

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт информационных технологий и радиозлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Директор института



А. А. Галкин

_____ 2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Физические основы полупроводниковых приборов»

Направление подготовки 12.03.04 "Биотехнические системы и технологии"

Профиль подготовки: «Биомедицинская инженерия»

г. Владимир
2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – формирование у студентов знаний о физических процессах, лежащих в основе функционирования полупроводниковых приборов.

Задачи:

- формирование у студентов знаний физических эффектов и явлений, лежащих в основе принципов действия полупроводниковых приборов,
- приобретение студентами навыков оценки основных параметров, характеризующих физические процессы в полупроводниках и полупроводниковых устройствах;
- формирование представлений о перспективных направлениях развития полупроводниковой электроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физические основы полупроводниковых приборов» относится к обязательной части. Пререквизиты дисциплины: «Физика», «Высшая математика», «Основы расчёта электрических цепей».

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций).

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства |
|---|---|--|---|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | |
| ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общетеоретические знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с разработкой, проектированием, конструированием, технологиями производства и эксплуатации биотехнических систем | ПК-1.1. Знает физические основы полупроводниковой компонентной базы биотехнических систем. ПК-1.2. Применяет знания физики процессов в структурах полупроводниковой электроники в инженерной практике проектирования медицинских изделий и биотехнических систем на элементном уровне. ПК-1.3. Применяет полученные знания и умения для анализа основных физических процессов в полупроводниковой компонентной базе при эксплуатации биотехнических систем. | Знает сущность физических эффектов и явлений в полупроводниках. Умеет анализировать сущность физических эффектов в полупроводниковых структурах при конструировании медицинских изделий и биотехнических систем на элементном уровне. Владет навыками анализа основных закономерностей процессов в полупроводниковых структурах компонентной базы при эксплуатации биотехнических систем. | Задания рейтинг - контроля. Задания практических занятий. |

| | | | |
|--|--|---|--|
| <p>ПК-2 Способность к математическому моделированию элементов и процессов биотехнических систем, их исследованию на базе профессиональных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов</p> | <p>ПК-1.1. Знает математические закономерности процессов в структурах полупроводниковых приборов, необходимые для моделирования элементов биотехнических систем. ПК-1.2. Использует математические модели процессов в структурах полупроводниковой электроники для моделирования элементов биотехнических систем. ПК-1.3. Анализирует математические модели процессов в полупроводниковых структурах при моделировании элементов биотехнических систем.</p> | <p>Знает простейшие математические модели процессов в полупроводниках и структурах элементов биотехнических систем. Умеет использовать математические модели, характеризующие физические процессы в полупроводниковых структурах при моделировании элементов биотехнических систем. Владеет навыками применения полученных знаний и умений для анализа математических моделей процессов в полупроводниковых структурах при моделировании элементов биотехнических систем.</p> | <p>Задания рейтинг - контроля. Задания практических занятий. Отчёт по практической подготовке.</p> |
| <p>ПК-3 Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов медицинских изделий и биотехнических систем на схематическом и элементном уровнях, в том числе с использованием</p> | <p>ПК-1.1. Знает основные характеристики базовых структур компонентной базы биотехнических систем. ПК-1.2. Рассчитывает основные параметры полупроводниковых структур микроэлектронной компонентной базы биотехнических систем. ПК-1.3. Анализирует основные характеристики компонентов при конструировании медицинских изделий и биотехнических систем на элементном уровне.</p> | <p>Знает основные параметры полупроводников и полупроводниковых структур компонентной базы биотехнических систем. Умеет рассчитывать основные параметры полупроводников и полупроводниковых структур микроэлектронной компонентной базы. Владеет навыками применения полученных знаний и умений для анализа основных характеристик полупроводниковых структур микроэлектронной компонентной базы биотехнических систем.</p> | <p>Задания рейтинг - контроля. Задания практических занятий. Отчёт по практической подготовке</p> |

| | | | |
|---|--|--|--|
| систем автоматизирова нного проектирования | | | |
|---|--|--|--|

