

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.03.02 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 подготовки /специальности. под-

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, входящей в состав ОПОП по направлению специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, специализации №2 Радиоэлектронные системы передачи информации, 2017 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			
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 по дисциплине

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	Дисциплины	
Б1.В.ДВ.03.02	Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники	<p><b>Цель дисциплины:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирование компетенций в области профессиональной деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой специалиста и учебным планом для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».</li> </ul> <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 студент 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. р-п 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 ВО</b>  ОПК-7; ПК-9</p> <p><b>Формы отчетности:</b>  курс 2 – зачет, контрольная работа</p>
--	--	--

## Пояснительная записка

1. Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки/ специальности 11.05.01 "Радиоэлектронные системы и комплексы",  
(код и наименование направления подготовки /специальности)

утвержденного №1031 от 11.08.2016, учебного плана  
дата, номер приказа Минобрнауки РФ

в составе ОПОП по направлению подготовки/специальности 11.05.01 "Радиоэлектронные системы и комплексы", направленности специализации "Радиоэлектронные системы передачи информации", 2017 года начала подготовки.

### 2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля)

**Целью дисциплины (модуля)** «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники.» является формирование компетенций в эксплуатационно-технической и научно-исследовательской областях профессиональной деятельности, в соответствии с квалификационной характеристикой специалиста и учебным планом для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

#### Задачи дисциплины:

- 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. Требования к уровню подготовки специалиста в рамках данной дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»:

**Таблица 1 – Компетенции, формируемые дисциплиной «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники»**

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1	ОПК – 7 способность владеть методами решения задач анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей	Компоненты компетенции полностью соотносятся с содержанием дисциплины.	<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. <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. <b>Владеть:</b> навыками экспериментального исследования антенных полупроводниковых электронных приборов, методами автоматизации измерений.
2	ПК – 9 способность изучать и использовать специальную литературу и другую научно-техническую информацию, отражающую достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области радиотехники	Компоненты компетенции частично соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется в части «восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижению».	<b>знать:</b> - нормативные документы в своей деятельности; - основные характеристики различных электронных приборов; <b>уметь:</b> - использовать нормативные документы в своей деятельности; - выделять основные по важности характеристики полупроводниковых приборов. <b>владеть:</b> - навыками использования нормативных документов в своей деятельности. - навыками использования фирменной документации на электронные приборы

#### 4. Структура и содержание учебной дисциплины «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники.»

Таблица 2 - Распределение учебного времени дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Вид учебной нагрузки	Распределение трудоемкости дисциплины по формам обучения			
	Заочная			Всего часов
	Семестр/Курс			
	2			
Лекции	4			4
Практические работы	-			-
Лабораторные работы	4			4

Самостоятельная работа	60			60
Подготовка и сдача экзамена (контроль)	4			4
Всего часов по дисциплине	72			72
Формы промежуточного и текущего контроля				
Экзамен	-			-
Зачет	+			+
Курсовая работа (проект)	-			-
Количество расчетно-графических работ	-			-
Количество контрольных работ	1			1
Количество рефератов	-			-
Количество эссе	-			-

**Таблица 3 - Содержание разделов дисциплины «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники», виды работы**

**2 курс**

№ п/п	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки			
		Заочная			
		Лек	ПР	ЛР	СР
1	2	3	4	5	6
1.	Введение. Понятие о квантовой физике. Основные проблемы классической теории при описании атомов. Понятие о потенциальных полях. Понятие о квантовом осцилляторе.				5
2.	Терминология и основные понятия. Основы зонной теории твердых тел. Понятие о проводимости и теплосмкости твердых тел.	1			5
3.	Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение квантовых состояний в зонах. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми.	1			5
4.	Концентрация электронов и дырок в собственном и примесном полупроводниках. Определение положения уровня Ферми. Проводимость полупроводников. Токи в полупроводниках. Уравнение непрерывности				5
5.	Контактные явления в полупроводниках. Термодинамическая работа выхода в полупроводниках p и n типов. Электронно-дырочный p-n переход. Распределение свободных носителей в p-n переходе. Поле и потенциал в p-n переходе. Вольт-амперная характеристика p-n перехода.	1			5
6.	Барьер Шоттки. Распределение электрического поля в переходе Шоттки. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки. Понятие о гетеропереходе. Понятие о				5



	двумерном электронном газе.				
7.	Полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, МДП-структуры, полевые транзисторы.			2	4
8.	Использование гетеропереходов в диодах. Сверхъяркие светодиоды. Фотодиоды. Солнечные батареи. Полупроводниковые лазеры.				2
9.	Транзисторы СВЧ. Биполярные транзисторы с использованием гетеропереходов. Полевые транзисторы с управляющим переходом Шоттки. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале.	1			2
10.	Транзисторы СВЧ. Сложности увеличения рабочей частоты биполярных транзисторов с р-п переходами. Биполярные транзисторы с использованием гетеропереходов. Полевые транзисторы с управляющим переходом Шоттки. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале.			2	5
11.	Полевые транзисторы на СВЧ диапазоне. МДП транзисторы. Сложности их применения на СВЧ. Полевые транзисторы с управляющим переходом Шоттки.				2
12.	Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале. (НЕМТ). Формирование канала с высокой подвижностью электронов при помощи гетероперехода.				5
13.	GaAs полевой транзистор с барьером Шоттки. GaN полевой транзистор с барьером Шоттки Интегральные микросхемы СВЧ.				5
	<b>Итого</b>	4		4	60

**Таблица 4 - Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины (модуля), и видов занятий с учетом форм контроля ФГОС**

Перечень компетенций	Виды занятий								Формы контроля
	Л	ЛР	ПР	КР/КП	р	к/р	э	СР	
ОПК – 7	+	+	-	+	-	+	-	+	Конспект, защита лабораторных работ, защита контрольной работы, экзамен.
ПК – 9	+	+	-	+	-	+	-	+	Конспект, защита лабораторных работ, защита контрольной работы, экзамен.

