

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

подпись

« »



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.ДВ.01.01 ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ**

Направление подготовки 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) Физика и технология радиоэлектронных приборов и устройств

Форма обучения очная

Квалификация бакалавр

Краснодар 2022

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика»

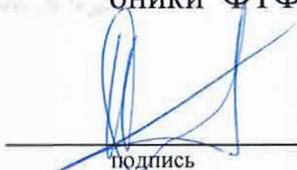
Программу составил:

Д.В. Иус, канд. пед. наук,  
доцент кафедры оптоэлектроники



подпись

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры оптоэлектроники ФТФ, протокол № 8 от 07 апреля 2022 г.  
Заведующий кафедрой оптоэлектроники  
д-р техн. наук, профессор Н.А. Яковенко



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета, протокол № 13 от 16 апреля 2022 г.  
Председатель УМК ФТФ  
д-р физ.-мат. наук, профессор Н.М. Богатов



подпись

Рецензенты:

Попов А.В., директор ООО "Партнер Телеком"

Скачедуб А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики и информационных систем

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цели** освоения дисциплины (модуля) Полупроводниковая и физическая электроника является изучение физических основ, конструктивных схем и принципов функционирования современных полупроводниковых приборов (выпрямительных диодов, туннельных и обращенных диодов, диодов Шоттки, стабилитронов, варикапов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров, фотодиодов), их основные характеристики и области применения.

### **Задачи:**

- формирование у студентов представлений о физических свойствах полупроводниковых материалов и принципах работы современных полупроводниковых приборов;
- выработка навыков решения конкретных задач в области полупроводниковой электроники

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

2.1. Учебная дисциплина Полупроводниковая и физическая электроника относится к базовой части учебного плана.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: "Математический анализ", «Электричество», «Электродинамика», «Основы радиоэлектроники» и др.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

Дополняет, расширяет знания и умения дисциплин: «Радиофизический практикум», «Физика и техника СВЧ. Измерения на СВЧ», «Линии передачи и устройства СВЧ», «Системы связи».

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для курсов: «Твердотельная электроника», «Радиоэлектронные устройства», «Цифровая схемотехника», «Научно-исследовательская работа».

## III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО (ОС ЮФУ) и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
-------------	------------------------	---------------------

<p><i>ОПК-1</i> Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p>	<p><i>ОПК-1.1</i> Знает фундаментальные законы физики и радиофизики <i>ОПК-1.2</i> Умеет применять базовые знания в области физики и радиофизики в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности <i>ОПК-1.3</i> Владеет теоретическим и экспериментальным аппаратом для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p>	<p><b>Знания:</b> как математически моделировать радиофизические процессы <b>Умения:</b> применять знания, полученные в курсах физики и математики для анализа физических явлений. <b>Навыки:</b> оценивания параметров математических моделей, их погрешности и достоверности моделей.</p>
<p><i>ПК-2.</i> Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения</p>	<p><i>ПК-2.1</i> Техническое обслуживание сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры <i>ПК-2.2</i> Техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры <i>ПК-2.3</i> Организационно-методическое обеспечение технической эксплуатации радиоэлектронных комплексов</p>	<p><b>Знания:</b> принципов функционирования современной сверхвысокочастотной техники радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиоуправления. <b>Умения:</b> эксплуатировать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения <b>Навыки:</b> использования в своей научно-исследовательской деятельности знания современных проблем и физических основ полупроводниковой электроники</p>

Указывается код и формулировка компетенций, код и формулировка индикаторов компетенций.

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет

**1** зачетная единица, 36 часов, в т.ч.: 18 ч. лекций, 9 ч. практических, 9 ч. самостоятельной работы

Форма отчетности: зачет

#### 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа		
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия			
1	<b>Модуль I. Основы физики полупроводниковых приборов. Контактные явления.</b>	6	9	4		4		
	Зонная теория твердых тел. Концентрация носителей заряда в полупроводниках.		1	1				
	Зависимость концентрации носителей от температуры в $n$ , $p$ -полупроводниках. Положение уровня Ферми. Законы движения свободных носителей заряда в полупроводниках.		1	2		1		
	Проводимость полупроводников. Равновесное и неравновесное состояния полупроводника.		1	1				
	Механизмы рекомбинации. Основные уравнения, описывающие процессы в полупроводниках.		1	1		1	Тест 1	
	Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Зонная диаграмма барьера Шоттки при внешнем напряжении.		1	1				
	Распределение электрического поля и потенциала в		1	1				

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися				
	барьере Шоттки. Диод Шоттки.						
	Электрические переходы. Электронно-дырочный переход в состоянии равновесия. Параметры p-n перехода в состоянии равновесия.		1	1		1	
	Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии и его вольт-амперная характеристика. Пробой p-n перехода.		1	1			
	Сопротивление p-n перехода. Барьерная емкость p-n перехода.		1			1	Тест 2
2	<b>Модуль II. Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые транзисторы</b>	6	9	5		5	
	Полупроводниковые выпрямительные диоды. Варикапы.		1	2			
	Стабилитроны. Опорные диоды. Туннельные и обращенные диоды.		1	1			
	Биполярные транзисторы. Режимы работы биполярных транзисторов и процессы переноса зарядов в них.		1	1			
	Способы включения биполярных транзисторов. Моделирование биполярного транзистора. Обобщенная эквивалентная схема биполярного транзистора.		1	1			Тест 3
	Биполярный транзистор как четырехполюсник. Полевые транзисторы. Принцип действия и основные свойства полевых транзисторов		1	1			
	Физические процессы в МДП-структурах. Физические процессы в МДП-транзисторах с индуцированным каналом.		1	1			
	Физические процессы в МДП-транзисторах с встроенным каналом.		1	1			

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися				
	Полевые МЭП транзисторы (полевые транзисторы с барьером Шоттки).						
	Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом. Полевые ГМЭП транзисторы.		1	1			
	Работа биполярного транзистора в области активного режима. Малосигнальный усилитель, включенный по схеме с общим эмиттером.		1				Тест 4
Итого часов			18	9		9	Промежуточная аттестация в форме зачета

#### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
6	<b>Модуль I. Основы физики полупроводниковых приборов. Контактные явления.</b>	Самостоятельная проработка учебно-методического комплекса		4	Интерактивный опрос	Конспект лекций. Учебники и пособия.
6	<b>Модуль II. Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые транзисторы</b>	Самостоятельная проработка учебно-методического комплекса		5	Интерактивный опрос	Конспект лекций. Учебники и пособия.
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>9</b>		
<b>Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)</b>				<b>9</b>		

### 4.3 Содержание учебного материала

#### **Модуль 1. Основы физики полупроводниковых приборов. Контактные явления**

Зонная теория твердых тел.

Концентрация носителей заряда в полупроводниках.

Зависимость концентрации носителей от температуры в  $n_i$ ,  $n$ ,  $p$  -полупроводниках.

Положение уровня Ферми.

Законы движения свободных носителей заряда в полупроводниках.

Проводимость полупроводников.

Равновесное и неравновесное состояния полупроводника.

Механизмы рекомбинации.

Основные уравнения, описывающие процессы в полупроводниках.

Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки.

Зонная диаграмма барьера Шоттки при внешнем напряжении.

Распределение электрического поля и потенциала в барьере Шоттки.

Диод Шоттки.

Электрические переходы. Электронно-дырочный переход в состоянии равновесия.

Параметры  $p$ - $n$  перехода в состоянии равновесия.

Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии и его вольт-амперная характеристика.

Пробой  $p$ - $n$  перехода.

Сопротивление  $p$ - $n$  перехода.

Барьерная емкость  $p$ - $n$  перехода.

#### **Модуль 2. Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые транзисторы**

Полупроводниковые выпрямительные диоды.

Варикапы.

Стабилитроны. Опорные диоды.

Туннельные и обращенные диоды.

