

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Твердотельная микро- и нанoeлектроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СВЧ ТЕХНИКА И ПРИБОРЫ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>1 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>1 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>1 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>1 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1 семестр - 129,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Лабораторная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>1 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

(подпись)

Д.А. Зезин

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8c

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Цель освоения дисциплины заключается в изучении разновидностей полупроводниковых приборов, работающих с сигналами СВЧ-диапазона, их принципа действия, основных параметров и характеристик, области применения.

### Задачи дисциплины

- изучение физических основ функционирования полупроводниковых СВЧ-приборов;
- изучение методов проектирования СВЧ-приборов и расчета их характеристик..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники	знать: - особенности СВЧ-диапазона, особенности передачи СВЧ-сигналов по линиям;; - принципы работы, физические и математические модели основных полупроводниковых приборов, работающих в СВЧ-диапазоне;.  уметь: - измерять основные параметры волноводных линий;; - измерять основные параметры СВЧ - резонаторов;; - измерять основные параметры лавинно-пролётных диодов;; - измерять основные параметры диодов Ганна;.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Твердотельная микро- и наноэлектроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Введение	28	1	4	8	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1] стр. 19 - 24. [2] стр. 18 – 26, 145, 166 - 200. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 19 - 24 [2], стр. 18 – 26, 145, 166 - 200	
1.1	Введение	28		4	8	-	-	-	-	-	-	16	-		
2	Полупроводниковые СВЧ-диоды.	28		4	8	-	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [2] стр. 34- 48. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 34 – 48 [3], с. 12-25
2.1	Полупроводниковые СВЧ-диоды.	28		4	8	-	-	-	-	-	-	-	16	-	
3	Полупроводниковые биполярные СВЧ-транзисторы.	22		6	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1] стр. 133 - 207 [2] стр. 108 – 110. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 133 - 207 [2], стр. 108 – 110 [3], с. 26-50
3.1	Полупроводниковые биполярные СВЧ-транзисторы.	22		6	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	
4	Полупроводниковые полевые СВЧ-транзисторы.	24		8	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [2] стр. 88 – 105. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 88 – 105 [3], с. 51-60
4.1	Полупроводниковые полевые СВЧ-транзисторы.	24		8	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	
5	СВЧ – интегральные схемы.	24		8	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1] стр. 217 - 266. [2] стр. 144 - 158. <b><u>Изучение материалов литературных</u></b>
5.1	СВЧ – интегральные	24		8	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	

	схемы.												<b>источников:</b> [1], стр. 217 - 266 [2], стр. 144 - 158
6	Специальные полупроводниковые СВЧ-приборы.	18	2	-	-	-	-	-	-	-	16	-	<b>Подготовка к аудиторным занятиям:</b> [2] стр. 346 - 360. <b>Изучение материалов литературных источников:</b>
6.1	Специальные полупроводниковые СВЧ-приборы.	18	2	-	-	-	-	-	-	-	16	-	[2], стр. 346 - 360
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	-	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>96</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	-	<b>2</b>	-	-	-	<b>0.5</b>	<b>129.5</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Введение

#### 1.1. Введение

СВЧ – диапазон (определение, области применения, достоинства диапазона). Основные требования к приборам для СВЧ-диапазона. Передача энергии по линиям СВЧ-диапазона, бездисперсные волны первого класса, волны с дисперсией второго и третьего класса, критическая длина волны. Прямоугольный волновод, микрополосковая линия, экранирование микрополосковой линии, щелевая и компланарная линии, металло-диэлектрические волноводы. Токи и напряжения в СВЧ – линиях, характеристическое (волновое) сопротивление линии, отражение на стыках линий, потери в линиях. Неоднородности в линиях СВЧ, КЗ и ХХ в линиях СВЧ. Согласование линий СВЧ. Резонансные неоднородности, индуктивности и ёмкости в СВЧ-диапазоне, круговая диаграмма. Четвертьволновой трансформатор. Направленный ответвитель на микрополосковой линии. Цилиндрический полый резонатор, резонатор на микрополосковой линии..

### 2. Полупроводниковые СВЧ-диоды.

#### 2.1. Полупроводниковые СВЧ-диоды.

СВЧ-диоды с переменной ёмкостью (параметрический диод, варактор, варикап). Смесительные диоды (обращённый диод, точно контактный диод, диод с барьером Шоттки). Детекторные диоды в режиме слабого сигнала, в режиме большого сигнала, детектирование сигнала с частотной модуляцией. Переключательный диод с рin-структурой. Ограничительный СВЧ-диод. Туннельный и обращённый диоды в СВЧ-диапазоне. Лавинно-пролетные диоды. Диод Ганна..

### 3. Полупроводниковые биполярные СВЧ-транзисторы.

#### 3.1. Полупроводниковые биполярные СВЧ-транзисторы.

Зависимость коэффициента усиления по току от частоты биполярного транзистора в СВЧ-диапазоне. S-параметры биполярного транзистора. Многоэмиттерные СВЧ-транзисторы. Особенности схем включения «общий эмиттер» и «общая база» в СВЧ-диапазоне. Соединение нескольких биполярных транзисторов при работе в СВЧ-диапазоне. Горячие носители в сильном электрическом поле. Биполярный гетеротранзистор с двумерным СВЧ-газом (ГБТ / НЕМТ) на основе Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As/GaAs. ГБТ на основе нитридов III группы. Транзисторы на SiC..

