком носителей заряда.
33. Гальваномагнитные явления. Эффекты Эттингсгаузена и Нернста. Изменение электропроводности проводников в магнитном поле.
34. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов. Толщина двойного электрического слоя, возникающего в месте контакта двух металлов.
35. Контакт металла с полупроводником. Влияние контактного поля на энергетические уровни полупроводника. Выпрямляющие свойства контакта металла с полупроводником. Диоды Шоттки.
36. P-n-переход. Вольт-амперная характеристика p-n-перехода.
37. Гетеропереходы. Вольт-амперная характеристика гетероперехода.
38. Поверхностные явления в полупроводниках. Уровни Тамма
39. Перенос зарядов через тонкие полупроводниковые пленки.

## 10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ


*Содержание, требования, условия и порядок организации самостоятельной*

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

работы обучающихся с учетом формы обучения определяются в соответствии с «Положением об организации самостоятельной работы обучающихся», утвержденным Ученым советом УлГУ (протокол №8/268 от 26.03.2019г.).

#### Форма обучения очная

| <b>Название разделов и тем</b>   | <b>Вид самостоятельной работы (проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др.)</b> | <b>Объем в часах</b> | <b>Форма контроля (проверка решения задач, реферата и др.)</b> |
|--|--|----------------------|--|
| 1. Введение.   | Проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена   | 6                    | Устный опрос   |
| 2. Статистика носителей заряда в полупроводниках   | Проработка учебного материала, решение задач, подготовка доклада, подготовка к сдаче лабораторных работ, подготовка к сдаче экзамена                             | 10                   | Устный опрос, Проверка решения задач, оценка доклада           |
| 3. Кинетические явления в полупроводниках.   | Проработка учебного материала, решение задач, подготовка доклада, подготовка к сдаче лабораторных работ, подготовка к сдаче экзамена                             | 10                   | Устный опрос, Проверка решения задач, оценка доклада           |
| 4. Контактные явления в полупроводниках. Электрические переходы.   | Проработка учебного материала, решение задач, подготовка доклада, подготовка к сдаче лабораторных работ, подготовка к сдаче экзамена                             | 12                   | Устный опрос, Проверка решения задач, оценка доклада           |
| 5. Поверхностные явления в полупроводниках   | Проработка учебного материала, решение задач, подготовка доклада, подготовка к сдаче лабораторных работ, подготовка к сдаче экзамена                             | 12                   | Устный опрос, Проверка решения задач, оценка доклада           |
| 6. Термоэлектрические и термомагнитные явления, эффект Холла, гальваномагнитные явления.   | Проработка учебного материала, решение задач, подготовка доклада, подготовка к сдаче лабораторных работ, подготовка к сдаче экзамена                             | 10                   | Устный опрос, Проверка решения задач, оценка доклада           |
| 7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фотопроводимость. Фотовольтаические эффекты. Спонтанное и вынужденное | Проработка учебного материала, решение задач, подготовка доклада, подготовка к сдаче лабораторных работ, подготовка к сдаче экзамена                             | 12                   | Устный опрос, Проверка решения задач, оценка доклада           |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|                    |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|
| излучения. Лазеры. |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:

### а) основная литература


1. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов / В. И. Старосельский. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 463 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-0808-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — <https://urait.ru/bcode/425163>
2. Червяков, Г. Г. Электронная техника : учебное пособие для вузов / Г. Г. Червяков, С. Г. Прохоров, О. В. Шиндор. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 250 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10000-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/456172>

### б) дополнительная:

1. Горлач, В. В. Физика: квантовая физика. Лабораторный практикум : учебное пособие для вузов / В. В. Горлач. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 114 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10137-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/452869>
1. Ланге, П. К. Физика полупроводников и нанотехнологий : учебно-методическое пособие / П. К. Ланге. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 88 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91129.html>
2. Филиппов, В. В. Физика полупроводниковых приборов : учебное пособие / В. В. Филиппов, С. В. Мицук. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2016. — 125 с. — ISBN 978-5-88526-787-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/126986>
3. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие / Д. Я. Вострецов [и др.] ; УлГУ, ИФФВТ, Каф. инженерной физики. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - 86 с. - Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/1453>