Биполярные транзисторы.

Режимы работы биполярных транзисторов и процессы переноса зарядов в них.

Способы включения биполярных транзисторов.

Моделирование биполярного транзистора. Обобщенная эквивалентная схема биполярного транзистора.

Биполярный транзистор как четырехполюсник.

Полевые транзисторы. Принцип действия и основные свойства полевых транзисторов.

Физические процессы в МДП-структурах.

Физические процессы в МДП-транзисторах с индуцированным каналом.  
Физические процессы в МДП-транзисторах с встроенным каналом.  
Полевые МЭП транзисторы (полевые транзисторы с барьером Шоттки).  
Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом.  
Полевые ГМЭП транзисторы.  
Работа биполярного транзистора в области активного режима.  
Малосигнальный усилитель, включенный по схеме с общим эмиттером.

#### **4.4 Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение**

##### **Модуль1.**

Изобразить и сравнить энергетический спектр электронов в металле, диэлектрике, полупроводнике.  
Изобразить и пояснить распределение Ферми-Дирака при разных температурах.  
Построить график температурной зависимости концентрации свободных электронов в собственном полупроводнике.  
Построить график температурной зависимости концентрации свободных электронов в примесном полупроводнике.  
Описать механизм образования *p-n*-перехода.  
Изобразить энергетическую диаграмму *p-n*-перехода в равновесии, при прямом и обратном смещении.  
Изобразить ВАХ идеального диода. Записать уравнение ВАХ идеального диода, пояснить входящие в него величины.  
Построить и пояснить вольтфарадную характеристику диода.  
Изобразить обратную ветвь ВАХ диода с участком пробоя. Показать графически характер влияния температуры на эту ветвь при лавинном и туннельном пробоях.  
Продемонстрировать графически на энергетической диаграмме механизм возникновения туннельного тока в туннельном диоде

##### **Модуль2.**

Изобразить структуру биполярного транзистора и пояснить принцип его работы.  
Вывести формулу для расчета коэффициента усиления по току и напряжению биполярного транзистора в схеме с общей базой.  
Вывести формулу для расчета коэффициента усиления по току и напряжению биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.  
Изобразить структуру полевого транзистора с управляющим переходом и пояснить принцип его работы.  
Изобразить структуру МДП транзистора и пояснить принцип его работы.  
Изобразить структуру полевого транзистора Шоттки и пояснить принцип его работы.

## **V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Использование средств мультимедиа при проведении лекционных занятий.  
Выполнение тестовых и проектных заданий по основным разделам спецкурса.

## **VI. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Полный комплект контрольно-оценочных материалов (Фонд оценочных средств) оформляется в виде приложения к рабочей программе дисциплины.

В качестве оценочных средств текущего контроля используются проектные задания, практические занятия, а промежуточная аттестация приводится на основе тестов и с учетом результатов текущего контроля и выполнения практических заданий.

Контроль самостоятельной работы проводится в виде собеседования и выяснения знаний студента, а также в процессе консультаций.

## **VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Основная литература**

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника.- Петрозаводск. ПетрГУ. 2004, 312 с.
2. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. – М.: Высшая школа, 1981. – 431 с.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
5. Ямпурин Н.П., Баранова А.В., Обухов В.И. Электроника. – М.: Академия, 2011. 236 с.

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.:Наука, 1990. – 688 с.
2. Воронков Э.Н., Гуляев А.М. и др. Твердотельная электроника. – М.: Академия, 2009.

### **7.3. Список авторских методических разработок**

### **7.5. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

Электронная библиотека: <http://elib.mgup.ru/>

Научная библиотека избранных естественно-научных изданий: <http://sernam.ru/>

## **VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Учебно-лабораторное оборудование**

Компьютерный класс, экран, мультимедиа-проектор

## 8.2. Программное обеспечение

Операционные системы Windows с возможностью выхода во всемирную компьютерную сеть Интернет.

## 8.3. Технические и электронные средства презентации, наглядные пособия

### IX. УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ «Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника. Часть 1. Полупроводниковая и физическая электроника»

1 зачетная единица, 36 часов, в т.ч.: 18 ч. лекций, 9 ч. практических, 9 ч. СРС, зачет.

Преподаватель Мануилов М.Б.

Кафедра прикладной электродинамики и компьютерного моделирования

Курс 3 Семестр 6

Направление подготовки 03.03.03 Радиофизика

Виды контрольных мероприятий	Текущий контроль	Рубежный контроль (при наличии)
<b>Модуль 1. Основы физики полупроводниковых приборов. Контактные явления.</b>	<b>10</b>	<b>40</b>
Посещение лекций	10	
Тесты		40
<b>Модуль 2 Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые</b>	<b>10</b>	<b>40</b>
Посещение лекций	10	
Тесты		40
<b>Всего</b>	<b>20</b>	<b>80</b>
Бонусные баллы	<b>до 10</b>	<i>На последнем занятии перед проведением промежуточной аттестации начисляются бонусные баллы (до 10) за проявление академической активности, выполнение индивидуальных заданий с оценкой «отлично», непосредственное участие в неделе академической активности. Бонусные баллы не засчитываются в число минимально необходимых 38 баллов.</i>
		100

Преподаватель \_\_\_\_\_ Мануилов М.Б.  
(подпись)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»  
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«Полупроводниковая и физическая электроника.  
Твердотельная электроника.  
Часть 1. Полупроводниковая электроника»

Направление подготовки  
030303 радиоп физика

Подписано электронной подписью:  
М.Б. Мануилов, декан физического  
факультета

Сертификат №  
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен с 2 июня 2021 г. 13:13:25  
по 2 июня 2022 г. 12:56:37

## ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ДИСЦИПЛИНОЙ (МОДУЛЕМ), ПРАКТИКОЙ

«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.  
Часть 1. Полупроводниковая и физическая электроника»

Код компетенции	Формулировка компетенции
1	2
	<b>ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности
	<b>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ПК-2	Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения

## ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.  
Часть 1. Полупроводниковая и физическая электроника»

<i>№ п/п</i>	<i>Контролируемые разделы дисциплины (модуля), практики *</i>	<i>Код контролируемой компетенции</i>	<i>Наименование оценочного средства **</i>
1	Разделы дисциплины с 1 по 8	ОПК-1, ПК-1	Контрольные вопросы, тесты
2	Разделы дисциплины с 9 по 16	ОПК-1, ПК-1	Контрольные вопросы, тесты

**Тесты письменные**

по дисциплине (модулю)

«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.

Часть 1. Полупроводниковая и физическая электроника»

**Оформление вопросов для коллоквиумов, собеседования****Вопросы для коллоквиумов, собеседования**

по дисциплине «Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника. Часть 1. Полупроводниковая и физическая электроника»

**Модуль 1. Основы физики полупроводниковых приборов. Контактные явления**

Зонная теория твердых тел.

Концентрация носителей заряда в полупроводниках.

Зависимость концентрации носителей от температуры в  $n_i$ ,  $n$ ,  $p$  -полупроводниках.

Положение уровня Ферми.

Законы движения свободных носителей заряда в полупроводниках.

Проводимость полупроводников.

Равновесное и неравновесное состояния полупроводника.

Механизмы рекомбинации.

Основные уравнения, описывающие процессы в полупроводниках.

Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки.

Зонная диаграмма барьера Шоттки при внешнем напряжении.

Распределение электрического поля и потенциала в барьере Шоттки.

Диод Шоттки.

Электрические переходы. Электронно-дырочный переход в состоянии равновесия.

Параметры  $p$ - $n$  перехода в состоянии равновесия.

Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии и его вольт-амперная характеристика.

Пробой  $p$ - $n$  перехода.Сопротивление  $p$ - $n$  перехода.Барьерная емкость  $p$ - $n$  перехода.**Модуль 2. Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые транзисторы**

Полупроводниковые выпрямительные диоды.

