

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «МГТУ»)

**Методические указания для самостоятельной работы  
при изучении дисциплины (модуля)**

<b>Дисциплина</b>	Б1.В.ДВ.03.02 Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники <small>код, вид, тип и наименование практики по учебному плану</small>
<b>Специальность</b>	11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы <small>код и наименование направления подготовки /специальности</small>
<b>Специализация</b>	Радиоэлектронные системы передачи информации <small>наименование направленности (профиля) /специализации образовательной программы</small>
<b>Разработчики</b>	<u>доцент Гурин А. В, ст. преподаватель Шульженко А.Е.</u>

Мурманск  
2019

Составители:

Гурин Алексей Валентинович, доцент кафедры РЭСиТРО  
Мурманского государственного технического университета  
Шульженко Александр Евгеньевич, старший преподаватель  
кафедры РЭСиТРО Мурманского государственного  
технического университета

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой 17 января  
2018 г., протокол №1

Рецензент: Г.Г. Холодов к.т.н., доцент.

*Электронное издание подготовлено в авторской редакции*

**Мурманский государственный технический университет, 2018**

## Оглавление

Введение.....	4
Тематический план.....	6
Литература.....	7
Содержание и методические указания к изучению тем дисциплины....	8

## Введение

Целью дисциплины является изучение физики электронных процессов в вакууме, твердых телах, на границах раздела сред и принципов построения и работы электронных приборов различного назначения. Это одна из основных теоретических дисциплин специальности, ибо без знания физики работы приборов невозможны сознательные и эффективные подходы к разработке РЭС. Физико-технические основы электроники включают в себя основы физики твердого тела; принципы использования физических эффектов в твердом теле в электронных приборах и устройствах твердотельной электроники; конструкции, параметры, характеристики и методы их моделирования; основные физические процессы, лежащие в основе принципов действия приборов и устройств микроволновой электроники, а также методы их аналитического описания.

- Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

- Самостоятельная работа обучающихся (далее – СРО) в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности обучающегося. СРО играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. Обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой обучающихся.

- К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом СРО играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

- В процессе самостоятельной работы обучающийся приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления, саморефлексии и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

- Формы самостоятельной работы обучающихся разнообразны. Они включают в себя:

- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, патентной, статистической, периодической и научной информации;

- подготовку докладов и рефератов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.
- Самостоятельная работа приобщает обучающихся к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.
- Основной формой самостоятельной работы обучающегося является изучение конспекта лекций, их дополнение, рекомендованной литературы, активное участие на практических и лабораторных занятиях.

## Тематический план

Модуль 1 Основы физики твердого тела

1. Основы зонной теории твердых тел.
2. Основные параметры и свойства полупроводников.
3. Электрические переходы, типы и классификация.

Модуль 2 **Твердотельная электроника**

4. Диоды.
5. Биполярные транзисторы
6. Полевые транзисторы.
7. Современные СВЧ-транзисторы, диоды и лазеры с гетеропереходами.
8. Микроминиатюрные транзисторы в микросхемах

Модуль 3 **Вакуумная и плазменная электроника.**

9. Электронные лампы.
10. Электронные приборы СВЧ.

## Литература

### Основная

1. В.А. Гуртов Твердотельная электроника : Учеб.пособие – 3-е изд., доп. Москва: Техносфера 2008. – 512 с.
2. А.Б.Власов, Физические основы электронной техники, часть 1 “Физика полупроводников”, Учебное пособие для курсантов всех форм обучения, Изд-во МГАРФ, Мурманск, 1994, 143 с.
3. Рычков Ю.М. Электронные приборы сверхвысоких частот : Учеб.пособие / Ю.М. Рычков. – Гродно: ГрГУ, 2002. – 103 с.
4. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Под ред. академика Н.Д. Девятова / Учебник для студентов вузов по специальности «Электронные приборы», 2-е изд., М., «Высш. школа», 1971. – т.2, 375 с., ил.
5. Алексеев С.Н. Электровакуумные приборы. : Учебное пособие / С.Н. Алексеев. – Ульяновск :УлГТУ, 2003. – 158 с.

