

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра управления в технических системах**

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. проректора по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

**Б1.В.ОД.10**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**27.03.04 Управление в технических системах**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Управление и информатика в технических системах**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>5</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	5
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	5
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>6</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	6
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	8
4.3 Лабораторные работы.....	10
4.4 Семинары / практические занятия .....	10
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	10
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>11</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>12</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>12</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>13</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>13</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ семинаров / практических работ .....	13
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>32</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>32</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>33</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>38</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>39</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к научно-исследовательскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Изучение физических процессов в полупроводниковых структурах, принципов действия, технологии и конструкции приборов твердотельной электроники; формирование навыков экспериментальных исследований характеристик и параметров полупроводниковых и микроэлектронных приборов.

## Задачи дисциплины

Формирование знаний, умений и навыков, позволяющих проводить самостоятельный анализ полупроводниковых, электровакуумных и оптоэлектронных приборов.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-3	Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей.	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- физические процессы в полупроводниковых структурах;</li><li>- принцип действия, основные параметры и характеристики важнейших полупроводниковых приборов;</li><li>- полупроводниковую элементную базу электронных цепей;</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- аналитически решать задачи расчета характеристик простых электрических цепей;</li></ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- методами экспериментального исследования характеристик и параметров полупроводниковых приборов и структур;</li><li>- методами расчета электрических параметров полупроводниковых приборов и определение их параметров.</li></ul>
ОПК-7	Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- основные схемотехнические решения, применяемые в современных аналоговых, импульсных и цифровых электронных цепях;</li><li>- современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий;</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- использовать современную полупроводниковую элементную базу при разработке электронных схем;</li></ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- навыками машинного анализа параметров электронных цепей.</li></ul>

ПК-1	Способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физические основы полупроводниковой микроэлектроники, основные понятия, характеристики и параметры микроэлектронных приборов;</li> <li>– основные явления и процессы, используемые при построении элементов ИС, принцип работы, схмотехническую реализацию логических и базовых элементов, узлов ЭВМ;</li> <li>– основы реализации оперативных и долговременных запоминающих устройств, микропроцессоров;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– строить логические схемы и реализовывать их при решении задач полупроводниковой микроэлектроники;</li> <li>– объяснить функциональное назначение основных узлов электронных устройств;</li> <li>– проводить исследование элементов и узлов ЭВМ: триггеров, счетчиков, регистров памяти, ЦАП и др;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– системой знаний о фундаментальных физических законах и теориях, физической сущности явлений и процессов в природе и технике;</li> <li>– приемами построения простейших принципиальных, и структурных схем устройств ЭВМ;</li> <li>– приемами выполнения электрических измерений параметров ИС, использования знаний.</li> </ul>
------	--	---

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ОД.10 Физические основы микроэлектроники относится к вариативной части.

Дисциплина Физические основы микроэлектроники базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин Б1.Б.9 Физика, Б1.Б.05 Математика, Б1.Б.12 Информационные технологии, Б1.Б.10 Электротехника и электроника.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Физические основы микроэлектроники представляет, основу для изучения дисциплин: Б16.Б.1 Технические средства автоматизации и управления, Б1.Б.15 Теория автоматического управления, Б1.В.ОД.14 Автоматизированные информационно-управляющие системы, Б1.В.ДВ.10 Автоматизация технологических процессов и производств.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Семинары	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	4	108	54	18	18	18	54	-	Зачет
Заочная	2	-	104	15	5	5	5	89	-	Зачет
Заочная (ускоренное обучение)	1	-	104	11	5	3	3	93	-	Зачет
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			4
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	54	12	54
Лекции (Лк)	18	4	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	4	18
Практические занятия (ПЗ)	18	4	18
Консультации	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	54	-	54
Подготовка к лабораторным работам	17	-	17
Подготовка к практическим занятиям	18	-	18
Подготовка к зачету	19	-	19
<b>III. Промежуточная аттестация - зачет</b>	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины час.	108	-	108
зач. ед.	3	-	3

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	семинары/практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Физические явления и процессы в полупроводниках</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>16</b>
1.1.	Собственные и примесные полупроводники	18	3	3	4	8
1.2.	Рекомбинация носителей тока в полупроводниках	16	3	3	2	8
<b>2.</b>	<b>Контактные явления в полупроводниках</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>12</b>
2.1.	Виды контактов в полупроводниках	26	4	6	4	12
<b>3.</b>	<b>Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы</b>	<b>40</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
3.1.	Выпрямительные диоды. Основные характеристики, параметры. Вольтамперная характеристика, основные схемы включения	11	2	2	2	5
3.2.	Режим работы биполярных транзисторов	10,5	1,5	2	2	5
3.3.	Полевые транзисторы	9,5	1,5	1	2	5
3.4.	Тиристоры	9	1	1	2	5
<b>4.</b>	<b>Элементы интегральных микросхем</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
4.1.	Общие сведения об интегральных устройствах	2,5	0,5	-	-	2
4.2.	Классификация интегральных схем	3	1	-	-	2
4.3.	Условные обозначения интегральных схем	2,5	0,5	-	-	2
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>54</b>

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	практические работы	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Физические явления и процессы в полупроводниках</b>	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>30</b>

1.1.	Собственные и примесные полупроводники	17,5	0,5	1	1	15
1.2.	Рекомбинация носителей тока в полупроводниках	17,5	0,5	1	1	15
<b>2.</b>	<b>Контактные явления в полупроводниках</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>26</b>
2.1.	Виды контактов в полупроводниках	29	1	1	1	24
<b>3.</b>	<b>Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы</b>	<b>34</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>28</b>
3.1.	Выпрямительные диоды. Основные характеристики, параметры. Вольтамперная характеристика, основные схемы включения	8,5	0,5	0,5	0,5	7
3.2.	Режим работы биполярных транзисторов	8,5	0,5	0,5	0,5	7
3.3.	Полевые транзисторы	8,5	0,5	0,5	0,5	7
3.4.	Тиристоры	8,5	0,5	0,5	0,5	7
<b>4.</b>	<b>Элементы интегральных микросхем</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>5</b>
4.1.	Общие сведения об интегральных устройствах	1,75	0,25	-	-	1,5
4.2.	Классификация интегральных схем	3	0,5	-	-	2,5
4.3.	Условные обозначения интегральных схем	1,25	0,25	-	-	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>89</b>