Примечание: Л – лекции, ЛР – лабораторные работы, ПР – практические работы, КР/КП – курсовая работа (проект), р – реферат, к/р – контрольная работа, э – эссе, СР – самостоятельная работа

**Таблица 5 - Перечень лабораторных работ**

2 курс

№ п/п	Лабораторные работы	Кол-во часов	№ темы по т. 1
1	2	3	4
1.	Исследование вольт-амперной характеристики полупроводниковых диодов	1	6, 7
2.	Исследование вольт-амперной характеристики транзисторов различных видов	1	6, 7
3.	Исследование разброса параметров серии биполярных транзисторов	1	7
4.	Исследование характеристик сверхъяркого светодиода	1	8
	<b>Итого</b>	4	

**5. Перечень примерных тем контрольной работы****Перечень тем контрольных работ**

№ п/п	Наименование контрольной работы	№ темы по табл.2
1	2	4
1	Решение задач по физике твердого тела.	3

**6. Фонд оценочных средств (является компонентом ОП, разрабатывается в форме отдельного документа) и включает в себя:**

*ФОС входит в состав образовательной программы в качестве самостоятельного документа.*

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники».*****Основная литература***

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника : Учеб. пособие – 3-е издание., доп. Москва: Техносфера 2008. – 512 с.

\*\* Приказ Минобрнауки России от 19.12.2013 № 1367 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программ специалитета, программ магистратуры»

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. Тришенков. - 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. Решинной. - 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. Тришенков. - Москва : Физматкнига, 2012. - 363, [2] с. : ил. - Библиогр.: с. 362-363.

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

1. MS Windows, MS Office 2007 (MS Office Word, MS Office Excel, MS Office Power Point)

---

#### **9. Перечень информационных технологий и лицензионного программного обеспечения, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем\***

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 ibooks.ru - <http://ibooks.ru/>
5. ЭБС znanium.com издательства "ИНФРА-М" - <http://www.znanium.com>

---

\*Перечень лицензионного программного обеспечения в обязательном порядке согласовывать с Управлением информатизации.

**Таблица 6 - Материально-техническое обеспечение дисциплины «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники»**

№ п./п.	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий	Перечень оборудования и технических средств обучения
1.	505 В "Лаборатория электроники" Специальное помещение для проведения лабораторных работ, практических занятий и курсового проектирования.	Количество столов - 6 Количество стульев - 12 Посадочных мест - 12 Доска аудиторная малая - 1 Оборудование: ПК для проведения виртуальных лабораторных и практических работ - 2 шт,
2.	511 бВ: "Лаборатория радионавигационных систем" Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации	Количество столов - 10 Количество стульев - 20 Посадочных мест - 20 Доска аудиторная - 1
3.	510 В «Лаборатория технической защиты информации» Специальное помещение для проведения лабораторных работ, практических занятий.	Количество столов - 3 Количество стульев - 7 Посадочных мест - 7  ПК для измерения ПЭМИН - 1 шт., учебный макет испытателя маломощных транзисторов и диодов Л2-54, - 2 шт.,
4.	213С Специальное помещение для самостоятельной работы	Укомплектовано специализированной мебелью и техническими средствами обучения: – доска аудиторная – 1 шт. – персональные компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета: Intel(R) Core(TM) 2 DUO CPU E7200 2,53 ГГц, 1 Гб ОЗУ – 2 шт.; Intel(R) Pentium(R) CPU G840 2,8 ГГц, 2 Гб ОЗУ – 3 шт.; Intel(R) Celeron(R) CPU 2,8 ГГц, 1 Гб ОЗУ – 1 шт.; Intel(R) Pentium(R) 4CPU 2,8 ГГц, 1,5 Гб ОЗУ – 1 шт.;  Посадочных мест – 11

**Таблица 7 - Технологическая карта дисциплины «Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники»**

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (неделя сдачи)
		min	max	
Текущий контроль				
1	Посещение лекций	25	45	1-18 недели
	Нет посещений – 0 баллов, 56% - 25 баллов; 78% - 35 баллов; 100% - 45 баллов			
2	Выполнение и защита лабораторных работ	20	36	По расписанию
3	Выполнение контрольной работы	15	19	3 - 18 неделя
<b>ИТОГО за работу в семестре</b>		<b>60</b>	<b>100</b>	19- неделя
Промежуточная аттестация «зачет»				
<b>ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>60</b>	<b>100</b>	Зачетная неделя
Если обучающийся набрал зачетное количество баллов согласно установленному диапазону по дисциплине с зачетом, то он считается аттестованным. Итоговая оценка проставляется в экзаменационную ведомость и зачетку обучающегося				
<b>ИТОГО за семестр</b>		<b>60</b>	<b>100</b>	

**Таблица 8 - Ведомость для фиксирования результатов текущего контроля (промежуточная аттестация – зачёт)**

(заполняется преподавателем в последний рабочий день месяца)

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