Варикапы.

Стабилитроны. Опорные диоды.

Туннельные и обращенные диоды.

Биполярные транзисторы.

Режимы работы биполярных транзисторов и процессы переноса зарядов в них.

Способы включения биполярных транзисторов.

Моделирование биполярного транзистора. Обобщенная эквивалентная схема биполярного транзистора.

Биполярный транзистор как четырехполюсник.

Полевые транзисторы. Принцип действия и основные свойства полевых транзисторов.

Физические процессы в МДП-структурах.

Физические процессы в МДП-транзисторах с индуцированным каналом.

Физические процессы в МДП-транзисторах с встроенным каналом.

Полевые МЭП транзисторы (полевые транзисторы с барьером Шоттки).

Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом.

Полевые ГМЭП транзисторы.

Работа биполярного транзистора в области активного режима.

Малосигнальный усилитель, включенный по схеме с общим эмиттером.

### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту – ответы на не менее 90 % вопросов;
- оценка «хорошо» – ответы на не менее 70 % вопросов;
- оценка «удовлетворительно» – ответы на не менее 60% вопросов;
- оценка «неудовлетворительно» – менее 60% вопросов получили ответ.

## **Комплект заданий для контрольной работы**

по дисциплине:

**«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.**

**Ч1. Полупроводниковая и физическая электроника»**

### **Контрольная работа (коллоквиум) № 1**

#### **Вариант 1.**

1. Зонная теория твердых тел.
2. Вывести выражение для высоты потенциального барьера р-п-перехода. Пояснить физический смысл.
3. Записать и пояснить уравнение Ричардсона.

**Вариант 2.**

1. Концентрация носителей заряда в полупроводниках.
2. Записать выражения для удельной проводимости полупроводников электронного и дырочного типа.
3. Нарисовать и пояснить зонную диаграмму, поясняющую образование барьера Шоттки.

**Вариант 3.**

1. Законы движения свободных носителей заряда в полупроводниках.
2. Записать и пояснить уравнение непрерывности.
3. Нарисовать энергетические диаграммы собственного, электронного и дырочного полупроводников (с учетом термогенерации, рекомбинации и ионизации), объяснить физический смысл.

**Вариант 4.**

1. Электропроводность полупроводников.
2. Вывести выражение для ширины потенциального барьера p-n-перехода. Пояснить физический смысл.
3. Нарисовать энергетические диаграммы диэлектриков, полупроводников и металлов, пояснить их физический смысл.

**Вариант 5.**

1. Равновесное и неравновесное состояния полупроводника. Механизмы рекомбинации.
2. Нарисовать схему прямого включения p-n-перехода и его энергетическую диаграмму. Записать выражение для ширины p-n-перехода при прямом включении.
3. Записать выражение для средней длины свободного пробега носителей заряда при тепловом движении, объяснить физический смысл.

**Вариант 6.**

1. Основные уравнения, описывающие процессы в полупроводниках.
2. Записать закон действующих масс, объяснить физический смысл.
3. Нарисовать и пояснить структуру электронно-дырочного перехода в состоянии равновесия и его энергетическую диаграмму.

**Вариант 7.**

1. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Зонная диаграмма барьера Шоттки при внешнем напряжении.
2. Записать и пояснить уравнение заряда и его решение.
3. Записать и пояснить уравнение рекомбинации, нарисовать график зависимости концентрации свободных носителей от времени.

**Вариант 8.**

1. Зонная диаграмма барьера Шоттки при внешнем напряжении.
2. Распределение Ферми-Дирака и объяснить физический смысл.
3. Записать выражение для концентрации свободных электронов в зоне проводимости полупроводника, объяснить физический смысл.

**Вариант 9.**

1. Распределение электрического поля и потенциала в барьере Шоттки.
2. Записать и пояснить уравнение диффузии и его решение.
3. Нарисовать схему обратного включения p-n-перехода и его энергетическую диаграмму. Записать выражение для ширины p-n-перехода при обратном включении.

**Вариант 10.**

1. Диод Шоттки.
2. Записать и пояснить стационарное уравнение непрерывности при наличии постоянного электрического поля и его решение.
3. Записать и объяснить формулы для плотности диффузионного тока дырок и электронов, а также формулы для коэффициентов диффузии.

**Вариант 11.**

1. Электронно-дырочный переход в состоянии равновесия.
2. Записать и пояснить выражения для дрейфовых токов электронов и дырок в полупроводнике. Нарисовать и пояснить графики подвижности  $\mu = \mu(E)$ , и дрейфовой скорости  $v_{др} = v_{др}(E)$ .

3. Вывести выражение для уровня Ферми в полупроводнике n-типа, нарисовать энергетическую диаграмму.

**Вариант 12.**

1. Параметры р-n-перехода в состоянии равновесия.
2. Вывести выражение для уровня Ферми в полупроводнике р-типа, нарисовать энергетическую диаграмму.
3. Нарисовать и пояснить зонные диаграммы барьера Шоттки при различных напряжениях смещения.

**Вариант 13.**

1. Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии и его вольт-амперная характеристика.
2. Нарисовать и пояснить структуру диода с барьером Шоттки (ДБШ). Каковы преимущества ДБШ?
3. Получить выражения для напряженности поля и потенциала на барьере Шоттки. Нарисовать график напряженности и потенциала.

**Контрольная работа (коллоквиум) № 2****Вариант 1.**

1. Полупроводниковые выпрямительные диоды.
2. Нарисовать МДП-структуру и распределения зарядов в ней в различных режимах, объяснить физический смысл.
3. Нарисовать энергетическую диаграмму и вольт-амперную характеристику обращенного диода.

**Вариант 2.**

1. Варикапы.
2. Нарисовать структуру биполярных транзисторов с разным типом проводимости.
3. Нарисовать структуру МДП-транзистора с встроенным каналом и его вольт-амперные характеристики, объяснить физический смысл.

**Вариант 3.**

1. Стабилитроны.
2. Нарисовать и пояснить схему режима насыщения биполярного транзистора.
3. Нарисовать схему включения биполярного транзистора с общим эмиттером, записать уравнения для токов и выражение для коллекторного тока.

**Вариант 4.**

1. Туннельные и обращенные диоды.
2. Записать выражение для барьерной емкости р-n перехода варикапа, ее зависимости от напряжения, нарисовать график зависимости  $C(U)$ .
3. Нарисовать и пояснить схему инверсного режима работы биполярного транзистора и уравнения для токов в инверсном режиме.

**Вариант 5.**

1. Биполярные транзисторы.
2. Нарисовать схему диодного выпрямителя переменного тока и временные диаграммы на его входе и выходе.

3. Объяснить физические процессы при лавинном пробое р-п перехода, нарисовать вольт-амперную характеристику для случая лавинного пробоя.

**Вариант 6.**

1. Режимы работы биполярных транзисторов и процессы переноса зарядов в них.

2. Нарисовать и пояснить структуру варикапа и распределение концентрации примесей в ней.

3. Объяснить физические процессы при туннельном пробое р-п перехода, нарисовать вольт-амперную характеристику для случая туннельного пробоя.

**Вариант 7.**

1. Способы включения биполярных транзисторов.

2. Нарисовать вольт-амперную характеристику и энергетические диаграммы туннельного диода в разных точках ВАХ.

3. Вывести формулы Молла-Эберса для токов биполярного транзистора.

**Вариант 8.**

1. Моделирование биполярного транзистора. Обобщенная эквивалентная схема биполярного транзистора.

2. Классификация полупроводниковых диодов (по типу перехода, по технологии изготовления, по диапазону рабочих частот, по назначению).

3. Нарисовать схему включения биполярного транзистора с общим коллектором, записать уравнения для токов и выражение для эмиттерного тока.

**Вариант 9.**

1. Биполярный транзистор как четырехполюсник.

2. Нарисовать и пояснить схему режима отсечки биполярного транзистора.