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	семинары/практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Физические явления и процессы в полупроводниках</b>	<b>34</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>30</b>
1.1.	Собственные и примесные полупроводники	17	1	0,5	0,5	15
1.2.	Рекомбинация носителей тока в полупроводниках	17	1	0,5	0,5	15
<b>2.</b>	<b>Контактные явления в полупроводниках</b>	<b>32</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>29</b>
2.1.	Виды контактов в полупроводниках	32	1	1	1	29
<b>3.</b>	<b>Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы</b>	<b>38</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>34</b>

3.1.	Выпрямительные диоды. Основные характеристики, параметры. Вольтамперная характеристика, основные схемы включения	9	0,5	0,25	0,25	8
3.2.	Режим работы биполярных транзисторов	10	0,5	0,25	0,25	9
3.3.	Полевые транзисторы	9	0,5	0,25	0,25	8
3.4.	Тиристоры	10	0,5	0,25	0,25	9
<b>4.</b>	<b>Элементы интегральных микросхем</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>5</b>
4.1.	Общие сведения об интегральных устройствах	1,75	0,25	-	-	1,5
4.2.	Классификация интегральных схем	3	0,5	-	-	2,5
4.3.	Условные обозначения интегральных схем	1,25	0,25	-	-	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>93</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### Раздел 1. Физические явления и процессы в полупроводниках

#### Тема 1.1. Собственные и примесные полупроводники

##### Лекция (3 час)

- 1) Собственные полупроводники. Определение.
- 2) Зонная диаграмма собственного полупроводника
- 3) Плоская модель кристаллической решетки собственного полупроводника.
- 4) Примесные полупроводники. Определение.
- 5) Полупроводники с электронной электропроводностью (n-типа).
- 6) Полупроводники с дырочной электропроводностью (p-типа).

#### Тема 1.2. Рекомбинация носителей тока в проводниках

##### Лекция (3 час)

- 1) Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках.
- 2) Излучательная рекомбинация зона - зона в прямозонном полупроводнике.
- 3) Безизлучательная рекомбинация.
- 4) статистическая теория Шокли – Рида.

### Раздел 2. Контактные явления в полупроводниках

#### Тема 2.1. Виды контактов в полупроводниках

##### Лекция (4 час)

##### Интерактивная форма занятия – разбор конкретных ситуаций

- 1) Контактные явления в полупроводниках. Определение.
- 2) Выпрямляющие контакты.
- 3) Омические контакты.
- 4) Биполярные контактные явления.
- 5) Реальные контакты.
- 6) Основные понятия о лавинном и туннельном пробое в полупроводниках.



### **Раздел 3. Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы**

#### **Тема 3.1. Выпрямительные диоды. Основные характеристики, параметры. Вольтамперная характеристика, основные схемы включения.**

##### **Лекция (2 час)**

- 1) Работа полупроводникового выпрямительного диода.
- 2) Основные параметры выпрямительных диодов.
- 3) Вольтамперная характеристика, основные схемы включения.
- 4) Кремниевые диоды
- 5) Точечный диод.
- 6) Плоскостной диод.
- 7) Импульсные диоды.
- 8) Обращенные диоды.
- 9) Диоды Шоттки.

#### **Тема 3.2. Режимы работы биполярных транзисторов**

##### **Лекция (1,5 час)**

- 1) Биполярные транзисторы. Определение. Классификация.
- 2) Устройство биполярных транзисторов.
- 3) Принцип действия биполярных транзисторов.

#### **Тема 3.3. Полевые транзисторы**

##### **Лекция (1,5 час)**

- 1) Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и каналом р-типа.
- 2) Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и каналом n-типа.
- 3) Схемы включения для полевого транзистора.

#### **Тема 3.4. Тиристоры**

##### **Лекция (1 час)**

- 1) Тиристоры. Определение. Принцип работы.
- 2) Виды тиристоров
- 3) Работа тиристора в цепях переменного тока

### **Раздел 4. Элементы интегральных микросхем**

#### **Тема 4.1. Общие сведения об интегральных устройствах**

##### **Лекция (0,5 час)**

- 1) Интегральная схема (ИМС). Определение.
- 2) Технология производства ИМС.

#### **Тема 4.2. Классификация интегральных схем**

##### **Лекция (1 час)**

- 1) Полупроводниковые ИМС.
- 2) Пленочные ИМС.
- 3) Гибридная ИМС
- 4) Классификация ИМС по уровню интеграции

#### **Тема 4.3. Условные обозначения интегральных схем.**

##### **Лекция (0,5 час)**

- 1) Условные обозначения интегральных схем (ИС).
- 2) Примеры условного обозначения ИС

#### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем ( час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Изучение стабилитрона и снятие его характеристик.	6	Разбор конкретных ситуаций (1 час.)
2	2.	Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона.	6	Разбор конкретных ситуаций (1 час.)
3	3.	Туннельный эффект. Исследование вольт-амперной характеристики туннельного диода.	6	Разбор конкретных ситуаций (2 час.)
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>4</b>

#### 4.4. Семинары / практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем семинаров / практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Собственные и примесные полупроводники	4	Разбор конкретных ситуаций (2 час.)
2	1.	Рекомбинация носителей тока в полупроводниках	2	-
3	2.	Виды контактов в полупроводниках	4	Разбор конкретных ситуаций (2 час.)
4	3.	Основные параметры и характеристики выпрямительных диодов.	2	-
5	3.	Режимы работы биполярных транзисторов	2	-
6	3.	Режимы работы полевых транзисторов	2	-
7	3.	Режимы работы тиристоров	2	-
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>4</b>

#### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрены

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>			<i>Σ комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ОПК</i>		<i>ПК</i>				
			<i>3</i>	<i>7</i>	<i>1</i>				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	
<b>1.</b> Физические явления и процессы в полупроводниках		34	+	+	+	3	11,3	Лк,ЛР,ПЗ,СРС	ЗАЧЕТ
<b>2.</b> Контактные явления в полупроводниковых структурах		26	+	+	+	3	8,7	Лк,ЛР,ПЗ,СРС	ЗАЧЕТ
<b>3.</b> Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы		40	+	+	+	3	13,3	Лк,ЛР,ПЗ,СРС	ЗАЧЕТ
<b>4.</b> Элементы интегральных микросхем		8	+	+	+	3	2,7	Лк,СРС	ЗАЧЕТ
<b><i>Всего часов</i></b>		<b>108</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>3</b>	<b>36</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники: Учебник для вузов/В.Д.Соболев.– М.:Высш.школа, 1979. -448с.
2. Шалимова К.В. Физика полупроводников. Научное издание/К.В.Шалимова – М.: Энергия, 1971. -312с.
3. Кравченко А.Ф. Физические основы функциональной электроники./Учебное пособие для вузов/А.Ф.Кравченко.-Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та.- 2000. -442с.
4. Физика микросистем. В 2-ч.Ч.1:Учеб. пособие для вузов / В.А.Гриджин, В.П.Драгунов .- Новосибирск: НГТУ, 2004. - 416с.
5. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП-микросхем: Краткий справочник разработчика/В.И.Эннс, Ю.М.Кобзев. - М л. :Горячая линия-Телеком, 2005. - 454с.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия (Лк, ЛР,ПЗ)	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа: <a href="https://e.landook.com/book/5856">https://e.landook.com/book/5856</a>	Лк, ЛР,ПЗ	ЭР	1
2.	Валухов Д.П.Физические основы электроники: учебное пособие/ Д.П.Валухов, Р.В.Пигулев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». –Ставрополь: СКФУ, 2014. -135с.: ил.-Библиогр. В кн.; [Электронный ресурс]. – URL: <a href="http://biblioclub/ru/index.php?page=book&amp;id=457767">http://biblioclub/ru/index.php?page=book&amp;id=457767</a>	Лк, ЛР	ЭР	1
3.	Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <a href="http://www.kti.ru/data\2932\Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf">http://www.kti.ru/data\2932\Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf</a>	ПЗ	ЭР	1
<b>Дополнительная литература</b>				
4.	Кузовкин В.А.Электроника. Электрофизические основы, микросхемотехника, приборы и устройства:Учебное пособие/Кузовкин В.А.- М.: Логос, 2005.-328с.	Лк, ЛР	30	1
5.	Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.	Лк, ЛР,ПЗ	10	0,63

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/IRBIS64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/IRBIS64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=)
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru/>
3. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» » <http://e.lanbook.com>
4. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru>.
5. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>.

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/семинаров /практических работ

#### Лабораторная работа № 1 Изучение стабилитрона и снятие его характеристик

Цель работы: Изучение работы стабилитрона и снятие его характеристик.

Задание: Изучить работу стабилитрона. Снять его характеристики. Произвести измерения напряжения на выходе при изменении напряжения на входе. Построить график зависимости выходного напряжения от входного. Определить напряжение зажигания и максимальное и минимальное значения напряжения горения.

Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему согласно рис.1.
2. Медленно перемещая движок реостата от начала шкалы, тем самым увеличивая входное напряжение от нуля до напряжения  $U_3$ , при котором происходит зажигание стабилитрона, зафиксировать напряжение  $U_3$ .
3. Произвести измерения. Для этого, изменяя напряжение на входе от 0 до 300 В, через каждые 20 В измерить напряжение на выходе. При этом вблизи напряжения зажигания  $U_3$  за 20 В до него и после него произвести измерения через каждые 4 В для того, чтобы определить максимум кривой зависимости  $U_{\text{вых}}$  от  $U_{\text{вх}}$ . Результаты измерений занести в таблицу.

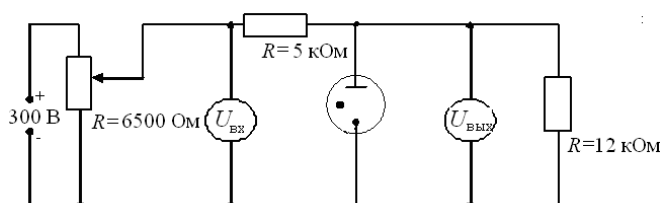
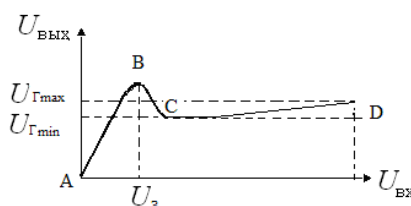


Рис.1

4. Построить график зависимости  $U_{\text{вых}}$  от  $U_{\text{вх}}$ .



5. По снятой зависимости  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  определить напряжение зажигания  $U_3$  и максимальное и минимальное значения напряжения горения ( $U_{\text{Гmax}}$ ,  $U_{\text{Гmin}}$ ). Разность  $U_{\text{Гmax}} - U_{\text{Гmin}}$  должна находиться в пределах (12-15) В.

$U_{вх}, В$	
$U_{вых}, В$	

Форма отчетности:

Отчёт по лабораторной работе, выполненный по образцу, в соответствии с заданием.

Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию:

Уяснить тему и цель лабораторной работы. Составить план действий. Проверить свою подготовленность к выполнению работы. Проверить наличие на лабораторном столе оборудование и материалов. Ознакомившись с описанием лабораторной работы, приступить к ее выполнению. По мере проведения эксперимента и получения определенных данных, заполнить таблицу. По окончании лабораторной работы оформить ее результаты. Сформулировать выводы на основании результатов проведенного эксперимента и сделать соответствующую запись.

Рекомендуемые источники:

Не предусмотрены.

## Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн. пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов, Е.В.Титов. –Электр. дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>.
2. Валухов Д.П. Физические основы электроники: учебное пособие/ Д.П.Валухов, Р.В.Пигулев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». –Ставрополь: СКФУ, 2014. -135с.: ил.-Библиогр. В кн.; [Электронный ресурс]. –URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457767>

## Дополнительная литература

1. Кузовкин В.А. Электроника. Электрофизические основы, микросхемотехника, приборы и устройства: Учебное пособие/Кузовкин В.А.- М.: Логос, 2005.-328с.
2. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев, Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какова цель работы?
2. Объясните устройство, принцип действия и применение стабилитрона.
3. Какова роль балластного сопротивления?
4. Выберите масштаб для построения графика.
5. Что представляет собой электрический ток в газах?
6. Охарактеризуйте процессы ионизации и рекомбинации.
7. В чем отличие несамостоятельного газового разряда от самостоятельного?
8. Каковы условия существования несамостоятельного и самостоятельного газового разряда?
9. При каких условиях несамостоятельный газовый разряд переходит в самостоятельный?
10. Почему газовый разряд не подчиняется закону Ома?
11. Охарактеризуйте типы самостоятельного разряда.
12. Проанализируйте построенный Вами график зависимости  $U_{вых} = f(U_{вх})$ .

## Лабораторная работа № 2

### Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона

Цель работы: Исследование вольтамперной характеристики вакуумного диода; определение удельного заряда электрона на основании уравнения Богуславского-Лэнгмюра.

Задание: Снять зависимость анодного тока от анодного напряжения при изменении анодного напряжения, через 10В, построить графическую зависимость анодного тока от анодного напряжения, определить удельный заряд электрона на основании уравнения Богуславского-Лэнгмюра.

Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему согласно рис. 1.
2. Снять зависимость анодного тока от анодного напряжения, изменяя анодное напряжение от 0 В до 120 В через 10 В. Данные измерений и вычисленных значений  $U^{3/2}$  занести в таблицу.

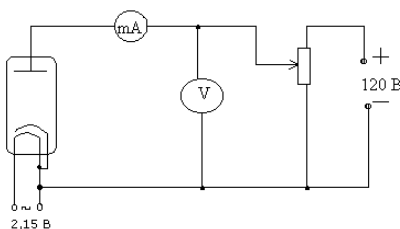


Рис. 1

Таблица результатов

$U_a, \text{В}$	
$I_a, \text{мА}$	
$U_a^{3/2}, \text{В}^{3/2}$	

3. Построить графическую зависимость  $I_a$  от  $U_a^{3/2}$ .
4. Определить угловой коэффициент полученной прямой согласно (3) и рассчитать по формуле (5)  $\frac{e}{m}$ . Теоретическое значение удельного заряда равно  $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

Форма отчетности:

Отчёт по лабораторной работе, выполненный по образцу, в соответствии с заданием.

Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию:

Уяснить тему и цель лабораторной работы. Составить план действий. Проверить свою подготовленность к выполнению работы. Проверить наличие на лабораторном столе оборудование и материалов. Ознакомившись с описанием лабораторной работы, приступить к ее выполнению. По мере проведения эксперимента и получения определенных данных, заполнить таблицу. По окончании лабораторной работы оформить ее результаты. Сформулировать выводы на основании результатов проведенного эксперимента и сделать соответствующую запись.

Рекомендуемые источники:

Не предусмотрены

### Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>.
2. Валухов Д.П.Физические основы электроники: учебное пособие/ Д.П.Валухов, Р.В.Пигулев;

### Дополнительная литература

1. Кузовкин В.А. Электроника. Электрофизические основы, микросхемотехника, приборы и устройства: Учебное пособие/Кузовкин В.А.- М.: Логос, 2005.-328с.
2. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какова цель работы?
2. Опишите устройство и принцип действия вакуумного диода.
3. Опишите метод измерения удельного заряда электрона.
4. Оцените погрешность метода измерения удельного заряда электрона.
5. Что называется термоэлектронной эмиссией?
6. Каким законам подчиняется ток в вакууме?
7. Объясните отклонение силы тока от закона Ома в вакуумном диоде.
8. Дайте анализ результатов вычислений и измерений.
9. Каковы Ваши критические замечания и суждения по данной работе?

### Лабораторная работа № 3

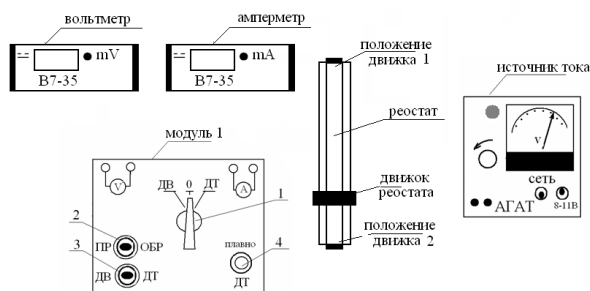
#### Туннельный эффект. Исследование вольтамперной характеристики туннельного диода

Цель работы: Изучение туннельного эффекта, исследование вольтамперной характеристики туннельного диода, построение энергетической диаграммы  $p-n$  – перехода.

Задание: Исследовать вольтамперную характеристику выпрямительного диода при прямом и обратном включении, изменяя напряжение с шагом 0,05В в прямом направлении и с шагом 1В при обратном включении. Исследовать вольтамперную характеристику туннельного диода, изменяя напряжение с шагом 10мВ и с шагом 50мВ.

#### Порядок выполнения работы:

Снятие вольтамперной характеристики (ВАХ) выпрямительного диода



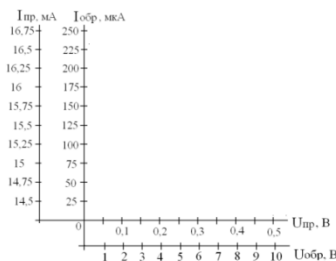
Принципиальная схема рабочей установки.

1. Установить на модуле 1 переключатель 1 в положение диод выпрямительный (ДВ).
2. Переключатель 2 в положение прямое включение (ПР).
3. Включить вольтметр и амперметр (тумблер находится на задней панели прибора).
4. Изменять напряжение на вольтметре в прямом направлении с помощью реостата от 0.25 до 0.5 В с шагом 0,05В. Данные занести в таблицу 1.
5. Установить обратное включение диода (ОБР) с помощью тумблера 2.
6. Изменять напряжение от 0 до 10 В с шагом 1 В.
7. Данные занести в таблицу 1.
8. Построить вольтамперную характеристику выпрямительного диода при прямом и обратном включении (рекомендуемый масштаб).



*Вольтамперная характеристика выпрямительного диода*

Прямое включение диода	U, В	0,15 0,2 0,3 0,35 0,4 0,45 0,5
	I, mA	
Обратное включение диода	U, В	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	I, мкА	



Вольтамперная характеристика выпрямительного диода.