### Дополнительная

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника. – М.: Высшая школа, 2005
2. Бобровский Ю.А. и др. Электронные квантовые приборы и микроэлектроника. – М.: Радио и связь, 1998
3. И.В. Савельев , Курс общей физики, том 3, часть 3, стр. 156-230, М., Наука, 1987.

Содержание и методические указания к изучению тем дисциплины

## **1. Основы зонной теории твердых тел.**

Содержание

Исторические этапы развития квантовой электроники.

Основы зонной теории твердых тел. Квантовая статистика. Квантовая теория теплоемкости.

Энергетические состояния атомов, молекул и твердых тел.

Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными системами и твердыми телами.

Рекомендуемая литература [1] С. 15 – 35, [2]

Вопросы для самопроверки

1. Какой материал называется полупроводником? Дайте определение валентной зоне, зоне проводимости и запрещенной зоне.

2. Чем отличается распределение Ферми-Дирака от распределения Максвелла – Больцмана?

3. Какое состояние носителей зарядов называется неравновесным?

## **2. Основные параметры и свойства полупроводников.**

Содержание

Основные параметры и свойства полупроводников.

Электропроводность полупроводников и явления переноса зарядов. Влияние температуры, света, внешнего поля на электропроводность полупроводника.

Примесные полупроводники. Электропроводность полупроводников и явления переноса зарядов. Влияние температуры, света, внешнего поля на электропроводность примесного полупроводника.

Рекомендуемая литература [1] С. 15 – 35, [2]

Вопросы для самопроверки

1. Что такое основные и неосновные носители?

2. Что такое собственная концентрация?

3. Каковы основные механизмы рекомбинации носителей заряда в полупроводниках?

4. Что такое диффузия носителей заряда? Как диффузный ток выражается количественно?

## **3. Электрические переходы, типы и классификация.**

Содержание



Электрические переходы, типы и классификация. Структура и основные параметры *n-p* перехода. Равновесное и неравновесное состояние *n-p* перехода. Вывод формулы вольт-амперной характеристики *n-p* перехода. Ширина и емкость *n-p* перехода. Пробой *n-p* перехода. Переходы на основе контакта металл-полупроводник.

Рекомендуемая литература [1] С. 35 – 65, [2]

Вопросы для самопроверки

1. Что такое *p-n* переход, переход Шоттки, гетеропереход?
2. Чем объясняется искривление энергетических зон у поверхности полупроводника?
3. Чем определяется величина потенциального барьера *p-n* перехода?
4. Поясните влияние обратного напряжения на величину потенциального барьера
5. Изобразите ВАХ идеального *p-n* перехода?
6. В чем отличие перехода Шоттки и гетероперехода от *p-n* перехода?

#### **4. Диоды**

Содержание

Полупроводниковые диоды – устройство, классификация, применение. Особенности работы приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением: туннельных диодов, диодов Ганна, лавинопролетных диодов.

Рекомендуемая литература [1] С. 124 – 146, [2], [3] С. 67 - 101

Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию диодов.
2. Почему быстродействие диода с переходом Шоттки больше, чем у диода с *p-n* переходом?
3. Опишите принцип работы стабилитрона.
4. На каком участке ВАХ туннельного диода наблюдаются квантовые эффекты?
5. Объясните зависимость емкости варикапа от напряжения.
6. Что такое ЛПД и диод Ганна?

#### **5. Биполярные транзисторы**

Содержание

Физические основы работы биполярного транзистора. Характеристики и параметры биполярных транзисторов. Типы биполярных транзисторов и их

применение. Многослойные структуры. Особенности работы управляемых и неуправляемых тиристоров.

Рекомендуемая литература [1] С. 150 – 195, [2].

Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип работы биполярного транзистора в режиме усиления и в ключевом режиме.
2. Нарисуйте зонную диаграмму n-p-n транзистора в равновесном состоянии
3. Дайте определение физическим параметрам биполярного транзистора, а также  $h$  и  $u$  параметрам.
4. Нарисуйте схему замещения транзистора в физических параметрах,  $h$ -параметрах и  $u$ -параметрах.
5. Перечислите схемы включения транзистора.
6. Что такое составной транзистор? Нарисуйте схему и опишите его характеристики.