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Тематический план форма обучения – очная

| № п/п | Наименование разделов и тем дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Контактная работа обучающихся с педагогическим работником | | | | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|----------|---|---------|-----------------|--|----------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------|--|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | в форме практической подготовки | | |
| 1 | Общие сведения о полупроводниках. | 3 | 1 | 2 | | | | 1 | |
| 2 | Основы зонной теории полупроводников. | | 2 | 2 | | | | 1 | |
| 3 | Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике. | | 3 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 4 | Статистика носителей заряда в электронном полупроводнике. | | 4 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 5 | Статистика носителей заряда в дырочном полупроводнике. | | 5 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 6 | Генерация и рекомбинация носителей заряда. | | 6 | 2 | | | | 1 | Рейтинг - контроль №1 |
| 7 | Фотоэлектрические явления в полупроводниках. | | 7 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 8 | Механизмы рассеяния носителей заряда. | | 8 | 2 | | | | 1 | |
| 9 | Электропроводность полупроводников. | | 9 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 10 | Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. | | 10 | 2 | | | | 1 | |
| 11 | Гальваномагнитные явления в полупроводниках. | | 11 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|---|----|----|----|--|---|----|-----------------------|
| 12 | Термоэлектрические явления в полупроводниках. | | 12 | 2 | | | | 1 | Рейтинг - контроль №2 |
| 13 | Физические явления в контакте металла с полупроводником. | | 13 | 2 | | | | 1 | |
| 14 | Выпрямляющий контакт металла с полупроводником. | | 14 | 2 | | | | 2 | |
| 15 | Физические принципы работы МДП-транзистора. | | 15 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 16 | Физические процессы в электронно-дырочном переходе в равновесном состоянии. | | 16 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 17 | Физические процессы в электронно-дырочном переходе в неравновесном состоянии. | | 17 | 2 | 2 | | 1 | 2 | |
| 18 | Вольт-амперная характеристика на основе электронно-дырочного перехода. | | 18 | 2 | | | | 2 | Рейтинг - контроль №3 |
| | Всего за семестр: | 3 | 18 | 36 | 18 | | | 27 | Экзамен(27) |
| Наличие в дисциплине КП/КР | | | | | - | | | | - |
| Итого по дисциплине: | | 3 | 18 | 36 | 18 | | | 27 | Экзамен (27) |

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Тема 1. Общие сведения о полупроводниках.

Основные полупроводниковые материалы. Краткая характеристика полупроводников. Применение полупроводников в электронике. Виды полупроводниковых приборов.

Тема 2. Основы зонной теории полупроводников.

Полупроводники с собственной и примесной проводимостью. Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников. Зонные энергетические структуры собственного и примесного полупроводников.

Тема 3. Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике

Функция распределения плотности состояний в зонах собственного полупроводника. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Больцмана). Концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.

Тема 4. Статистика носителей заряда в электронном полупроводнике

Концентрация электронов в полупроводнике, содержащем донорную примесь. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном электронном полупроводнике (примесь одного вида).

Тема 5. Статистика носителей заряда в дырочном полупроводнике

Концентрация дырок в полупроводнике, содержащем акцепторную примесь. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном дырочном полупроводнике (примесь одного вида). Компенсированный полупроводник. Вырожденный полупроводник.

Тема 6. Генерация и рекомбинация носителей заряда.

Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная генерация носителей заряда. Монополярная генерация носителей заряда. Виды рекомбинации. Скорость генерации и рекомбинации носителей заряда. Время жизни носителей заряда.

Тема 7. Фотозлектрические явления в полупроводниках.

Собственное поглощение света, прямые и непрямые переходы. Экситонное поглощение, поглощение свободными носителями заряда, примесное и решеточное поглощение. Фоторезистивный эффект. Фотопроводимость.

Тема 8. Механизмы рассеяния носителей заряда.

Время и длина свободного пробега. Типы центров рассеяния. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на нейтральных центрах. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки. Зависимость длины свободного пробега электрона от температуры.

Тема 9. Электропроводность полупроводников.

Удельная электрическая проводимость полупроводника. Подвижность носителей заряда. Температурная зависимость подвижности. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.

Тема 10. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда

Изменение числа носителей заряда при наличии процессов диффузии и дрейфа. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Коэффициент диффузии электронов и дырок. Соотношение Эйнштейна. Диффузионная длина для неосновных носителей.

Тема 11. Гальваномагнитные явления в полупроводниках

Поперечные и параллельные эффекты. Эффект Холла. Эффект Холла в полупроводниках со смешанной проводимостью. Постоянная Холла. Эффект Эттингсаузена. Магниторезистивный эффект. Эффект Нернста.

Тема 12. Термоэлектрические явления в полупроводниках.

Теплопроводность полупроводников. Термомагнитные эффекты. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона. Сущность и основные направления практического использования эффектов.