*Снятие вольтамперной характеристики туннельного диода*

1. На модуле 1 переключатель 1 установить в положение 0.
2. Движок реостата перевести в положение 2.
3. На модуле 1 рукоятку 4 плавно установить в крайне левое положение до упора.
4. Подключить туннельный диод поставив переключатели 1 и 3 в положение ДТ.
5. Рукояткой 4 плавно изменять напряжение от 10 мВ с шагом 10 мВ пока ток не достигнет максимального значения. Затем напряжение можно изменять с шагом 50 мВ до 1000 мВ.
6. Данные занести в таблицу 2 и 3.

Таблица результатов 2

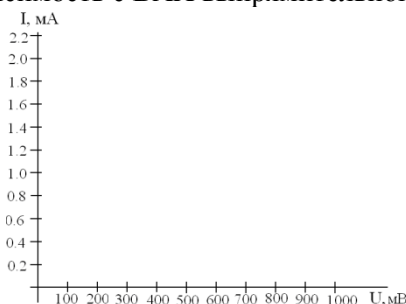
*Вольтамперная характеристика туннельного диода*

U, В	10 20 30 40 50	..... 200
I, mA		

Продолжение таблицы 2

U, В	250 300 350 400 450	..... 900
I, mA		

7. Построить для туннельного диода график зависимости тока от напряжения (рекомендуемый масштаб).
8. Сравнить полученную зависимость с ВАХ выпрямительного диода.



Вольтамперная характеристика туннельного диода

9. Из ВАХ туннельного диода определить величины  $U_{max}$ ,  $U_{min}$ ,  $I_{max}$ .

10. По полученным данным оцените положение уровня Ферми относительно зоны проводимости:  $E_F - E_c = \frac{|e| \cdot U_{\min}}{2}$ , в эВ. Где  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл - заряд электрона

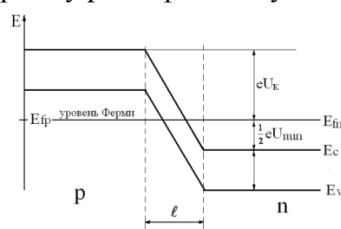
11. Оцените максимума функции распределения электронов (дырок)  $n(E)$ ,  $p(E)$  относительно уровня Ферми:

$$E_F - E_m = \frac{|e| \cdot U_{\max}}{2}, \quad \text{в эВ.}$$

12. Сравните полученное значение  $E_F - E_m$ , с рассчитанным по формуле

$E_F - E_m \approx 1,1 \cdot k \cdot T$ , где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К - постоянная Больцмана, T- температура в К. Энергию выразить в эВ.

13. Изобразить энергетическую диаграмму р-п-перехода туннельного диода.



Энергетическая диаграмма р-п-перехода туннельного диода.

13. Оценить концентрацию носителей заряда в вырожденном полупроводнике, используя выражение:

$$n = \frac{1}{3\pi^2} \left( \frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \cdot (E_F - E_c)^{3/2},$$

эффективную массу электрона  $m$  положить равной  $m = 0,5 \cdot m_0$  ( $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг - масса покоя электрона).

#### Форма отчетности:

Отчёт по лабораторной работе, выполненный по образцу, в соответствии с заданием.

#### Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Уяснить тему и цель лабораторной работы. Составить план действий. Проверить свою подготовленность к выполнению работы. Проверить наличие на лабораторном столе оборудование и материалов. Ознакомившись с описанием лабораторной работы, приступить к ее выполнению. По мере проведения эксперимента и получения определенных данных, заполнить таблицу. По окончании лабораторной работы оформить ее результаты. Сформулировать выводы на основании результатов проведенного эксперимента и сделать соответствующую запись.

#### Рекомендуемые источники:

Не предусмотрены.

#### Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>.

2. Валухов Д.П.Физические основы электроники: учебное пособие/ Д.П.Валухов, Р.В.Пигулев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». –Ставрополь: СКФУ, 2014. -135с.: ил.-Библиогр. В кн.; [Электронный ресурс]. –URL:<http://biblioclub/ru/index.php?page=book&id=457767>

## Дополнительная литература

1. Кузовкин В.А. Электроника. Электрофизические основы, микросхемотехника, приборы и устройства: Учебное пособие/Кузовкин В.А.- М.: Логос, 2005.-328с.
2. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев, Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте цель работы.
2. Дать определение туннельного эффекта.
3. Какая величина называется вероятностью перехода?
4. Описать порядок снятия вольтамперной характеристики туннельного диода.
5. Описать порядок снятия вольтамперной характеристики выпрямительного диода.
6. Пояснить порядок обработки результатов измерений и построения энергетической диаграммы туннельного диода.
7. Пояснить, используя соотношение Гейзенберга, прохождение микрочастицей потенциального барьера.
8. Пояснить квантовомеханическое толкование туннельного эффекта.
9. Записать формулу коэффициента прозрачности потенциального барьера.
10. Привести примеры явлений, в основе которых лежит туннелирование частиц.
11. Пояснить принцип действия туннельного диода.
12. Дать качественное описание вольтамперной характеристики туннельного диода.
13. Дать анализ полученных результатов.

## **Практическое занятие №1** **Собственные и примесные полупроводники** **(4 часа)**

Цель работы: Научиться решать задачи по теме «Собственные и примесные полупроводники».

### Задание:

#### Задача №1.

Удельное сопротивление собственного германия  $\rho = 0,43 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  при  $T = 300 \text{ К}$ . Подвижности электронов и дырок в германии равны соответственно  $0,39$  и  $0,19 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ . Определите собственную концентрацию электронов ( $n$ ) и дырок ( $p$ ).

#### Задача №2.

Образец германия, рассмотренный в предыдущей задаче, легирован примесью атомов сурьмы так, что один атом примеси приходится на  $2 \cdot 10^6$  атомов германия. Определить: а) концентрацию электронов и дырок при  $T = 300 \text{ К}$  (предположить, что при этой температуре все атомы сурьмы ионизированы и концентрация атомов германия  $N = 4,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ ); б) удельное сопротивление этого легированного материала, в) коэффициенты диффузии электронов и дырок в германии при данной температуре.

