

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Полупроводниковая электроника
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Фундаментальная радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

| № варианта | Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД |
|------------|--|--|
| 1 | Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть | Дисциплина <i>Б1.О.31, полупроводниковая электроника</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> . |

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

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства |
|---|---|--|----------------------------------|
| | Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине** | |
| ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности; | ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики. | Знать: основные устройства на базе диода, такие как выпрямители, стабилизаторы, варисторы, и такие понятия как теорема Блоха, модель Кронига-Пени, зонная структура кристаллов, разрешенные и запрещенные зоны. Уметь: различать схемы включения транзисторов. Владеть: навыком анализировать режимы работы биполярного транзистора. | Собеседование, задачи и задания |
| | ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач. | | |
| | ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности. | | |
| ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и | ОПК-2.1 Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов. | Знать: такие понятия, как уровень Ферми, концентрация носителей в собственных и примесных полупроводниках, область истощения примесей, комплементарные схемы, | Собеседование, задачи и задания |

| | | | |
|--|---|--|--|
| процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные; | ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы. | базовые элементы логики, туннельный диод, лавинно-пролетный диод, генератор Ганна, фотодетекторы, полупроводниковые лазеры, солнечные батареи. Уметь: различать основные способы включения транзисторов. Владеть: навыком анализа полупроводниковых приборов СВЧ диапазона и оптоэлектронных приборов. | |
| | ОПК-2.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов. | | |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|-----------------------------|
| | очная форма обучения |
| Общая трудоемкость | 3 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану | 108 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 22 |
| - занятия семинарского типа | |
| (практические занятия / лабораторные работы) | 12 |
| самостоятельная работа | 36 |
| КСР | 2 |
| Промежуточная аттестация – | 36 |

| | |
|---------|--|
| экзамен | |
|---------|--|

3.2. Содержание дисциплины

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе | | | | |
|---|--------------|--|---------------------------|----------------------------|-------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Всего | |
| 1. Кристаллическая структура твердого тела | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 2. Колебания и волны в кристаллической решетке | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 3. Электроны в периодическом потенциале | 3 | 1 | | | 1 | 2 |
| 4. Статистика носителей заряда | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 5. Квазиклассическое описание движения носителей заряда | 5 | 2 | 1 | | 3 | 2 |
| 6. Неравновесные явления в полупроводниках | 5 | 2 | 1 | | 3 | 2 |
| 7. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 8. Теория p-n перехода | 3 | 1 | | | 1 | 2 |
| 9. Устройства на базе диода | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 10. Биполярный транзистор | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 11. Работа биполярных транзисторов в схемах | 3 | 1 | | | 1 | 2 |
| 12. Явления на резкой границе раздела материалов | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 13. Полевой транзистор с p-n переходом и барьером Шоттки | 5 | 2 | 1 | | 3 | 2 |
| 14. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 15. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник | 3 | 1 | | | 1 | 2 |
| 16. Работа полевых транзисторов в схемах | 4 | 1 | 1 | | 2 | 2 |
| 17. Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона | 4 | 2 | | | 2 | 2 |
| 18. Оптоэлектронные приборы | 3 | 1 | | | 1 | 2 |

| | | | | | | |
|--|---|---|--|--|---|--|
| В т. ч. текущий контроль | 2 | 2 | | | 2 | |
| Промежуточная аттестация – экзамен 36 | | | | | | |

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых консультаций

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

| Индикаторы компетенции | Критерии оценивания (дескрипторы) | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| | «плохо» | «неудовлетворительно» | «удовлетворительно» | «хорошо» | «очень хорошо» | «отлично» | «превосходно» |
| <u>Знания</u> Знать основные устройства на базе диода, такие как выпрямители, стабилизаторы, варисторы, и такие понятия как теорема Блоха, модель Крони-Гамма, зонная структура кристаллов, | Отсутствие знаний материала | Наличие грубых ошибок в основном материале | Знание основного материала с рядом негрубых ошибок | Знание основного материала с рядом заметных погрешностей | Знание основного материала с незначительными погрешностями | Знание основного материала без ошибок и погрешностей | Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей |

| | | | | | | | |
|---|--|---|---|--|--|--|---|
| разрешенные и запрещенные зоны. | | | | | | | |
| <u>Умения</u> Уметь различать схемы включения транзисторов. | Отсутствует умение различать схемы включения транзисторов. | Наличие грубых ошибок при различении схем включения транзисторов. | Способность различать схемы включения транзисторов с существенными ошибками | Способность различать схемы включения транзисторов с незначительными погрешностями | Способность различать схемы включения транзисторов почти без ошибок и погрешностей | Способность различать схемы включения транзисторов | Способность различать схемы включения транзисторов и полупроводниковых приборов |
| <u>Навыки</u> Владеть навыком анализировать режимы работы биполярного транзистора. | Полное отсутствие навыка | Отсутствие навыка | Владение навыком в минимальном объеме | Посредственное владение навыком | Достаточное владение навыком | Хорошее владение навыком | Всестороннее владение навыком |
| Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий | 0 – 20 % | 20 – 50 % | 50 – 70 % | 70-80 % | 80 – 90 % | 90 – 99 % | 100% |