## **6. Полевые транзисторы**

Содержание

Физические основы работы полевых приборов. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Явления обеднения, обогащения и инверсии полупроводников. Понятие поверхностного потенциала. Типы полевых транзисторов и особенности их применения. Параметры и характеристики полевых транзисторов.

Рекомендуемая литература [1] С. 197 – 251, [2].

Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию полевых транзисторов.
2. Чем отличаются МДП-транзисторы со встроенным и индуцированным каналом?
3. Приведите ВАХ всех видов полевых транзисторов. С чем связан наклон ВАХ в области насыщения?
4. Изобразите схему замещения полевого транзистора с использованием  $u$  параметров.
5. Какие сложности в использовании полевых транзисторов на высоких частотах?

## **7. Современные СВЧ-транзисторы, диоды и лазеры с гетеропереходами.**

Содержание

Гетероструктуры в современной микроэлектронике. Основные параметры и отличительные особенности гетеропереходов. Явления сверхинжекции и образования двумерного электронного газа в гетеропереходе.

Гетеропереходные биполярные транзисторы и транзисторы с высокой подвижностью электронов: физические принципы работы и варианты конструкции. НЕМТ-структуры.

Рекомендуемая литература [1] С. 58 – 65, 192 – 195, 247 – 252, 292 – 334, 407 - 421

Вопросы для самопроверки

1. Что такое гетеропереход? Какова основная особенность гетероперехода, которая позволяет повысить быстродействие транзисторов?

2. Биполярный транзистор с гетеропереходом (одним или двумя). Отличие от обычного биполярного транзистора.

3. Полевой транзистор с переходом Шоттки. Отличие от полевого транзистора с управляющим р-ппереходом, причина улучшения быстродействия ПТШ

4. Полевой транзистор с высокой подвижностью зарядов (НЕМТ). Каким образом используется гетеропереход, как устроен у такого транзистора канал?

5. Сверхъяркие светодиоды с гетеропереходом. Принцип использования гетероперехода для повышения КПД светодиода

6. Полупроводниковые лазеры непрерывного действия. Принцип создания, повышения КПД полупроводниковых лазеров, «окно прозрачности» световых квантов.

## **8. Микроминиатюрные транзисторы в микросхемах**

Содержание

Конструктивно-технологические особенности элементной базы для ИМС диапазона СВЧ. Транзисторы с управляющим переходом металл-полупроводник. Функциональные возможности МДП и МЕР транзисторов в интегральных микросхемах.

Рекомендуемая литература [1], С. 251 – 252, 442 – 457 [2]

Вопросы для самопроверки

1. Каковы физические ограничения микроминиатюризации для приборов твердотельной электроники с р-ппереходами?

2. Каковы предельные параметры МДП-приборов для пропорциональной микроминиатюризации?

3. Что такое и как используются углеродные нанотрубки?

## **9. Электронные лампы**

### Содержание

Электрон и его свойства. Электроны в металлах. Термоэлектронная эмиссия металлов. Фотоэлектронная эмиссия. Вторичная электронная эмиссия и её применение в приборах. Движение электронов в режиме объемного заряда. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода.

Физические основы работы вакуумных триодов, тетродов, пентодов.

Рекомендуемая литература [5].

### Вопросы для самопроверки

1. Опишите принцип работы электровакуумного диода.
2. Опишите принцип работы электровакуумного триода.
3. Опишите принцип работы электровакуумного тетрода. К чему привело появление экранирующей сетки. Опишите динаatronный эффект.
4. Опишите принцип работы электровакуумного пентода. Принцип работы антидинаatronной сетки.

## **10. Электронные приборы СВЧ.**

### Содержание

Особенности движения электронов в СВЧ-полях. Наведённые токи. Резонаторы СВЧ. Физические основы работы клистронов, ламп бегущей волны, магнетронов.

Рекомендуемая литература [3] С. 5 – 67, [4] С. 129 – 332.

### Вопросы для самопроверки

1. Опишите принцип работы двухрезонаторного пролетного клистрона.
2. Опишите принцип работы отражательного клистрона.
3. Опишите принцип работы лампы бегущей волны.
4. Опишите принцип работы лампы обратной волны.
5. Опишите принцип работы многорезонаторного магнетрона.