#### Задача №3.

Найти положение уровня Ферми в собственном германии при  $300 \text{ К}$ , если известно, что ширина запрещенной зоны  $\Delta E = 0,665 \text{ эВ}$ , а эффективные массы плотности состояний для дырок валентной зоны и для электронов зоны проводимости соответственно равны:  $m_v = 0,388 m_0$ ;  $m_c = 0,55 m_0$ , где  $m_0$  – масса свободного электрона.

#### Задача №4.

Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при  $T = 300 \text{ К}$ , если ширина запрещенной зоны  $\Delta E = 1,12 \text{ эВ}$ , а эффективные массы плотности состояний  $m_c = 1,05 m_0$ ,  $m_v = 0,56 m_0$ .

#### Задача №5.

Рассчитать концентрацию электронов и дырок в германии p-типа с удельным сопротивлением  $0,05 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  при температуре  $300 \text{ К}$ . Собственная концентрация носителей заряда при комнатной температуре  $n_i = 2,1 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , подвижность электронов  $\mu_n = 0,39 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ , подвижность дырок  $\mu_p = 0,19 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

**Задача №6.**

В кремний введены донорные и акцепторные примеси. Концентрации доноров и акцепторов соответственно равны  $N_d = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Определить удельное сопротивление  $\rho$ .

**Задача №7.**

Нарисовать зонную диаграмму собственного полупроводника, полупроводника n-типа, и полупроводника p-типа.

**Задача №8.**

Определить скорость дрейфа электронов и дырок в собственном германии при температуре  $T = 300 \text{ К}$ , если полупроводник находится в электрическом поле с напряженностью  $E = 1000 \text{ В/см}$ .

**Задача №9.**

Определить и сравнить скорость дрейфа электронов в германии при напряженности поля  $E = 10 \text{ см кВ}$  с его скоростью при движении на расстоянии  $10 \text{ см}$  в таком же поле в вакууме. 5. Определить ширину запрещенной зоны германия (Ge) при температуре  $T = 500 \text{ К}$ , если при  $T = 300 \text{ К}$  ширина запрещенной зоны  $0,658 \text{ эВ}$ .

Порядок выполнения:

1. Переписать условие задачи полностью без сокращений.
2. Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы, и в единицах той системы, в которой выполняют решение (в единицах СИ).
3. Выполнить необходимые поясняющие чертежи с обозначением всех величин.
5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.
6. С помощью этих законов, учитывая условия задачи, получить необходимые расчетные формулы.
7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
8. Используемые в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задач и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.
9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.
10. После проверки размерности полученных расчетных формул приводится численное решение задачи.

Форма отчетности:

Отчет по практической работе в виде решения задач в тетради.

Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию:

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей практической работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

Рекомендуемые источники:

Не предусмотрены.

**Основная литература**

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн. пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов, Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>

2. Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <http://www.kti.ru/data\2932\Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf>

### Дополнительная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем отличие полупроводниковых материалов от проводниковых?
2. В чем отличие полупроводниковых материалов от диэлектрических?
3. Как возникают в полупроводнике свободные носители зарядов?
4. Почему подвижность дырок меньше, чем подвижность электронов?
5. Какой тип электропроводности (дырочный или электронный) имеет собственный полупроводник? Почему?
6. Как влияет температура на подвижность электронов и дырок в полупроводнике?
7. Как связана ширина запрещенной зоны с электропроводностью полупроводниковых материалов?

### Практическое занятие №2 Рекомбинация носителей тока в полупроводниках (2 часа)

Цель работы: Научиться решать задачи по теме «Рекомбинация носителей тока в полупроводниках».

#### Задание:

##### Задача №1.

Образец германия, находящийся при комнатной температуре, подвергается непрерывному воздействию фотонов. Такое внешнее возбуждение ионизирует атомы примеси, создавая концентрацию примесей  $N_d = 2,2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  и обуславливая постоянную генерацию  $2,5 \cdot 10^{19}$  электронно-дырочных пар в секунду. Подсчитайте относительное изменение концентрации носителей вследствие действия фотонов, если  $\tau_n = \tau_p = 2 \text{ мс}$ .

##### Задача №2.

Образец германия, находящийся при комнатной температуре, подвергается непрерывному воздействию фотонов. Такое внешнее возбуждение ионизирует атомы примеси, создавая концентрацию примесей  $N_d = 6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  и обуславливая постоянную генерацию  $4,5 \cdot 10^{19}$  электронно-дырочных пар в секунду ( $\tau_n = \tau_p = 2 \text{ мс}$ ). Пусть действие потока фотонов прекращается в момент времени  $t = t_0$ . Как изменяется во времени избыточная концентрация дырок при  $t > t_0$ ?

##### Задача №3.

Образец германия, находящийся при комнатной температуре, подвергается непрерывному воздействию фотонов. Такое внешнее возбуждение ионизирует атомы примеси, создавая концентрацию примесей  $N_d = 10^{18} \text{ см}^{-3}$  и обуславливая постоянную генерацию  $5 \cdot 10^{19}$  электронно-дырочных пар в секунду ( $\tau_n = \tau_p = 2 \text{ мс}$ ). Пусть действие потока фотонов прекращается в момент времени  $t = t_0$ . За какое время избыточная концентрация снизится до 5% начального значения?

##### Задача №4.

В образце кремния р-типа, находящемся при комнатной температуре, распределение концентрации акцепторов вдоль оси  $x$  описывается функцией  $N_a(x) = N \cdot \exp(-x/x_0)$ , где  $x_0 = 0,5 \text{ мкм}$ . Считая, что  $p(x) = N_a(x)$ , вычислите плотность тока дрейфа для дырок в зависимости от величины  $N_a$ . Исходные данные:  $D_p = 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\mu_p = 40 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ .

#### Порядок выполнения:

1. Переписать условие задачи полностью без сокращений.
2. Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы, и в единицах той системы, в которой выполняют решение (в единицах СИ).
3. Выполнить необходимые поясняющие чертежи с обозначением всех величин.

5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.

6. С помощью этих законов, учитывая условия задачи, получить необходимые расчетные формулы.

7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

8. Используемые в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задач и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.

9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.

