

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИМА

Баева Л. С.

Ф.И.О.

подпись

«23» января 2019 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**Дисциплина**

**Б1.В.ДВ.02.02 Физические основы электроники  
сверхвысоких частот и квантовой электроники**

код и наименование дисциплины

**Направление подготовки/специальность**

**11.05.01 Радиоэлектронные системы и**

код и наименование направления подготовки /специальности

**комплексы**

**Направленность/специализация**

**специализация №2 "Радиоэлектронные системы передачи  
наименование направленности (профиля) /специализации образовательной программы**

**информации"**

**Квалификация выпускника**

**специалист**

указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО

**Кафедра-разработчик**

**Радиоэлектронных систем и транспортного радиооборудования**

наименование кафедры-разработчика рабочей программы

Мурманск  
2019

**Лист согласования**

1 Разработчик(и)

Часть 1	Должность Доцент	РЭС и ТРО кафедра	Подпись <i>M. Bond</i>	Ф.И.О. Волков М.А
Часть 2	должность	кафедра	подпись	Ф.И.О.
Часть 3	должность	кафедра	подпись	Ф.И.О.

2. Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры-разработчика рабочей программы

Радиоэлектронных систем и транспортного радиооборудования 23.01.2019 г.  
наименование кафедры дата

протокол № 8 (дата, подпись) *Л.Ф. Борисова* Борисова Л.Ф.  
Ф.И.О. заведующего кафедры – разработчика

3<sup>1</sup>. Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с выпускающей кафедрой по направлению под-  
готовки /специальности.

Заведующий выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_  
наименование кафедры

\_\_\_\_\_ дата подпись Ф.И.О.

<sup>1</sup> Если кафедра-разработчик является выпускающей, то пункт не заполняется.

### Лист изменений и дополнений, вносимых в РП

к рабочей программе по дисциплине (модулю), входящей в состав ОПОП по направлению подготовки/специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, направленности (профилю)/специализации Радиоэлектронные системы передачи информации, 2019 года начала подготовки.

Таблица 1 Изменения и дополнения

№ п/п	Дополнение или изменение, вносимое в рабочую программу в части	Содержание дополнения или изменения	Основание для внесения дополнения или изменения	Дата внесения дополнения или изменения
1	Титульного листа			
2	Листа утверждений	РП переутверждена на 20/21 уч.г. РП переутверждена на 21/22 уч.г.	Протокол заседания кафедры № 2 от 05.10.2020 Протокол заседания кафедры № 2 от 13.09.2021	
3	Структуры учебной дисциплины (модуля)			
4	Содержания учебной дисциплины (модуля)			
5	Методического обеспечения дисциплины (модуля)			
6	Структуры и содержания ФОС			
7	Рекомендуемой литературы			
8	Перечня интернет ресурсов (ЭБС)			
9	Перечня лицензионного программного обеспечения, профессиональных баз данных и информационных справочных систем			
10	Перечня МТО			

Дополнения и изменения внесены « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ г