### в) Учебно-методическая :

1. **Вострецова** Л. Н. Физика полупроводников : учебно-методические указания для выполнения лабораторных работ для студентов направлений бакалавриата и магистратуры / Л. Н. Вострецова; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - Загл. с экрана; Неопубликованный ресурс. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 867 КБ). - Текст : электронный.- Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/6493>
2. Вострецова Л. Н. Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика полупроводников» для направлений бакалавриата / Л. Н. Вострецова; УлГУ, ИФФВТ, Каф. инж. физики. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - Загл. с

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

экрана; Неопубликованный ресурс. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 899 КБ). - Текст : электронный. - Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/6492>

Согласовано:

И. В. Библиотечник / Чашев А. А. / ИМ /  
 Должность сотрудника научной библиотеки / ФИО / подпись

## б) Программное обеспечение

1. ОС Альт Рабочая станция 8

2. МойОфис Стандартный

## в) Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

в) *Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы*

### 1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. IPRbooks: электронно-библиотечная система : сайт / группа компаний Ай Пи Ар Медиа. - Саратов, [2021]. –URL:<http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. ЮРАЙТ :электронно-библиотечная система : сайт / ООО Электронное издательствоЮРАЙТ. – Москва, [2021]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. Консультант студента:электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. – Москва, [2021]. –URL:<https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. – Москва, [2021]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.


1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. – Томск, [2021]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.6. Лань:электронно-библиотечная система : сайт/ ООО ЭБС Лань. –Санкт-Петербург, [2021]. –URL:<https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. **Znanium.com**:электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2021]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.8. ClinicalCollection : коллекция для медицинских университетов, клиник, медицинских библиотек // EBSCOhost : [портал]. – URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

1.9.Русский язык как иностранный :электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». – Саратов, [2021]. –

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

URL: <https://ros-edu.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

**2. КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон.дан. - Москва :КонсультантПлюс, [2021].

### 3.Базы данных периодических изданий:

3.1. База данных периодических изданий: электронные журналы/ ООО ИВИС. - Москва, [2021]. –URL:<https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Электронная Библиотека. – Москва, [2021]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.3. «Grebennikon» : электронная библиотека / ИД Гребенников. – Москва, [2021]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

**4. Национальная электронная библиотека:** электронная библиотека : федеральная государственная информационная система : сайт /Министерство культуры РФ ; РГБ. – Москва, [2021]. –URL:<https://нэб.рф>. – Режим доступа: для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

**5. SMARTImagebase** //EBSCOhost : [портал].– URL: <https://ebSCO.smartimagebase.com/?TOKEN=EBSCO-1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Изображение : электронные.

### 6. Федеральные информационно-образовательные порталы:

6.1. [Единое окно доступа к образовательным ресурсам](http://window.edu.ru/) : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ.– URL:<http://window.edu.ru/> . – Текст : электронный.

6.2. [Российское образование](http://www.edu.ru) : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.

### 7. Образовательные ресурсы УлГУ:

7.1. Электронная библиотека УлГУ : модуль АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL:<http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа :для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Согласовано:

*Зриков И.И.*

Должность сотрудника УИТиТ

*Ключков М.А.*

ФИО

*18.08.2021*


подпись

дата

### 11. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Аудитории для проведения лекций, для выполнения лабораторных работ и практикумов, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций. Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде, электронно-библиотечной системе. Перечень оборудования, используемого в учебном процессе, указывается в соответствии со сведениями о материально-техническом обеспечении и оснащённости образовательного процесса, размещёнными на официальном сайте УлГУ в разделе «Сведения об образовательной организации». Для проведения лабораторных работ используется следующее оборудование:

- **Блок питания БП-03**
- **Генератор импульсов Г5-63**
- **Осциллограф С1-64а**
- **Вольтметр В7-16**
- **Блок питания SH 01012**
- **Камера измерительная**
- **МДП структура**
- **Вольтметр В7-16а**
- **Измеритель емкости Е7-12**
- **Блок питания БП – 15**

### **13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно-образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Разработчик



подпись

доцент кафедры ИФ, к.ф.-м.н. Востречева Л.Н.

должность

ФИО