10. После проверки размерности полученных расчетных формул приводится численное решение задачи.

#### Форма отчетности:

Отчет по практической работе в виде решения задач в тетради.

#### Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей практической работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

#### Рекомендуемые источники

Не предусмотрены.

#### Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>
2. Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <http://www.kti.ru/data/2932/Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf>

#### Дополнительная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое рекомбинация свободных носителей заряда? Ее механизмы.
2. Соблюдается ли для полупроводников закон Ома в сильных электрических полях? Почему?
3. Какая разница между понятиями «загрязнения» и «примеси» в полупроводниках?
4. В каком случае электропроводность полупроводников является собственной, а в каком примесной?
5. Что происходит в полупроводнике при одновременном внесении донорной и акцепторной примеси? Как определить тип электропроводности такого полупроводника?

### **Практическое занятие №3 Виды контактов в полупроводниках (4 часа)**

Цель работы: Научиться решать задачи по теме «Виды контактов в полупроводниках».

#### Задание:

Задача №1.

Определить величину поверхностного потенциала  $\phi_s^0$  на контакте металла с полупроводником,

если концентрация электронов на поверхности полупроводника равна  $n_s = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , а в объеме  $n_0 = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Температура  $T = 300\text{К}$ .

#### Задача №2.

Нарисовать зонную энергетическую диаграмму контакта металла с полупроводником в состоянии термодинамического равновесия (при  $U = 0$ ) и при приложении прямого ( $U > 0$ ) и обратного ( $U < 0$ ). Показать потоки носителей зарядов через контакт.

#### Задача №3.

Определить удельную емкость обедненного слоя на контакте металл-полупроводник, если концентрация примеси  $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , а поверхностный потенциал  $\phi_s^0 = 0,6\text{В}$ . Значение удельной емкости вычислить, если база диода сделана из кремния, германия и арсенида галлия.

#### Задача №4.

Определить ширину области пространственного заряда на контакте металл-кремний n-типа проводимости с концентрацией легирующей примеси  $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  при напряжении  $U = -50 \text{ В}$ .

#### Задача №5.

Определить напряженность электрического поля на границе контакта металл-полупроводник при температуре  $T = 300\text{К}$ , если на расстоянии  $x = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$  от границы контакта напряженность поля  $E = 8,5 \times 10^2 \text{ В/см}$ . Концентрация электронов в объеме полупроводника,  $\epsilon = 16$ .

#### Задача №6.

Определить плотность тока насыщения через контакт металл-полупроводник при  $T = 300\text{К}$ , если под действием прямого смещения  $E = 0,24\text{В}$  через него течет ток  $I = 40 \text{ мкА}$ . Площадь контакта  $S = 10^{-4} \text{ см}^2$ .

#### Порядок выполнения:

1. Переписать условие задачи полностью без сокращений.
2. Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы, и в единицах той системы, в которой выполняют решение (в единицах СИ).
3. Выполнить необходимые поясняющие чертежи с обозначением всех величин.
5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.
6. С помощью этих законов, учитывая условия задачи, получить необходимые расчетные формулы.
7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
8. Используемые в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задач и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.
9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.
10. После проверки размерности полученных расчетных формул приводится численное решение задачи.

#### Форма отчетности:

Отчет по практической работе в виде решения задач в тетради.

#### Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей практической работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной

работе.

### Рекомендуемые источники

Не предусмотрены.

### Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>
2. Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <http://www.kti.ru/data/2932\Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf>

### Дополнительная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Образование контакта металл-полупроводник.
2. Диаграмма энергетических уровней омического контакта металл-полупроводник.
3. Образование контакта металл-полупроводник.
4. Диаграмма энергетических уровней выпрямительного контакта металл-полупроводник.
5. Диоды Шоттки.

## Практическое занятие №4

### Основные параметры и характеристики выпрямительных диодов (2 часа)

Цель работы: Научиться решать задачи по теме «Основные параметры и характеристики выпрямительных диодов».

### Задание:

#### Задача №1.

Диод Шоттки изготовлен на основе контакта кремния n-типа проводимости с удельным сопротивлением  $\rho_B = 3,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  и электронным сродством  $\chi = 0,35 \text{ эВ}$  и металла, имеющего работу выхода  $\phi_m = 4,5 \text{ эВ}$ . В полупроводнике n-типа уровень Ферми лежит ниже уровня  $E_C$  на  $0,2 \text{ эВ}$ . Площадь контакта  $S = 10^{-4} \text{ см}^2$ . Подвижность электронов в кремнии принять равной  $\mu_n = 1400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . Определить емкость диода Шоттки.

#### Задача №2.

В транзисторе КТ315А, включенном по схеме с общим эмиттером, ток базы изменился на  $0,1 \text{ мА}$ . Определить изменение тока эмиттера, если коэффициент передачи тока базы  $h_B = 0,975$ . 55

#### Задача №3.

В однофазной мостовой схеме выпрямления (рис.1) все диоды имеют одинаковые вольтамперные характеристики.

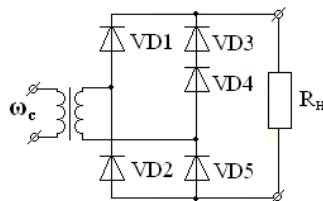


Рис. 1 – Схема однофазного двухтактного выпрямителя

Определите частоту первой гармоники пульсаций на нагрузке, если частота сети равна  $\omega_c$



#### Задача №4.

На рис.2 приведены схемы замещения неуправляемых выпрямителей, где VD – идеальный вентиль.

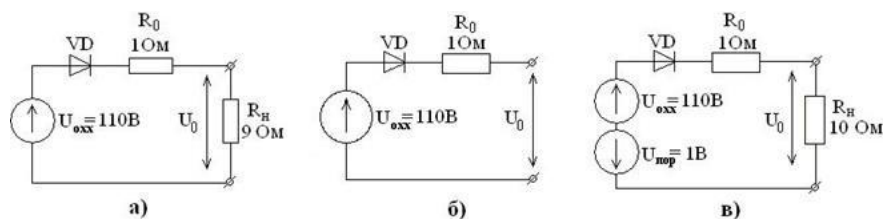


Рис. 2 – Схемы замещения выпрямителей

Расположите схемы в порядке возрастания выходного напряжения.