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Коды циклов дисциплин, модулей, практик	Название циклов, разделов, дисциплин, модулей, практик	Краткое содержание (Цель, задачи, содержание разделов дисциплины, реализуемые компетенции, формы промежуточного контроля, формы отчетности)
1	2	3
Б1.В. ДВ.02.02	Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники	<p><b>Цель дисциплины:</b> Подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой специалиста и рабочим учебным планом специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.</p> <p><b>Задачи дисциплины:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- изучить основы теории твердого тела;</li> <li>- изучить основы физики полупроводников, позволяющие оценивать работу полупроводниковых приборов;</li> <li>- научить пользоваться современными средствами исследования процессов в полупроводниковых приборах.</li> </ul> <p><b>В результате изучения дисциплины обучающийся должен:</b></p> <p><b>Знать:</b> основные положения современной физики твердого тела, зонной теории, физики полупроводниковых материалов, контактные явления в полупроводниках p-n – переходы, гетеропереходы, переходы Шоттки, применение их в электронных приборах, функциональные свойства приборов и их основные параметры, принципы действия их типы и основные конструктивные и эксплуатационные характеристики, области применения.</p> <p><b>Уметь:</b> применять теорию физики твердого тела при составлении математических моделей электронных приборов и применять соответствующие методы расчетов к анализу параметров электронных приборов с использованием средств компьютерного проектирования.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками экспериментального исследования антенных полупроводниковых электронных приборов, методами автоматизации измерений.</p> <p><b>Содержание основных разделов дисциплины:</b></p> <p>Раздел 1. Введение Понятие о квантовой физике.</p> <p>Раздел 2. Основы зонной теории твердых тел.</p> <p>Раздел 3. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми</p> <p>Раздел 4. Концентрация электронов и дырок в собственном и примесном полупроводниках.</p> <p>Раздел 5. Контактные явления в полупроводниках. p-n переход.</p> <p>Раздел 6. Переход Шоттки. Гетеропереходы</p> <p>Раздел 7. Полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, МДП- структуры, полевые транзисторы</p> <p>Раздел 8. . Сверхъяркие светодиоды. Фотодиоды. Солнечные батареи. Полупроводниковые лазеры.</p> <p>Раздел 9. Транзисторы СВЧ.</p> <p><b>Реализуемые компетенции:</b> <b>ФГОС</b></p>

		ПК-3 Профстандарт 06.005 Инженер-радиоэлектронщик <b>Формы отчетности:</b> Семестр 4 –зачет, РГР.
--	--	--

## Пояснительная записка

1. Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», утвержденного 09.02.2018, приказ № 94, профессионального стандарта 06.005 «Инженер-радиоэлектронщик», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19.05.2014 № 315н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 09.06.2014 № 32622), с изменениями, внесенными приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12.12.2016 № 727н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 13.01.2017 № 45230), учебного плана в составе ОПОП по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», специализации Радиоэлектронные системы передачи информации, 2019 года начала подготовки, , утвержденного Ученым советом ФГБОУ ВО «МГТУ» (протокол № 7 от 28.02.2019 г).

2. **Цели и задачи учебной дисциплины «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники»** является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой специалиста и рабочим учебным планом специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

**Задачи:**

- ознакомить с основными направлениями развития науки и техники в области физики твердого тела;
- информировать обучающихся об современных полупроводниковых приборах, их структуре, задачах и функциях;

**3. Планируемые результаты обучения в рамках данной дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и профессиональным стандартом 06.005 «Инженер-радиоэлектронщик»:

**Таблица 3.1. – Компетенции ФГОС ВО, формируемые дисциплиной «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники»**

№ п/п	Код и содержание компетенции	Степень реализации компетенции	Этапы формирования компетенции (Индикаторы сформированности компетенций) <sup>3</sup>
1	ПК-3 Способен к реализации программ экспериментальных исследований, в том числе в режиме удаленного доступа, включая выбор технических средств, обработку результатов и оценку погрешности экспериментальных данных	Компетенция реализуется в части реализации экспериментальных исследований включая обработку результатов и оценку погрешности экспериментальных данных	ПК-3.1 <b>Знать</b> принципы планирования экспериментальных исследований. ПК-3.2 <b>Уметь</b> обосновывать программу эксперимента, обрабатывать результаты эксперимента, оценивать погрешности экспериментальных данных. ПК-3.3 <b>Владеть</b> техникой проведения экспериментальных исследований.