Тема 13. Физические явления в контакте металла с полупроводником.

Контакт металла с полупроводником. Работа выхода и контактная разность потенциалов. Типы контактов металла с полупроводником. Обогащенный и обедненный приконтактные слои в полупроводниках. Омический контакт.

Тема 14. Выпрямляющий контакт металла с полупроводником.

Барьер Шоттки. Толщина области пространственного заряда (ОПЗ) контакта и ее зависимость от внешнего приложенного напряжения. Виды токов через контакт. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.

Тема 15. Физические принципы работы МДП-транзистора

Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП – транзисторы). Принципы управления током канала. Эффект поля. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.

Тема 16. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в равновесном состоянии.

Электронно-дырочный переход ($p-n$ переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов. Зонная модель $p-n$ перехода в равновесном состоянии. Влияние электрофизических характеристик электронно-дырочного перехода и температуры на контактную разность потенциалов.

Тема 17. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в

неравновесном состоянии

Зонная модель p - n перехода при прямом и обратном смещениях. Зависимость толщины области пространственного заряда p - n перехода от внешнего приложенного напряжения. Виды токов через p - n переход. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) p - n перехода. Барьерная емкость p - n -перехода. Диффузионная емкость.

Тема 18. Вольт-амперная характеристика диода на основе p - n перехода

Влияние объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов. Влияние генерации неравновесных носителей в области объемного заряда p - n перехода на обратный ток диода. Влияние рекомбинации неравновесных носителей в ОПЗ p - n перехода на прямой ток диода. Пробой p - n перехода и его механизмы.

Содержание практических занятий по дисциплине

Тема 1. Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике.

Расчёт концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике. Определение положения уровня Ферми в полупроводнике.

Тема 2. Статистика носителей заряда в электронном полупроводнике

Расчёт концентрации носителей заряда в электронном полупроводнике. Определение положения уровня Ферми в полупроводнике. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примеси и температуры.

Тема 3. Статистика носителей заряда в дырочном полупроводнике

Расчёт концентрации носителей заряда в дырочном полупроводнике. Определение положения уровня Ферми в полупроводнике. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примеси и температуры.

Тема 4. Электропроводность полупроводников.

Расчёт удельной электрической проводимости полупроводника. Расчёт подвижности носителей заряда. Анализ зависимости электропроводности полупроводников от температуры.

Тема 5. Физические явления в контакте металла с полупроводником.

Анализ типов контактов металла с полупроводником. Анализ зонной модели омического контакта.

Тема 6. Выпрямляющий контакт металла с полупроводником.

Расчёт контактной разности потенциалов барьера Шоттки. Анализ зависимости толщины области пространственного заряда контакта от внешнего напряжения.

Тема 7. Физические принципы работы МДП-транзистора

Анализ структуры металл-диэлектрик-полупроводник. Эффект поля. Анализ принципа действия МДП-транзисторов с встроенным и индуцированным каналами.

Тема 8. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в равновесном состоянии.

Анализ диаграммы энергетических уровней электронно-дырочного перехода в состоянии равновесия. Определение контактной разности потенциалов перехода. Анализ влияния электрофизических характеристик электронно-дырочного перехода и температуры на контактную разность потенциалов.

Тема 9. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в неравновесном состоянии

Анализ диаграммы энергетических уровней электронно-дырочного перехода при прямом и обратном смещениях. Анализ зависимости толщины области пространственного заряда p - n перехода от внешнего приложенного напряжения. Расчёт барьерной емкости p - n -перехода.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1 Текущий контроль успеваемости

(рейтинг-контроль 1, рейтинг-контроль 2, рейтинг-контроль 3)

Контрольные вопросы

Рейтинг - контроль №1

1. Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Собственные и примесные полупроводники.
3. Зонная энергетическая структура собственного полупроводника.
4. Зонная энергетическая структура примесного полупроводника.
5. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Больцмана).
6. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
7. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в электронном полупроводнике.
8. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в дырочном полупроводнике.
9. Генерационно – рекомбинационные процессы в полупроводниках.
10. Виды рекомбинации.
11. Время жизни носителей заряда.

Рейтинг - контроль №2

1. Механизмы поглощение света в полупроводниках.
2. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.
3. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках.
4. Эффективное время жизни носителей заряда в полупроводниках.
5. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
6. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
7. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводниках.
8. Уравнение непрерывности.
9. Инжекция и экстракция носителей заряда
10. Эффект Холла в полупроводниках.
11. Магниторезистивный эффект.