3. Нарисовать схему включения стабилитрона.

**Вариант 10.**

1. Полевые транзисторы. Принцип действия и основные свойства полевых транзисторов.

2. Нарисовать и пояснить схему активного режима работы биполярного транзистора и уравнения для токов в активном режиме.

3. Нарисовать реальные структуры биполярных транзисторов, сделанных по разным технологиям (сплавной, диффузионно-планарный, эпитаксиально-планарный)..

**Вариант 11.**

1. Физические процессы в МДП-структурах.

2. Нарисовать и пояснить обобщенную эквивалентную схему биполярного транзистора.

3. Нарисовать схему включения биполярного транзистора с общей базой.

**Вариант 12.**

1. Физические процессы в МДП-транзисторах с индуцированным каналом и встроенным каналом.

2. Классификация полевых транзисторов.

3. Нарисовать схему включения биполярного транзистора с общим эмиттером, записать уравнения для токов и выражение для коллекторного тока.

**Вариант 13.**

1. Полевые МЭП транзисторы (полевые транзисторы с барьером Шоттки).

2. Нарисовать схему включения биполярного транзистора с общим коллектором, записать уравнения для токов и выражение для эмиттерного тока

3. Записать выражение для барьерной емкости р-п перехода варикапа, ее зависимости от напряжения, нарисовать график зависимости  $C(U)$ .

**Критерии оценки:**

Для оценивания результатов контрольной работы возможно использовать следующие критерии оценивания: правильность ответа.

Оценка проводится по балльной системе. Правильный ответ на вопрос тестового задания равен 1 баллу. Общее количество баллов по тесту равняется количеству вопросов.

Общее количество вопросов принимается за 100%, оценка выставляется по значению соотношения правильных ответов к общему количеству вопросов в процентах.

Для пересчета оценки в традиционную систему используется таблица соответствия:

Границы в процентах	Традиционная оценка
85-100%	5 – Отлично или зачтено
71-84%	4 – Хорошо или зачтено
60-70%	3 – Удовлетворительно или зачтено
0-59%	2 – не удовлетворительно или не зачтено

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»  
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Полупроводниковая и физическая электроника/**  
**Часть 2. Физическая электроника**

---

Код и наименование направления подготовки:  
030303 радиофизика

Направленность (профиль):  
Радиофизика

Форма обучения:  
Очная

Подписано электронной подписью:  
М.Б. Мануилов, декан физического  
факультета

Сертификат №  
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен с 2 июня 2021 г. 13:13:25 по 2  
июня 2022 г. 12:56:37

Ростов-на-Дону, 2021

**Составитель(и) программы:**

А.Б. Клещенков, к.ф.-м.н., доцент

Программа одобрена на заседании кафедры прикладной электродинамики и компьютерного моделирования

«02» марта 2021 г., протокол № 15

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цели** освоения дисциплины (модуля):

В соответствии с требованиями, предъявляемыми ГОС по специальности 03.03.03 «Радиофизика» в курсе «Полупроводниковая и физическая электроника» рассматриваются физические принципы работы современных электровакуумных приборов СВЧ (триоды и тетроды СВЧ, клистроны, лампы бегущей и обратной волны, магнетроны), их основные параметры и характеристики и области применения.

**Задачи:**

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- сформировать у студентов представления о физических процессах, происходящих в электровакуумных приборах СВЧ и принципах их работы;
- выработать навыки решения конкретных задач в области электроники;
- развить у студентов интереса к изучению радиофизики и электроники.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

2.1. Учебная дисциплина (модуль) Электровакуумные приборы СВЧ относится к циклу ООП БЗ программы бакалавриата.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: «Электричество», «Электродинамика», «Основы радиоэлектроники» и др.

**Знания:** Основные законы физики, электродинамики, электроники, атомной и квантовой физики, распространения электромагнитных волн; методы математической физики.

**Умения:** решать прикладные задачи электродинамики, электроники, квантовой и атомной физики; решать обыкновенные дифференциальные уравнения.

**Навыки:** решения задач по электродинамике, электронике и квантовой физике; качественно и количественно решать обыкновенные дифференциальные уравнения; формулирования и использования приближений при решении задач электродинамики, электроники.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для курсов: "Твердотельная электроника", "Радиоэлектронные устройства", "Системы связи и обработки информации", "Методологический семинар по радиофизике".

## III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО (ОС ЮФУ) и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы:**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
-------------	------------------------	---------------------

<p><b>ОПК-1</b> Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</p>	<p><b>ОПК-1.1</b> Знает фундаментальные законы физики и радиофизики</p> <p><b>ОПК-1.2</b> Умеет применять базовые знания в области физики и радиофизики в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p> <p><b>ОПК-1.3</b> Владеет теоретическим и экспериментальным аппаратом для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p>	<p><b>Знания:</b> общих принципов и особенностей проведения измерения в СВЧ диапазоне</p> <p><b>Умения:</b> проводить экспериментальные исследования и анализировать результаты измерений</p> <p><b>Навыки:</b> применять современную измерительную технику для проведения измерений в ходе научно-исследовательской деятельности</p>
<p><b>ПК-2</b> Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения</p>	<p><b>ПК-2.1</b> Техническое обслуживание сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры</p> <p><b>ПК-2.2</b> Техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры</p> <p><b>ПК-2.3</b> Организационно-методическое обеспечение технической эксплуатации радиоэлектронных комплексов</p>	<p><b>Знания:</b> параметры и величины, измеряемые и применяемые для описания характеристик узлов и устройств на СВЧ; физические принципы, лежащие в основе построения измерительных приборов СВЧ диапазона; виды существующей измерительной аппаратуры и ее технические данные для обслуживания сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры</p> <p><b>Умения:</b> ориентироваться в современной приборной измерительной базе СВЧ, правильно выбирать и применять измерительную аппаратуру, техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры</p> <p><b>Навыки:</b> пользоваться основными метрологическими понятиями, также теоретическими знаниями и методами для измерения основных электрических величин на сверхвысоких частотах, а также практическими навыками проведения измерений.</p>

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа,  
в том числе 1 зачетная единица, 36 часов на экзамен

Форма отчетности: экзамен

##### 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия		
1.	<b>Общие вопросы физической электроники</b>	7	18			18	Контрольный тест №1.
2.	<b>Электровакуумные приборы СВЧ</b>	7	18			18	Контрольный тест №2.
Итого часов			36			36	

##### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1.	Общие вопросы физической электроники	Проработка пройденного материала.	До середины семестра	18	Интерактивный опрос	Учебники и пособия.
2.	Электровакуумные приборы СВЧ	Проработка пройденного материала.	До конца семестра	18	Интерактивный опрос	Учебники и пособия.
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				36		
Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)				36		

## **4.3 Содержание учебного материала**

### **Модуль 1. Общие вопросы физической электроники**

Тема 1. Введение. Эмиссия. Катоды. Предмет и содержание курса. Научное и прикладное значение электроники. Исторический обзор развития электроники. Электронная эмиссия. Виды эмиссий. Физические основы и типы электронной эмиссии. Термоэлектронная эмиссия. Автоэлектронная эмиссия. Вторично электронная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия. Катоды. Термокатоде. Классификация. Основные виды. Параметры. Автоэмиссионные катоды. Вторично-эмиссионные катоды. Особенности электровакуумных приборов СВЧ диапазона.

Тема 2. Общие вопросы СВЧ электроники. Общие уравнения. Время и угол пролёта электронов. Уравнение наведённого тока. Прохождение промодулированного по плотности электронного потока через плоский зазор. Отбор энергии от электронного потока.

Тема 3. Колебательные системы СВЧ. Узкополосные колебательные системы. Широкополосные колебательные системы. Замедляющие системы. Условие синхронизма. Пространственные гармоники. Дисперсия. Дисперсионные характеристики.