<sup>3</sup> Для ФГОС ВО 3-1

**Таблица 3.2. - Обобщённые трудовые функции профессионального стандарта 06.005 «Инженер-радиоэлектронщик», формируемые дисциплиной «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники»**

№ п/п	Вид деятельности	Трудовая функция из ПС, на основе которой сформулирован индикатор (дескриптор)	Обобщенная трудовая функция
1.	<b>Научно-исследовательский</b>	Анализ научно-технической проблемы на основе подбора и изучения литературных и патентных источников	Проведение исследований в целях совершенствования радиоэлектронных средств и радиоэлектронных систем различного назначения
		Математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств и систем с целью оптимизации (улучшения) их параметров	Проведение исследований в целях совершенствования радиоэлектронных средств и радиоэлектронных систем различного назначения
2.	<b>Эксплуатационный</b>	Наладка, настройка, регулировка и испытания радиоэлектронных средств и оборудования	Производство, внедрение и эксплуатация радиоэлектронных средств и радиоэлектронных систем различного назначения

#### 4. Структура и содержание учебной дисциплины (модуля)

**Таблица 3<sup>4</sup> - Распределение учебного времени дисциплины**  
**Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 часа.**

Вид учебной нагрузки <sup>5</sup>	Распределение трудоемкости дисциплины			
	Очная			Всего часов
	Семестр			
	4			
<b>Аудиторные часы</b>				
Лекции	18			18
Практические работы	-			-
Лабораторные работы	18			18
<b>Часы на самостоятельную и контактную работу</b>				
Выполнение, консультирование, защита курсовой работы (проекта) <sup>6</sup>				
Прочая самостоятельная и контактная работа	36			36
Подготовка к промежуточной аттестации <sup>7</sup>				
<b>Всего часов по дисциплине</b>	<b>72</b>			<b>72</b>

<sup>4</sup> Разработчикам РП можно убирать столбцы с формами обучения, если данная форма не реализуется в МГТУ

<sup>5</sup> При отсутствии вида учебной нагрузки ставить прочерк в соответствующей ячейке

<sup>6</sup> Контактная работа при выполнении курсовой работы (проекта) - 2 а.ч. (3 а.ч.) соответственно. Конкретный объем часов на выполнение курсовой работы (проекта) определяет разработчик

<sup>7</sup> Для экзамена очной и очно-заочной формы обучения - 36 часов, для экзамена заочной формы обучения - 9 часов, для зачета заочной формы обучения - 4 часа.

Формы промежуточной аттестации и текущего контроля				
Экзамен				
Зачет/зачет с оценкой	+			+
Курсовая работа (проект)				
Количество расчетно-графических работ	1			1
Количество контрольных работ				
Количество рефератов				
Количество эссе				

Таблица 4<sup>8</sup>. - Содержание разделов дисциплины (модуля), виды работы

№ п/п	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной работы			
		Очная			
		Л	ПР	ЛР	СР
1.	Введение. Понятие о квантовой физике.	1		2	4
2.	Основы зонной теории твердых тел.	1		2	4
3.	Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение квантовых состояний в зонах. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми.	1		2	4
4.	Концентрация электронов и дырок в собственном и примесном полупроводниках.	1		2	4
5.	Контактные явления в полупроводниках	2		2	4
6.	Барьер Шоттки. Понятие о гетеропереходе.	2		2	2
7.	Полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, МДП-структуры, полевые транзисторы.	2		2	2
8.	Использование гетеропереходов в диодах.	2		2	2
9.	Транзисторы СВЧ. Биполярные транзисторы с использованием гетеропереходов.	2		2	2
10.	<b>Транзисторы СВЧ.</b> Биполярные транзисторы с использованием гетеропереходов.	1			2
11.	Полевые транзисторы с управляющим переходом Шоттки.	1			2
12.	Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале. (HEMT). Формирование канала с высокой подвижностью электронов при помощи гетероперехода.	1			2
13.	GaAs полевой транзистор с барьером Шоттки. GaN полевой транзистор с барьером Шоттки Интегральные микросхемы СВЧ.	1			2
	<b>Итого по дисциплине</b>	<b>18</b>		<b>18</b>	<b>36</b>

<sup>8</sup> Разработчикам РИ можно убирать столбцы с формами обучения, если данная форма не реализуется в МПТУ