Рейтинг-контроль №3

1. Свойства контактов металл-полупроводник при различных соотношениях термодинамических работ выхода. Контактная разность потенциалов
2. Омический и выпрямляющий контакты. Зонные диаграммы.
3. Вольтамперная характеристика барьера Шоттки.
4. Диаграмма энергетических уровней электронно-дырочного перехода.
5. Барьерная емкость $p-n$ перехода.
6. Диффузионная емкость $p-n$ перехода.
7. Вольт-амперная характеристика идеального $p-n$ перехода.
8. Виды токов через $p-n$ переход.
9. Влияние температуры, концентрации примесей и ширины запрещенной зоны на вольт-амперную характеристику.
10. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов.
11. Вольт-амперная характеристика реального $p-n$ перехода.

12. Пробой *p-n* перехода и его механизмы.

5.2 Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен)

Вопросы для подготовки к экзамену

1. Понятие энергетических зон в твёрдом теле. Энергетические зонные диаграммы металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси в кремнии.
3. Зонная энергетическая структура полупроводника с собственной проводимостью. Структура энергетических зон в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
4. Эффективная плотность состояний в зоне проводимости и валентной зоне полупроводника. Функции распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Максвелла-Больцмана). Зависимость функции распределения от температуры.
5. Концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми полупроводника с собственной проводимостью.
6. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с электронным типом проводимости. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном электронном полупроводнике.
7. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с дырочным типом проводимости. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном дырочном полупроводнике.
8. Уравнение электронейтральности (примесь одного вида). Взаимная компенсация доноров и акцепторов. Компенсированный полупроводник. Вырожденный полупроводник.
9. Равновесные и неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда.
10. Биполярная генерация носителей заряда. Монополярная генерация носителей заряда.
11. Время жизни носителей заряда в полупроводниках. Механизмы рекомбинации носителей заряда. Излучательная рекомбинация.
12. Механизмы поглощение света в полупроводниках. Собственное, примесное, экситонное решеточное поглощение, поглощение свободными носителями заряда.
13. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фоторезистивный эффект. Фотопроводимость.
14. Механизмы рассеяния и подвижность свободных носителей заряда в полупроводниках.
15. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
16. Связь электропроводности с концентрацией носителей заряда и их подвижностью. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.
17. Диффузионная и дрейфовая компоненты плотности тока и полупроводнике. Коэффициент диффузии электронов и дырок. Соотношение Эйнштейна.
18. Уравнения непрерывности для свободных носителей заряда в полупроводниках с учетом дрейфового тока, генерации и рекомбинации носителей заряда.
19. Движение неосновных носителей заряда. Диффузионная длина для неосновных носителей.
20. Поперечные гальваномагнитные эффекты в полупроводниках. Эффект Холла. Эффект Эттингсаузена.
21. Параллельные гальваномагнитные эффекты в полупроводниках. Магниторезистивный эффект. Эффект Нернста.
22. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона.
23. Контакт металла с полупроводником Работа выхода и контактная разность по-

- тенциалов.
24. Типы контактов металла с полупроводником. Обогащенный и обедненный приконтактные слои в полупроводниках.
 25. Невыпрямляющие (омические) контакты. Энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состояниях.
 26. Барьер Шоттки. Толщина области пространственного заряда контакта и ее зависимость от внешнего приложенного напряжения.
 27. Энергетические диаграммы барьера Шоттки. в равновесном и неравновесном состояниях.
 28. Виды токов через контакт металла с полупроводником. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
 29. Электронно-дырочный переход ($p-n$ – переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов.
 30. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в равновесном состоянии.
 31. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в неравновесном состоянии при прямом смещении.
 32. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в неравновесном состоянии при обратном смещении.
 33. Ширина обедненного слоя электронно-дырочного перехода, ее зависимость от прямого и обратного смещения. Инжекция и экстракция неосновных носителей.
 34. Барьерная и диффузионная емкости $p-n$ перехода.
 35. Виды токов через электронно-дырочный переход.
 36. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального $p-n$ -перехода.
 37. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов. Особенности вольт-амперной характеристики реального диода при прямом и обратном смещениях.
 38. Пробой $p-n$ перехода и его механизмы. Виды пробоя $p-n$ перехода: лавинный, туннельный, тепловой.