Тема 4. Методы управления электронными потоками. Электростатические методы управления электронными потоками. Недостатки электростатических методов на СВЧ. Динамические методы управления электронными потоками. Метод дрейфа. Метод тормозящего поля.

### **Модуль 2. Электровакуумные приборы СВЧ**

Тема 5. Триоды и тетроды СВЧ. Устройство и принцип действия. Применение. Пролётные клистроны. Устройство и принцип действия пролётного клистрона. Усилитель на двухрезонаторном пролётном клистроне. Параметры. Характеристики. Многорезонаторные клистроны. Многолучевые клистроны. Применение. Клистроды. Применение.

Тема 6. Отражательный клистрон. Устройство отражательного клистрона. Принцип действия. Условия генерации. Зоны генерации. Электронная перестройка частоты. Параметры. Характеристики. Применение.

Тема 7. Лампа бегущей волны (ЛБВ) О-типа. Устройство ЛБВ. Принцип действия. Методы формирования протяжённого электронного потока. Широкополосные свойства ЛБВ. Параметры.

Характеристики. Применение.

Тема 8. Лампа обратной волны (ЛОВ) О-типа. Устройство ЛОВ. Принцип действия. Условия генерации. Электронная перестройка частоты. Параметры. Характеристики. Применение.

Тема 9. Электронные приборы СВЧ со скрещенными полями (приборы М-типа). Магнетрон. Устройство. Принцип действия. Виды колебаний. Роль связей. Группировка электронного потока. Условие синхронизма. Параметры. Характеристики. Применение.

#### **4.4 Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение**

1. Определить основные уравнения физической электроники.
2. Уяснить физический смысл понятий время и угол пролёта.
3. Вывести формулы времени и угла пролёта для случая движения электронов в постоянном электрическом поле, в переменном электрическом поле и в отсутствие полей в приближении плоского зазора
4. Вывести уравнение наведённого тока для случая движения одиночного заряда в плоском зазоре.
5. Получить выражения для наведённого тока в случае прохождения промоделированного по плотности электронного потока в плоском зазоре
6. Получить зависимость амплитуды наведённого тока в задании 2-5.
7. Уяснить условие отбора энергии от электронного потока.
8. Записать выражение для поля периодической замедляющей системы в виде ряда пространственных гармоник.
9. Сравнить пространственные гармоники по фазовым скоростям, длине волны и частоте.
10. Показать, как осуществляется переход от открытого колебательного контура к тороидальному резонатору.
11. Обосновать необходимость выполнения условий синхронизма.
12. Записать условие работы прибора на одной пространственной гармонике.

13. Обосновать выбор пространственной гармоника с известными дисперсионными свойствами в определённом приборе.

14. Применить для уяснения работы пролётного клистрона пространственно-временные диаграммы, описывающие процесс группировки электронного потока.

15. Уяснить процесс скоростной модуляции в первом резонаторе.

16. Уяснить процесс преобразования модуляции по скорости в модуляцию по плотности с помощью пространственно-временной диаграммы.

17. Уяснить процесс наведения и отбора энергии во втором резонаторе.

18. Найти связь между коэффициентом усиления и выходной мощностью.

19. Уяснить ограничение величины КПД в двухрезонаторном усилительном клистроне.

20. Уяснить, как влияет величина группировки параметра  $X$  на форму импульсов конвекционного тока, сгруппированного электронного потока.

21. Уяснить, с чем связана ограниченность полосы пропускания в усилительном клистроне.

22. Обратить внимание на положение начальной точки амплитудной характеристики.

## **V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В процессе преподавания дисциплины используются лекции.

## **VI. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Полный комплект контрольно-оценочных материалов (Фонд оценочных средств) оформляется в виде приложения к рабочей программе дисциплины.

## **VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Основная литература.**

1. Лебедев, И.В. Техника и приборы СВЧ. Электровакуумные приборы СВЧ [Текст]/ И.В.Лебедев: 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1972, -Т.2. - 376с.
2. Фёдоров, Н.Д. Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы [Текст]/ Н.Д. Фёдоров - М.: Атомиздат, 1979.- 288с.
3. Дулин, В.Н. Электронные приборы [Текст]/ В.Н. Дулин.-М.: Энергия, 1977.- 425с.

### **7.2. Дополнительная литература.**

1. Андрушко, Л.М. Электронные и квантовые приборы СВЧ [Текст] / Л.М. Андрушко, Н.Д.Фёдоров.- М.: Радио и связь, 1981.- 208с .
2. Кукарин, С.В. Электронные СВЧ приборы [Текст] / С.В. Кукарин.- М.: Радио и связь, 1981.- 272с.

3. Электронные приборы СВЧ [Текст]; под ред. Березина В.М. [и др.].-М.: Высш. шк. 1985.- 296с.

**7.3. Список авторских методических разработок.**

**7.4. Периодические издания**

**7.5. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

Электронная библиотека: <http://elib.mgup.ru/>

Научная библиотека избранных естественно-научных изданий: <http://sernam.ru/>

**7.6. Программное обеспечение информационно-коммуникационных технологий**

Операционные системы Windows Xp/2000/7/8/10/ с возможностью выхода в всемирную компьютерную сеть Интернет.

## **VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**8.1. Учебно-лабораторное оборудование.**

**8.2. Программные средства.**

Один из интернет-браузеров.

**8.3. Технические и электронные средства.**

Персональные компьютеры под управлением ОС Linux или Windows Xp/2000/7/8/10/.

## IX. УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

### «Полупроводниковая и физическая электроника»

2 зач.ед.; ак.ч всего: - 36 час., в т.ч.: лекций - 18 час., самостоятельная работа студентов - 72 час.

Преподаватель - доц. Клещенков А.Б.

Кафедра Прикладной электродинамики и компьютерного моделирования

Курс 4 Семестр 7 Направление подготовки (специальность) 03.03.03 - Радиофизика, профиль – физика радиоволн.

№		Текущий контроль	Рубежный контроль
	<b>Модуль 1.</b> <i>Общие вопросы физической электроники</i>	<b>9</b>	
1.	Посещение лекций	9	
2.	Тестовая контрольная работа		20
	<b>Модуль 2.</b> <i>Электровакуумные приборы СВЧ</i>	<b>9</b>	
1.	Посещение лекций	9	
2.	Тестовая контрольная работа		20
	<b>Всего</b>	<b>18</b>	<b>40</b>
	Бонусные баллы		<b>2</b>
	<b>Промежуточная аттестация в форме экзамена</b>		<b>40</b>

Преподаватель \_\_\_\_\_  
подпись

Клещенков А. Б.  
расшифровка подписи

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»  
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Полупроводниковая и физическая электроника  
Часть 2. Физическая электроника.

Направление подготовки  
030303 радиофизика

Подписано электронной подписью:  
М.Б. Мануилов, декан физического  
факультета

Сертификат №  
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен с 2 июня 2021 г. 13:13:25  
по 2 июня 2022 г. 12:56:37

Ростов-на-Дону, 2021

## ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ДИСЦИПЛИНОЙ

### Физическая электроника

(наименование дисциплины)

Код компетенции	Формулировка компетенции
1	2
<b>ОПК</b>	<b>ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ОПК-1	<ul style="list-style-type: none"><li>• способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности.</li></ul>
<b>ПК</b>	<b>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ПК-1	<ul style="list-style-type: none"><li>• способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования.</li></ul>
ПК-2	<ul style="list-style-type: none"><li>• способность использовать основные методы радиофизических измерений</li></ul>

## ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Физическая электроника

(наименование дисциплины)

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины*	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства**
1.	Модуль 1. Общие вопросы физической электроники	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Контрольный тест №1
2.	Модуль 2. Электрорадиодетали приборы СВЧ	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Контрольный тест №2

\* Наименование раздела указывается в соответствии с рабочей программой дисциплины.