**Таблица 5. - Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий с учетом форм контроля**

Перечень компетенций	Виды занятий и оценочные средства <sup>9</sup>				Формы контроля
	Л	ЛР	РГР	СР	
ПК-3	+	+	+	+	Конспект лекций, отчет по практической работе, РГР

Примечание: Л – лекции, ЛР – лабораторные работы, СР – самостоятельная работа, РГР – расчетно-графическая работа

**Таблица 6. - Перечень лабораторных работ**

№ п\п	Лабораторные работы	Кол-во часов
1	2	3
1.	Исследование вольт-амперной характеристики полупроводниковых диодов	4
2.	Исследование вольт-амперной характеристики транзисторов различных видов	5
3.	Исследование разброса параметров серии биполярных транзисторов	5
4.	Исследование характеристик сверхъяркого светодиода	4
	<b>Итого</b>	<b>18</b>

**Таблица 7. - Перечень практических работ**

№ п\п	Практические работы	Кол-во часов
1	2	3
	Не предусмотрены учебным планом	

## **5. Перечень примерных тем расчетно-графической работы**

РГР № 1. Решение задач по физике твердого тела.

## **6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине<sup>10\*</sup>**

1. Гурин А.В. Практикум по дисциплине «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантово электроники» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», всех форм обучения– Мурманск, издательство МГТУ. [электронное издание]

## **7. Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств является компонентом ОП, разрабатывается в форме отдельного документа и включает в себя критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования и процедуры оценивания.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

<sup>9</sup> Оценочные средства указываются в соответствии с учебным планом

### **Основная литература**

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника : Учеб. пособие – 3-е издание., доп. Москва: Техносфера 2008. – 512 с.
2. Гуртов В.А. Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров : Учеб. пособие – 2-е издание., доп. Москва: Техносфера 2012. – 560 с.
3. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко; науч. ред. Л. А. Алешина. - Москва : Техносфера, 2007. - 518, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 505-510.
4. Электронные приборы : учеб. пособие для вузов / Г. Г. Червяков, С. Г. Прохоров, О. В. Шиндор. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2012. - 333, [1] с. : ил. - (Серия "Высшее образование"). - Библиогр.: с. 329-331.
5. Твердотельная фотоэлектроника: физические основы : учеб. пособие для вузов / А. М. Филачёв, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Москва : Физматкнига, 2007. - 381, [2] с. : ил. - Библиогр.: с. 379-381.
6. Основы физики полупроводников / Ю. Питер, М. Кардона; под ред. Б. П. Захарчени ; пер. с англ. И. И. Решиной. - 3-е изд. - Москва : Физматлит, 2002. - 560 с.
7. Зиненко, В. И. Основы физики твердого тела : учеб. пособие для вузов / В. И. Зиненко, Б. П. Сорокин, П. П. Турчин. - Москва : Физматлит, 2001. - 336 с.
8. Садченков, Д. А. Маркировка радиодеталей отечественных и зарубежных : справ. пособие / Д. А. Садченков. - Москва : Солон-Р, 2000. - 212 с. : ил.
9. Власов, А. Б. Физические основы электронной техники : учеб. пособие для курсантов (студентов) всех форм обучения. В 2 ч. Ч. 1. Физика полупроводников / А. Б. Власов; МГАРФ. - Мурманск, 1994. - 143 с. : ил.

### **Дополнительная литература**

1. Покровский Ф.Н. Материалы и компоненты радиоэлектронных средств : Учеб.пособие для вузов / М-во образования РФ. 2-е изд. - М. : Горячая линия – телеком, 2016. - 350 с. : ил.
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс) : Учеб.пособие для вузов / М-во образования РФ. Под ред. О.П.Глудкина 2-е изд. - М.: Горячая линия – телеком, 2017. - 768 с. : ил.
3. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. Основы полупроводниковой электроники. : Учеб.пособие для вузов / М-во образования РФ. - М.: Горячая линия – телеком, 2015. - 394 с. : ил.
4. Соколов С.В., Титов Е.В. Электроника. : Учеб.пособие для вузов / М-во образования РФ. - М.: Горячая линия – телеком, 2013. - 204 с. : ил.
5. Твердотельная фотоэлектроника: фоторезисторы и фотоприемные устройства : учеб. пособие для вузов / А. М. Филачёв, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - Москва : Физматкнига, 2012. - 363, [2] с. : ил. - Библиогр.: с. 362-363.