Шкала оценки при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|----------------|--------------------|---|
| | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой |
| зачтено | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже |

| | | |
|-------------------|----------------------------|--|
| | | «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

| Вопрос | Код компетенции (согласно РПД) |
|--|-----------------------------------|
| 1. Особенности кристаллической структуры твердых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца. | ОПК-1 |
| 2. Причины возникновения зонной структуры твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок | ОПК-1 |
| 3. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда. | ОПК-1 |
| 4. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки. | ОПК-1 |
| 5. Кинетическое уравнение Больцмана и механизмы рассеяния электронов. Подвижность носителей заряда. | ОПК-1 |
| 6. Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии | ОПК-1 |
| 7. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей. | ОПК-1 |

| | |
|--|-------|
| 8. Диффузионный и дрейфовый ток. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда. | ОПК-1 |
| 9. Р-n переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода. | ОПК-1 |
| 10. Распределение заряда, структура поля и потенциала в р-n переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей. | ОПК-1 |
| 11. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики диода на основе р-n перехода. | ОПК-1 |
| 12. Барьерная емкость р-n перехода и сопротивление базы. Пробой р-n перехода. | ОПК-1 |
| 13. Выпрямители. Стабилизаторы. | ОПК-1 |
| 14. Варисторы. Варакторы. Диоды с накоплением заряда. | ОПК-1 |
| 15. Биполярный транзистор. Типы транзисторов. Теория работы транзистора. Токи созданные основными и неосновными носителями. | ОПК-2 |
| 16. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания биполярных транзисторов. | ОПК-2 |
| 17. Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства. | ОПК-2 |
| 18. Явления на резкой границе раздела материалов. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт. | ОПК-2 |
| 19. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход. | ОПК-2 |
| 20. Полевой транзистор с р-n переходом и барьером Шоттки. Эффект поля. Распределение потенциала и поля в приборе. | ОПК-2 |
| 21. Расчет статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства. | ОПК-2 |
| 22. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля | ОПК-2 |

| | |
|---|-------|
| в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов. | |
| 23. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. | ОПК-2 |
| 24. Работа полевых транзисторов в схемах. Основные способы включения транзисторов. Комплементарные схемы. Базовые элементы логики. | ОПК-2 |
| 25. Туннельный диод. Лавинно-пролетный диод. | ОПК-2 |
| 26. Генератор Ганна. | ОПК-2 |
| 27. Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи. | ОПК-2 |

5.2.2. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задание 1.

Р-п переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода.

Задание 2.

Распределение заряда, структура поля и потенциала в р-п переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей.

5.2.3. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Задание 1.

Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.

Задание 2.

Явления на резкой границе раздела материалов. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.

5.2.2. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задача 1.

Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристики р-п перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода. С использованием зонной диаграммы и распределения концентрации электронов и дырок дать качественную интерпретацию наличию небольшого наклона на участке насыщения обратной ветви ВАХ для реальных р-п переходов.

Задача 2.

Вывести вольт-амперную характеристику р-п перехода. По аналогии с р-п переходом объяснить процессы протекания тока в гетеропереходе. Объяснить причины возникновения униполярной инжекции в биполярном гетеропереходе. Оценить соотношение электронной и дырочной компоненты токов в биполярном гетеропереходе. В какой конструкции гетероперехода возможна биполярная инжекция?

5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Задача 1.

Получить зависимость коэффициента усиления полевого транзистора с управляющим р-п переходом от концентрации примеси в канале и напряжения на затворе. Для конкретной выходной ВАХ транзистора построить нагрузочную прямую и графически (качественно) определить динамический диапазон амплитуды входного сигнала (в схеме с общим истоком) для которого реализуется режим линейного усиления.

Задача 2.

Объяснить преимущества гетеробиполярного транзистора перед биполярным для чего численно оценить: 1) степень влияния униполярной инжекции на коэффициент переноса носителей через базу; 2) амплитуду встроенного поля в варизонной базе и связанного с ним увеличения скорости носителей заряда.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 1 Гос. изд-во физ.-мат. лит. М. 1960 – 24 экз.
2. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 2 Гос. изд-во физ.-мат. лит. М. 1960 – 27 экз.
3. Орешкин П.Т. "Физика полупроводников и диэлектриков" Высш.школа М. 1977 – 14 экз.
4. Степаненко И.П. "Основы микроэлектроники" Сов. радио М. 1980 – 15 экз.

б) дополнительная литература:

1. Пикус Г.Е. "Основы теории полупроводниковых приборов" Наука, М., 1965 – 42 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор (ы) Козлов В.А.
Рецензент (ы) Оболенский С.В.
Заведующий кафедрой Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического
факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.