\*\*Наименование оценочного средства указывается в соответствии с учебной картой дисциплины.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Физический факультет*  
*Структурное подразделение*

Кафедра Прикладной электродинамики и компьютерного моделирования  
(наименование кафедры)

## Вопросы к экзамену

по дисциплине **Физическая электроника**  
(наименование дисциплины)

1. **Основные определения.** Введение. Научное и прикладное значение электроники.
2. **Электронная эмиссия.** Виды эмиссий. Физические основы и типы электронной эмиссии. Термоэлектронная эмиссия. Автоэлектронная эмиссия. Вторично электронная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия.
3. **Катоды.** Термокатоды. Классификация. Основные виды. Параметры. Автоэмиссионные катоды. Вторично-эмиссионные катоды.
4. **Особенности электровакуумных приборов СВЧ диапазона.** Роль времени пролета. Роль между электродных ёмкостей и индуктивности выводов. Роль колебательной системы.
5. **Общие вопросы СВЧ электроники.** Общие уравнения. Время и угол пролёта электронов.
6. **Уравнение наведённого тока.** Прохождение промодулированного по плотности электронного потока через плоский зазор. Отбор энергии от электронного потока.
7. **Колебательные системы СВЧ.** Узкополосные колебательные системы. Широкополосные колебательные системы. Замедляющие системы. Условие синхронизма
8. **Пространственные гармоники.** Дисперсия. Дисперсионные характеристики.
9. **Методы управления электронными потоками.** Электростатические методы управления электронными потоками. Недостатки электростатических методов на СВЧ. Динамические методы управления электронными потоками. Метод дрейфа. Метод тормозящего поля.
10. **Триоды и тетроды СВЧ.** Устройство и принцип действия. Применение.
11. **Пролётные клистроны.** Устройство и принцип действия пролётного клистрона. Усилитель на двухрезонаторном пролётном клистроне. Параметры. Характеристики. Многорезонаторные клистроны. Многолучевые клистроны. Применение.
12. **Клистроды.** Устройство и принцип действия. Применение.

13. **Отражательный клистрон.** Устройство отражательного клистрона. Принцип действия. Условия генерации. Зоны генерации. Электронная перестройка частоты. Параметры. Характеристики. Применение.
14. **Лампа бегущей волны (ЛБВ) О-типа.** Устройство ЛБВ. Принцип действия. Методы формирования протяжённого электронного потока. Широкополосные свойства ЛБВ. Параметры. Характеристики. Применение.
15. **Лампа обратной волны (ЛОВ) О-типа.** Устройство ЛОВ. Принцип действия. Условия генерации. Электронная перестройка частоты. Параметры. Характеристики. Применение.
16. **Электронные приборы СВЧ со скрещенными полями (приборы М-типа).** Магнетрон. Устройство. Принцип действия. Виды колебаний. Роль связей. Группировка электронного потока. Условие синхронизма. Параметры. Характеристики. Применение.

Составитель \_\_\_\_\_ Клещенко А.Ю.  
(подпись)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»  
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

«Полупроводниковая и физическая электроника.  
Твердотельная электроника.  
Часть 3. Твердотельная электроника»

Код и наименование направления подготовки:  
030303 радиофизика

Направленность (профиль):  
Общий профиль

Форма обучения:  
Очная

Подписано электронной подписью:  
М.Б. Мануилов, декан физического  
факультета

Сертификат №  
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен с 2 июня 2021 г. 13:13:25 по 2  
июня 2022 г. 12:56:37

Ростов-на-Дону, 2021

**Составитель(и) программы:**

М.Б. Мануилов, д.ф.-м.н., профессор

Программа одобрена на заседании кафедры прикладной электродинамики и компьютерного моделирования

«02» марта 2021 г., протокол № 15

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цели** освоения дисциплины (модуля) Твердотельная электроника является изучение физических явлений, лежащих в основе работы твёрдотельных приборов СВЧ, монолитных интегральных схем СВЧ (МИС СВЧ) описание и анализ их работы, технологий и применения в научно-исследовательской работе.

### **Задачи:**

- формирование у студентов представлений о физических свойствах полупроводниковых материалов и принципах работы современных полупроводниковых приборов в диапазонах СВЧ, КВЧ, ТГц;
- выработка навыков решения конкретных задач в области полупроводниковой микроэлектроники;
- освоение методов проектирования твердотельных приборов СВЧ, включая усилители мощности, МШУ

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

2.1. Учебная дисциплина Твердотельная электроника относится к базовой части учебного плана.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: "Математический анализ", «Электричество», «Электродинамика», «Полупроводниковая электроника» и др.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

Дополняет, расширяет знания и умения дисциплин: «Радиофизический практикум», «Физика и техника СВЧ. Измерения на СВЧ», «Линии передачи и устройства СВЧ», «Системы связи».

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для курсов: «Системы связи», «Радиоэлектронные системы», «Цифровая схемотехника», «Научно-исследовательская работа».

## III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО (ОС ЮФУ) и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
-------------	------------------------	---------------------

<p><i>ОПК-1</i> Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p>	<p><i>ОПК-1.1</i> Знает фундаментальные законы физики и радиофизики <i>ОПК-1.2</i> Умеет применять базовые знания в области физики и радиофизики в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности <i>ОПК-1.3</i> Владеет теоретическим и экспериментальным аппаратом для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности</p>	<p><b>Знания:</b> как математически моделировать радиофизические процессы <b>Умения:</b> применять знания, полученные в курсах физики и математики для анализа физических явлений. <b>Навыки:</b> оценивания параметров математических моделей, их погрешности и достоверности моделей.</p>
<p><i>ПК-2.</i> Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения</p>	<p><i>ПК-2.1</i> Техническое обслуживание сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры <i>ПК-2.2</i> Техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры <i>ПК-2.3</i> Организационно-методическое обеспечение технической эксплуатации радиоэлектронных комплексов</p>	<p><b>Знания:</b> принципов функционирования современной сверхвысокочастотной техники радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиоуправления. <b>Умения:</b> эксплуатировать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения <b>Навыки:</b> использования в своей научно-исследовательской деятельности современных достижений и физических основ полупроводниковой СВЧ микроэлектроники</p>

Указывается код и формулировка компетенций, код и формулировка индикаторов компетенций.

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет

2 зачетных единицы, 72 часа, в т.ч. 14 ч. лекций, 14 ч. практических, 44 ч. самостоятельной работы студентов

Форма отчетности: зачет

##### 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися					
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия			
1	<b>Модуль I. Полупроводниковые приборы СВЧ.</b>	8	7	7				
	Твердотельные приборы СВЧ и их классификация. Материалы твердотельной электроники СВЧ		1	1				
	Элементы зонной теории полупроводников. Переход металл-полупроводник. Диоды с барьером Шоттки		1	1				
	Вольтамперные характеристики диодов. Конструкции СВЧ диодов. Эквивалентная схема. Нелинейные свойства. Выпрямляющие свойства		1	1				
	Смесители СВЧ сигналов. Небалансные смесители. Балансные смесители.		1	1			Тест 1	
	p-i-n диод. Принцип действия. Эквивалентная схема. Зависимость сопротивления p-i-n диода от прямого тока. Переключатели на p-i-n диодах.		1	1				
	Биполярный СВЧ транзистор, устройство, принцип действия, энергетическая диаграмма. S, Y, Z, h-параметры транзисторов.		1	1				
	Гетеробиполярный транзистор (HBT). Полевой транзистор с барьером Шоттки (MESFET). Полевой транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT).		1	1			Тест 2	

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися				
2	<b>Модуль II. Основы проектирования полупроводниковых СВЧ усилителей</b>	8	7	7		22	
	Определение коэффициента усиления. Двухпортовая схема усилителя. Согласование четырехполюсника.		1	1			
	Устойчивость усилителя. Области устойчивости. Критерии безусловной устойчивости.		1	1			
	Однокаскадный усилитель.		1	1			
	Малошумящие конструкции усилителей.		1	1			
	Распределенные усилители. Дифференциальные усилители.		1	1			
	Усилители мощности. Характеристики усилителей мощности.		1	1			Тест 3
	Классы усилителей. Разработка усилителей класса А.		1	1			Тест 4
Итого часов			14	14		22	Промежуточная аттестация в форме зачета

#### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
6	<b>Модуль I. Полупроводниковые приборы СВЧ.</b>	Самостоятельная проработка учебно-методического комплекса		22	Интерактивный опрос	Конспект лекций. Учебники и пособия.
6	<b>Модуль II. Основы проектирования полупроводниковых СВЧ усилителей</b>	Самостоятельная проработка учебно-методического комплекса		22	Интерактивный опрос	Конспект лекций. Учебники и пособия.
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>44</b>		
<b>Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)</b>				<b>44</b>		

## 4.3 Содержание учебного материала

### Модуль 1. Полупроводниковые приборы СВЧ

Твердотельные приборы СВЧ и их классификация. Материалы твердотельной электроники СВЧ.