### **9. Перечень ресурсов информационно - телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины \***

1. Электронно-библиотечная система ЭБС - <http://www.rucont.ru/>
2. ЭБС издательства "ЛАНЬ" - <http://e.lanbook.com>
3. ЭБС BOOK.ru - <http://book.ru/>
4. ЭБС eLIBRARY.RU
5. Информационная система доступа к российским научно-техническим журналам и обзорам ВИНТИ – <http://www.viniti.ru>
6. ЭБС ibooks.ru - <http://ibooks.ru/>
7. ЭБС znanium.com издательства "ИНФРА-М" - <http://www.znanium.com>
8. ЭБС НИТУ "МИСиС" - <http://lib.misis.ru/registr.html>

## 10. Перечень программного обеспечения, профессиональных баз данных и информационных справочных систем, реквизиты подтверждающего документа.

1 Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian Academic OPEN, лицензия № 44335756 от 29.07.2008 (договор №32/379 от 14.07.08 г.)

2. Офисный пакет Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN, лицензия № 45676388 от 08.07.2009 (договор 32/224 от 14.0.2009 г.)

3 Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian Academic OPEN, лицензия № 44335756 от 29.07.2008

---

## 11. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Таблица 8. - Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	511 бВ: "Лаборатория радионавигационных систем" Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.	511 бВ: Количество столов - 10 Количество стульев - 20 Посадочных мест - 20 Доска аудиторная - 1
2	510 В «Лаборатория технической защиты информации» Специальное помещение для проведения лабораторных работ, практических занятий.	510В Количество столов - 3 Количество стульев - 7 Посадочных мест - 7  ПК - 1 шт., учебный макет испытателя маломощных транзисторов и диодов Л2-54, - 2 шт.
3	227 В Специальное помещение для самостоятельной работы	Укомплектовано специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории - персональные компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета – 6 шт.; - копировальный аппарат XEROX CopyCentre C118 – 1 шт.; - принтер HP LJ Pro P1566 – 2 шт.; - сканер EPSON Perfection V10 – 1 шт.

**Таблица 9. - Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации (промежуточная аттестация – «зачет»)**

№ п/п	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (неделя сдачи)
		min	max	
<b>Текущий контроль</b>				
1	Посещение лекций (9 лекции- 18 ч.)	18	28	1-17 недели
	Нет посещений (меньше 3 лекций) – 0 баллов, (10 лекций), 55% - 18 баллов; (6 лекций) 66% - 20 баллов; (9 лекции) 100 % - 28 баллов			
2	Выполнение лабораторных работ (9 практ.-18 ч.)	18	36	По расписанию
	Выполнение одной лаб/зан. – 4 балла, не в срок – 2 балла (выполнение фиксируется преподавателем)			
3	Выполнение ргр	24	36	
	<b>ИТОГО за работу в семестре</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	16- неделя
	<b>ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	Сессия
	<p><b>Промежуточная аттестация «зачет».</b>                      Если обучающийся набрал зачетное количество баллов 60 согласно установленному диапазону по дисциплине с зачетом, то он считается аттестованным с итоговой оценкой «зачтено».  <b>Итоговая оценка</b> проставляется в экзаменационную ведомость и зачетную книжку обучающегося</p>			
	<b>ИТОГО за дисциплину</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	

**Таблица 10 - Ведомость для фиксирования результатов текущего контроля (промежуточная аттестация – зачёт)**

(заполняется преподавателем в последний рабочий день месяца)

ФИО	Количество баллов					
	Посещени е лекций	Выполнени е л/р	Выполнени с п/р	Защита л/р	Контр. точки	Итого