### 4. Полупроводниковые полевые СВЧ-транзисторы.

#### 4.1. Полупроводниковые полевые СВЧ-транзисторы.

S-параметры полевого транзистора, S'-параметры. Полевые транзисторы с барьером Шоттки (ПТШ), двухзатворные СВЧ-транзисторы. Зависимость S-параметров от смещения. Схема включения ПТШ «общий затвор». Полевой гетеротранзистор с двумерным СВЧ-газом (ГПТ / НЕМТ). Шумовые характеристики ГПТ. Устойчивость усилителей на ГПТ..

### 5. СВЧ – интегральные схемы.

#### 5.1. СВЧ – интегральные схемы.

Особенности конструирования СВЧ-полупроводниковых интегральных схем (ИС), электромагнитная совместимость компонентов. Подложки для широкозонных

полупроводниковых гетероструктур. Получение гетероструктур на основе нитрида галлия на подложках карбида кремния. Особенности технологии изготовления кристаллов НЕМТ. Базовая технология создания СВЧ ИС на широкозонных гетероэпитаксиальных структурах (на основе GaN / SiC). Многослойные интегральные схемы..

#### 6. Специальные полупроводниковые СВЧ-приборы.

##### 6.1. Специальные полупроводниковые СВЧ-приборы.

Двухдиффузные МОП-структуры (LDMOS). Малошумящие СВЧ-транзисторы. Твердотельные СВЧ модули усилителей мощности на нитрид-галлиевых СВЧ транзисторах X-диапазона. Приемопередающие модули Р-, S- и X-диапазонов..

#### **3.3. Темы практических занятий**

не предусмотрено

#### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Волноводная измерительная линия;
2. Лавинно – пролётный диод;
3. Полый резонатор;
4. Диод Ганна.

#### **3.5 Консультации**

#### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)						Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	
<b>Знать:</b>								
принципы работы, физические и математические модели основных полупроводниковых приборов, работающих в СВЧ-диапазоне;	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>			+	+	+	+	Контрольная работа/КМ-2. Контрольная работа №2
особенности СВЧ-диапазона, особенности передачи СВЧ-сигналов по линиям;	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+	+					Контрольная работа/КМ -1. Контрольная работа №1
<b>Уметь:</b>								
измерять основные параметры диодов Ганна;	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>		+					Лабораторная работа/КМ-5. Лабораторная работа №3
измерять основные параметры лавинно-пролётных диодов;	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>		+					Лабораторная работа/КМ-4. Лабораторная работа №2
измерять основные параметры СВЧ - резонаторов;	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+						Лабораторная работа/КМ-6. Лабораторная работа №4
измерять основные параметры волноводных линий;	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+						Лабораторная работа/КМ-3. Лабораторная работа №1



## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**1 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. КМ-3. Лабораторная работа №1 (Лабораторная работа)
2. КМ-4. Лабораторная работа №2 (Лабораторная работа)
3. КМ-5. Лабораторная работа №3 (Лабораторная работа)
4. КМ-6. Лабораторная работа №4 (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ -1. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
2. КМ-2. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №1)

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

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

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Васильев, А. Г. СВЧ транзисторы на широкозонных полупроводниках : учебное пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и наноэлектроника" / А. Г. Васильев, Ю. В. Колковский, Ю. А. Концевой . – М. : Техносфера, 2011 . – 256 с. - ISBN 978-5-94836-290-8 .;
2. Сечи, Ф. Мощные твердотельные СВЧ-усилители : пер. с англ. / Ф. Сечи, М. Буджатти . – М. : Техносфера, 2016 . – 416 с. – (Мир радиоэлектроники) . - ISBN 978-5-94836-415-5 .;
3. М.Г. Петрушанский- "Электронные приборы СВЧ", Издательство: "ОГУ", Оренбург, 2017 - (107 с.)  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485372>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. ОС Linux.

### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-610, Учебная лаборатория "Техника и приборы СВЧ" каф. "ЭиН"	кресло рабочее, стеллаж, стеллаж для хранения книг, стол преподавателя, стул, шкаф, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки звуковые, лабораторный стенд, оборудование для экспериментов, оборудование общего пользования, оборудование специализированное, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный, книги, учебники, пособия
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-108а, Учебная лаборатория по курсам: «Техника СВЧ»; «Полупроводниковые приборы СВЧ» (с 2017/18 гг)	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, кондиционер
	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	К-115, Склад каф. "ЭиН"	стеллаж, инвентарь учебный

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## СВЧ техника и приборы

(название дисциплины)

## 1 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 КМ -1. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)  
 КМ-2 КМ-2. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)  
 КМ-3 КМ-3. Лабораторная работа №1 (Лабораторная работа)  
 КМ-4 КМ-4. Лабораторная работа №2 (Лабораторная работа)  
 КМ-5 КМ-5. Лабораторная работа №3 (Лабораторная работа)  
 КМ-6 КМ-6. Лабораторная работа №4 (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	15	8	10	12	12
1	Введение							
1.1	Введение		+		+			+
2	Полупроводниковые СВЧ-диоды.							
2.1	Полупроводниковые СВЧ-диоды.		+			+	+	
3	Полупроводниковые биполярные СВЧ-транзисторы.							
3.1	Полупроводниковые биполярные СВЧ-транзисторы.			+				
4	Полупроводниковые полевые СВЧ-транзисторы.							
4.1	Полупроводниковые полевые СВЧ-транзисторы.			+				
5	СВЧ – интегральные схемы.							
5.1	СВЧ – интегральные схемы.			+				
6	Специальные полупроводниковые СВЧ-приборы.							
6.1	Специальные полупроводниковые СВЧ-приборы.			+				
Вес КМ, %:			30	30	10	10	10	10