Элементы зонной теории полупроводников. Переход металл-полупроводник. Диоды с барьером Шоттки.

Вольтамперные характеристики диодов. Конструкция СВЧ диодов. Эквивалентная схема. Нелинейные свойства. Выпрямляющие свойства.

Смесители СВЧ сигналов. Небалансные смесители.

Балансные смесители.

p-i-n диод. Принцип действия. Эквивалентная схема. Зависимость сопротивления p-i-n диода от прямого тока.

Переключатели на p-i-n диодах.

Биполярный СВЧ транзистор, устройство, принцип действия, энергетическая диаграмма. S, Y, Z, h-параметры транзисторов.

Гетеробиполярный транзистор (HBT).

Полевой транзистор с барьером Шоттки (MESFET). Принцип действия. Длина затвора.

Топология. Вольтамперная характеристика ПТШ на постоянном токе.

Полевой транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT).

### Модуль 2. Основы проектирования полупроводниковых СВЧ усилителей

Определение коэффициента усиления. Двухпортовая схема усилителя.

Согласование четырехполюсника.

Устойчивость усилителя. Области устойчивости.

Критерии безусловной устойчивости.

Однокаскадный усилитель

Малозошумящие конструкции усилителей.

Широкополосные конструкции усилителей. Балансный усилитель.

Распределенные усилители.

Дифференциальные усилители.

Усилители мощности. Характеристики усилителей мощности.

Классы усилителей. Разработка усилителей класса А

#### **4.4 Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение**

Варакторный диод. Основные типы нелинейной полупроводниковой емкости. Барьерная емкость.

Диффузная емкость. Диод с накоплением заряда. Вольтфарадная характеристика варакторного диода.

Применение варакторных диодов. Варикапы или настроечные диоды. Умножители.

Параметрические усилители на варакторных диодах.

Диод Ганна. Элементарная теория междолинного перехода. Формирование домена сильного поля. Вольтамперная характеристика диода Ганна.

Конструкции генераторов на диоде Ганна.

Лавинно-пролетный диод (ЛПД). Принцип действия (лавинный пробой, обратная связь, фазовое условие, амплитудное условие).

Конструкция ЛПД. Эквивалентная схема ЛПД. Эквивалентная схема генератора на ЛПД (ГЛПД). Перестройка частоты ГЛПД. Параметры и характеристики ГЛПД.

### **V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Использование средств мультимедиа при проведении лекционных занятий.

Выполнение тестовых и проектных заданий по основным разделам спецкурса.

### **VI. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Полный комплект контрольно-оценочных материалов (Фонд оценочных средств) оформлен в виде приложения к рабочей программе дисциплины.

В качестве оценочных средств текущего контроля используются проектные задания, практические занятия, а промежуточная аттестация приводится на основе тестов и с учетом результатов текущего контроля и выполнения практических заданий.

Контроль самостоятельной работы проводится в виде собеседования и выяснения знаний студента, а также в процессе консультаций.

### **VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **7.1. Основная литература**

1. Pozar D. M. Microwave engineering. – Wiley, 2012, 734 p.
2. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи// Л.Г. Гассанов, А.А. Липатов, В.В. Марков, Н.А. Могильченко. - М.: Радио и связь, 1988. - 288с.
3. Микроэлектронные устройства СВЧ// Веселов Г.И., Егоров Е.Н., Алехин Ю.Н. и др. Под. ред. Веселова Г.И. – М.: Высшая школа, 1988, 280 с.

4. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника//Под.ред. В.А.Терехова. – М.: Высш. шк., 1991. 351 с.
5. Электронные приборы СВЧ //В.М. Березин, В.С. Буряк, Э.М. Гутцайт, В.П. Марин. - М.: Высш. школа, 1985. - 296с.
6. Goyal R. Monolithic Microwave Integrated Circuit Technology and Design// Artech House, Norwood, MA, 1989, (CD e-version).
7. Ladbrooke P.H. MMIC design: GaAs FET and HEMTs// Artech House, Norwood, MA, 1989, (CD e-version).
8. В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. Полупроводниковые приборы. - Санкт-Петербург: Лань, 2009. - 480 с.

## **7.2. Дополнительная литература**

1. Нойкин Ю.М., Нойкина Т.К. Методические указания к выполнению лабораторного практикума "Твердотельная электроника СВЧ". Часть II. Детекторный СВЧ диод. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2006.-37с.
2. Нойкин Ю.М., Стрижаков В.Д. Методические указания к выполнению лабораторного практикума "Твердотельная электроника СВЧ". Часть VI. Варакторный диод. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2003.-33с
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.:Наука, 1990. – 688 с.
4. Воронков Э.Н., Гуляев А.М. и др. Твердотельная электроника. – М.: Академия, 2009.

## **7.3. Список авторских методических разработок**

## **7.5. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

Электронная библиотека: <http://elib.mgup.ru/>

Научная библиотека избранных естественно-научных изданий: <http://sernam.ru/>

## **VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Учебно-лабораторное оборудование**

Компьютерный класс, экран, мультимедиа-проектор

### **8.2. Программное обеспечение**

Операционные системы Windows с возможностью выхода во всемирную компьютерную сеть Интернет.

### **8.3. Технические и электронные средства презентации, наглядные пособия**

**IX. УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)  
УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.  
Часть 2. Твердотельная электроника»**

2 зачетных единицы, 72 часа, в т.ч. 14 ч. лекций, 14 ч. практических, 44 ч. СРС, зачет.

Преподаватель Мануилов М.Б.

Кафедра прикладной электродинамики и компьютерного моделирования

Курс 4 Семестр 8

Направление подготовки 03.03.03 Радиофизика

Виды контрольных мероприятий	Текущий контроль	Рубежный контроль (при наличии)
<b>Модуль 1. Полупроводниковые приборы СВЧ</b>	<b>10</b>	<b>40</b>
Посещение лекций	10	
Тесты		40
<b>Модуль 2. Основы проектирования полупроводниковых СВЧ усилителей</b>	<b>10</b>	<b>40</b>
Посещение лекций	10	
Тесты		40
<b>Всего</b>	<b>20</b>	<b>80</b>
Бонусные баллы	<b>до 10</b>	<i>На последнем занятии перед проведением промежуточной аттестации начисляются бонусные баллы (до 10) за проявление академической активности, выполнение индивидуальных заданий с оценкой «отлично», непосредственное участие в неделе академической активности. Бонусные баллы не засчитываются в число минимально необходимых 38 баллов.</i>
		100

Преподаватель \_\_\_\_\_ Мануилов М.Б.  
(подпись)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»  
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«Полупроводниковая и физическая электроника.  
Твердотельная электроника.  
Часть 3. Твердотельная электроника»