5.3 Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа студентов включает изучение теоретического материала, выполнение заданий на практических занятиях, подготовку к рейтинг – контролю, выполнение отчёта по практической подготовке.

Вопросы для самостоятельной работы

Темы 1-6

[основная литература: 1,2; дополнительная литература:1]

1. Общие сведения о полупроводниках.
2. Основы зонной теории полупроводников.
3. Статистика носителей заряда в полупроводниках.
4. Генерация и рекомбинация носителей заряда.

Тема 7

[основная литература: 1,2; дополнительная литература:2]

1. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Темы 8-10

[основная литература: 1,4; дополнительная литература:1]

1. Механизмы рассеяния носителей заряда.
2. Электропроводность полупроводников.
3. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.

Темы 11,12

[основная литература: 1,2; дополнительная литература:2]

1. Гальваномагнитные явления в полупроводниках.
2. Термоэлектрические явления в полупроводниках.

Темы 13-18

[основная литература: 2-4; дополнительная литература: 1,3]

1. Физические явления в контакте металла с полупроводником.
2. Выпрямляющий контакт металла с полупроводником.
3. Физические принципы работы МДП-транзистора.
4. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в равновесном состоянии.
5. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в неравновесном состоянии.
6. Вольт-амперная характеристика на основе электронно-дырочного перехода.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

| Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство | Год издания | КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ |
|--|----------------|---|
| | | Наличие в электронной библиотеке ВлГУ |
| 1 | 2 | 3 |
| Основная литература | | |
| 1. Шалимова, К. В. Физика полупроводников: учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0922-8. — Текст: электронный // Лань: ЭБС. | 2021 | https://e.lanbook.com/reader/book/167840/#1 |
| 2. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы: учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-6762-4. — Текст: электронный // Лань: ЭБС. | 2021 | https://e.lanbook.com/reader/book/167773/#2 |

| | | |
|--|------|--|
| 3. Физика. Введение в твердотельную электронику [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Г. Захаров [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018.— 107 с. | 2018 | https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/04/24/ https://avidreaders.ru/read-book/fizika-vvedenie-v-tverdotelnuyu-elektroniku.html |
| 4. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] / Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 312 с. - ISBN 978-5-9221-1379-3 | 2012 | https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785922113793-SCN0000/000.html |
| Дополнительная литература | | |
| 1. Авдеев С.П. Краткий обзор теории полупроводниковых структур [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Авдеев С.П.— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018.— 118 с. | 2018 | https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927527212.html |
| 2. Дудкин, А. Н. Электротехническое материаловедение: учебное пособие / А. Н. Дудкин, В. С. Ким. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-5296-5. — Текст: электронный // Лань: ЭБС. | 2020 | https://e.lanbook.com/reader/book/139259/#67 |
| 3. Смирнов, В. А. Физические основы микроэлектроники: учебное пособие / В. А. Смирнов, О. В. Шуваева. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. - 232 с. - ISBN 978-5-9729-0711-3. | 2021 | https://znanium.com/catalog/document?id=385200 |

6.2. Периодические издания

1. Журнал «Известия вузов: электроника»
2. Журнал «Нано - и микросистемная техника»
3. Журнал «Микроэлектроника».
4. Журнал «Физика и техника полупроводников».
5. Журнал «Журнал технической физики»

6.3. Интернет-ресурсы

1. <https://vlsu.bibliotech.ru>
2. www.bibliorossica.com
3. www.studentlibrary.ru
4. www.e.lanbook.com
5. www.ZNANIUM.COM
6. www.iprbookshop.ru Современная профессиональная база данных.
7. www.academia-moscow.ru Современная профессиональная база данных.
8. www.normacs.ru Информационная справочная система.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Практические занятия проводятся в компьютерном классе 330-3.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MS Office.

Рабочую программу составила доцент Фролова Т.Н. Фролова

Рецензент,
начальник отдела медицинской физики,
информатики и дозиметрии ГБУЗ ВО "ОКОД"
к.т.н., Чирков К. В. _____



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Электроника, приборостроение и биотехнические системы"
Протокол № 1 от 31.08 2021 года

Заведующий кафедрой Татмышевский К.В. _____



Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.04 "Биотехнические системы и технологии"
Протокол № 1 от 31.08 2021 года

Председатель комиссии Татмышевский К.В. _____



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.22 года

Заведующий кафедрой ЭПБС *Григорьев* (Татьяна Степановна К.В.)

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____