Направление подготовки  
030303 радиофизика

Подписано электронной подписью:  
М.Б. Мануилов, декан физического  
факультета

Сертификат №  
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен с 2 июня 2021 г. 13:13:25  
по 2 июня 2022 г. 12:56:37

**ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ДИСЦИПЛИНОЙ  
(МОДУЛЕМ), ПРАКТИКОЙ**

«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.  
Часть 3. Твердотельная электроника»

Код компетенции	Формулировка компетенции
1	2
	<b>ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности
	<b>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ПК-2	Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения

**ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
(МОДУЛЮ)**

«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.  
Часть 3. Твердотельная электроника»

<i>№ n/n</i>	<i>Контролируемые разделы дисциплины (модуля), практики *</i>	<i>Код контролируемой компетенции</i>	<i>Наименование оценочного средства **</i>
1	Разделы дисциплины с 1 по 7	ОПК-1, ПК-2	Контрольные вопросы, тесты
2	Разделы дисциплины с 8 по 14	ОПК-1, ПК-2	Контрольные вопросы, тесты

**Тесты письменные**  
по дисциплине (модулю)  
«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.  
Часть 3. Твердотельная электроника»

**Оформление вопросов для коллоквиумов, собеседования**

**Вопросы для коллоквиумов, собеседования**

по дисциплине «Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника. Часть 2. Твердотельная электроника»

**Модуль 1.**

Твердотельные приборы СВЧ и их классификация. Материалы твердотельной электроники СВЧ.

Элементы зонной теории полупроводников. Переход металл-полупроводник. Диоды с барьером Шоттки.

Вольтамперные характеристики диодов. Конструкция СВЧ диодов. Эквивалентная схема.

Нелинейные свойства. Выпрямляющие свойства.

Смесители СВЧ сигналов. Небалансные смесители.

Балансные смесители.

p-i-n диод. Принцип действия. Эквивалентная схема. Зависимость сопротивления p-i-n диода от прямого тока.

Переключатели на p-i-n диодах.

Биполярный СВЧ транзистор, устройство, принцип действия, энергетическая диаграмма.

S, Y, Z, h-параметры транзисторов.

Гетеробиполярный транзистор (HBT).

Полевой транзистор с барьером Шоттки (MESFET). Принцип действия. Длина затвора.

Топология. Вольтамперная характеристика ПТШ на постоянном токе.

Полевой транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT).

**Модуль 2.**

Определение коэффициента усиления. Двухпортовая схема усилителя.

Согласование четырехполюсника.

Устойчивость усилителя. Области устойчивости.

Критерии безусловной устойчивости.

Однокаскадный усилитель

Малошумящие конструкции усилителей.

Широкополосные конструкции усилителей. Балансный усилитель.

Распределенные усилители.

Дифференциальные усилители.

Усилители мощности. Характеристики усилителей мощности.

Классы усилителей. Разработка усилителей класса А

### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту – ответы на не менее 90 % вопросов;
- оценка «хорошо» – ответы на не менее 70 % вопросов;
- оценка «удовлетворительно» – ответы на не менее 60% вопросов;
- оценка «неудовлетворительно» – менее 60% вопросов получили ответ.

## **Комплект заданий для контрольной работы**

по дисциплине:

**«Полупроводниковая и физическая электроника. Твердотельная электроника.  
Часть 3. Твердотельная электроника»**

### **Контрольная работа (коллоквиум) № 1**

#### **Вариант 1**

1. Элементы зонной теории полупроводников. Переход металл-полупроводник. Диоды с барьером Шоттки.
2. S, Y, Z, h-параметры транзисторов

#### **Вариант 2**

1. Вольтамперные характеристики диодов. Конструкция СВЧ диодов. Эквивалентная схема. Нелинейные свойства. Выпрямляющие свойства.
2. Полевой транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT).

#### **Вариант 3**

1. Смесители СВЧ сигналов. Небалансные смесители.
2. Гетеробиполярный транзистор (HBT).

#### **Вариант 4**

1. Балансные смесители.
2. Биполярный СВЧ транзистор, устройство, принцип действия, энергетическая диаграмма.

**Вариант 5**

1. p-i-n диод. Принцип действия. Эквивалентная схема. Зависимость сопротивления p-i-n диода от прямого тока.
2. Полевой транзистор с барьером Шоттки (MESFET). Принцип действия. Длина затвора. Топология. Вольтамперная характеристика ПТШ на постоянном токе.

**Вариант 6**

1. Переключатели на p-i-n диодах.
2. Твердотельные приборы СВЧ и их классификация. Материалы твердотельной электроники СВЧ.

**Контрольная работа (коллоквиум) № 2****Вариант 1**

1. Определение коэффициента усиления. Двухпортовая схема усилителя.
2. Топология и эквивалентная схема монолитного малошумящего усилителя на ПТШ

**Вариант 2**

1. Согласование четырехполюсника.
2. Топология балансного усилителя на микрополосковых линиях

**Вариант 3**

1. Устойчивость усилителя. Области устойчивости.
2. Балансный усилитель

**Вариант 4**

1. Критерии безусловной устойчивости.
2. Определения коэффициентов усиления транзисторов: фактический КУ, номинальный КУ, реализуемый КУ.

**Вариант 5**

1. Однокаскадный усилитель
2. К-Δ тест устойчивости усилителей, μ - тест устойчивости усилителей - формулировка и пояснение

**Вариант 6**

1. Малошумящие конструкции усилителей.
2. Балансный усилитель

**Вариант 7**

1. Широкополосные конструкции усилителей. Балансный усилитель.
2. К-Δ тест устойчивости усилителей, μ - тест устойчивости усилителей - формулировка и пояснение

**Вариант 8**

1. Распределенные усилители.
2. К-Δ тест устойчивости усилителей, μ - тест устойчивости усилителей - формулировка и пояснение

**Вариант 9**

1. Дифференциальные усилители.

2. Двухпортовая схема усилителя с произвольными сопротивлениями источника и нагрузки - пояснить физический смысл

#### Вариант 10

1. Усилители мощности. Характеристики усилителей мощности.
2. К-Δ тест устойчивости усилителей, μ - тест устойчивости усилителей - формулировка и пояснение

#### Вариант 11

1. Классы усилителей. Разработка усилителей класса А
2. Балансный усилитель

#### Вариант 12

1. Согласование четырехполюсника.
2. Топология балансного усилителя на микрополосковых линиях

#### Вариант 13

1. Определение коэффициента усиления. Двухпортовая схема усилителя.
2. Топология и эквивалентная схема монолитного малошумящего усилителя на ПТШ

#### Вариант 14

1. Устойчивость усилителя. Области устойчивости.
2. Балансный усилитель

#### Вариант 15

1. Критерии безусловной устойчивости.
2. Определения коэффициентов усиления транзисторов: фактический КУ, номинальный КУ, реализуемый КУ.

#### Вариант 16

1. Малошумящие конструкции усилителей.
2. Балансный усилитель

#### Вариант 17

1. Широкополосные конструкции усилителей. Балансный усилитель.
2. К-Δ тест устойчивости усилителей, μ - тест устойчивости усилителей - формулировка и пояснение

#### Критерии оценки:

Для оценивания результатов контрольной работы возможно использовать следующие критерии оценивания: правильность ответа.

Оценка проводится по балльной системе. Правильный ответ на вопрос тестового задания равен 1 баллу. Общее количество баллов по тесту равняется количеству вопросов.

Общее количество вопросов принимается за 100%, оценка выставляется по значению соотношения правильных ответов к общему количеству вопросов в процентах.

Для пересчета оценки в традиционную систему используется таблица соответствия:

Границы в процентах	Традиционная оценка
85-100%	5 – Отлично или зачтено
71-84%	4 – Хорошо или зачтено
60-70%	3 – Удовлетворительно или зачтено
0-59%	2 – не удовлетворительно или не зачтено