#### Задача №5.

Исходные данные: напряжение на входе трёхфазного мостового неуправляемого выпрямителя показано на рис. 3.

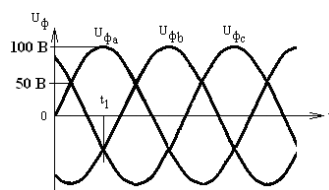


Рис. 3 – Входное напряжение

Определите мгновенное напряжение на выходе неуправляемого выпрямителя в момент времени  $t=t_1$ .

#### Порядок выполнения:

1. Переписать условие задачи полностью без сокращений.
2. Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы, и в единицах той системы, в которой выполняют решение (в единицах СИ).
3. Выполнить необходимые поясняющие чертежи с обозначением всех величин.
5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.
6. С помощью этих законов, учитывая условия задачи, получить необходимые расчетные формулы.
7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
8. Использованные в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задач и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.
9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.
10. После проверки размерности полученных расчетных формул приводится численное решение задачи.

#### Форма отчетности:

Отчет по практической работе в виде решения задач в тетради.

#### Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей практической работы и

установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

#### Рекомендуемые источники

Не предусмотрены.

#### Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>
- 2.Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <http://www.kti.ru/data\2932\Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf>

#### Дополнительная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. В каком случае на контакте металл-полупроводник образуется обедненный слой?
2. От чего зависит высота барьера Шоттки ?
3. Какие физические явления лежат в основе работы диода Шоттки?
4. Нарисуйте эквивалентную схему диода Шоттки.
5. От чего зависит сопротивление базы диода Шоттки?
6. Что представляет собой емкость диода Шоттки?
- 7.В чем проявляется эффект Шоттки на обратной ветви ВАХ?
- 8.Перечислите достоинства и недостатки диода Шоттки.

### Практическое занятие №5

#### Режимы работы биполярных транзисторов (2 часа)

Цель работы: Научиться решать задачи по теме «Режимы работы биполярных транзисторов».

Задание:

##### Задача №1.

Диффузионный кремниевый транзистор в схеме с общей базой имеет предельную частоту коэффициента передачи тока  $f_{h_{21Б}} = 25 \text{ МГц}$ . Напряжение пробоя коллектора  $U_{КБпроб} = 400 \text{ В}$ . Обратный ток эмиттера  $I_{Э0} = 12 \text{ мкА}$ .

При токе эмиттера  $I_{Э} = 50 \text{ мА}$  определить:

- а) ширину базы транзистора,
- б) статический коэффициент передачи тока эмиттера  $h_{21Б}$ ,
- в) граничную частоту коэффициента передачи тока  $f_{гр}$ ,
- г) максимальную частоту генерации, если активное сопротивление базы  $R_{Б} = 1 \text{ Ом}$ , а барьерная емкость коллектора  $C_{К} = 9 \text{ пФ}$

##### Задача №2.

Германиевый р-п-р транзистор имеет при  $I_{Э} = 1 \text{ мА}$ ,  $U_{К} = 5 \text{ В}$  следующие значения внутренних параметров:  $R_{Э} = 18 \text{ Ом}$ ,  $R_{Б} = 220 \text{ Ом}$ ,  $R_{К} = 0,8 \text{ МОм}$ . Удельное сопротивление базы  $r_{Б} = 40 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , коэффициент обратной связи по напряжению  $\mu_{ЭК} = -2 \cdot 10^{-4}$ . Время жизни дырок  $t_{р} = 0,1 \text{ мс}$ . Определить  $h$ -параметры транзистора в схеме с общим эмиттером и граничную частоту коэффициента передачи тока базы.

##### Задача №3.

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить коэффициент усиления  $h_{21}$ , по его входной и выходным характеристикам (рис.1.), если  $U_{бэ} = 0,4 \text{ В}$ ,  $U_{кэ} = 25 \text{ В}$ . Рассчитать коэффициент передачи по току  $h_{21Б}$  и мощность  $P_{К}$  на коллекторе.

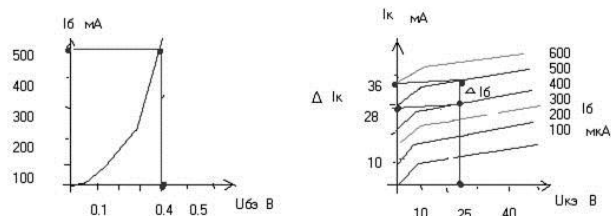


Рис. 1.

#### Задача №4.

Мощность на коллекторе транзистора  $P_K=6\text{Вт}$ , напряжение на коллекторе  $U_{KЭ}=30\text{В}$ ; напряжение питания  $E_K=40\text{В}$ . Используя выходные характеристики (рис. 2) определить ток базы  $I_B$ , коэффициент усиления  $h_{21Э}$  и сопротивление нагрузки  $R_K$ .

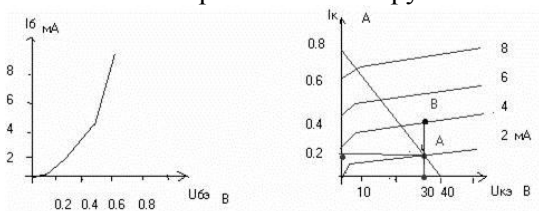


Рис. 2

#### Порядок выполнения:

1. Переписать условие задачи полностью без сокращений.
2. Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы, и в единицах той системы, в которой выполняют решение (в единицах СИ).
3. Выполнить необходимые поясняющие чертежи с обозначением всех величин.
5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.
6. С помощью этих законов, учитывая условия задачи, получить необходимые расчетные формулы.
7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
8. Используемые в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задач и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.
9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.
10. После проверки размерности полученных расчетных формул приводится численное решение задачи.

#### Форма отчетности:

Отчет по практической работе в виде решения задач в тетради.

#### Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей практической работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

#### Рекомендуемые источники

Не предусмотрены.

## Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>
2. Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <http://www.kti.ru/data/2932/Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf>

## Дополнительная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

## Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как работает транзистор типа р-п-р?
2. Изобразите входную характеристику транзистора при включении с общим эмиттером.
3. Изобразите семейство выходных характеристик транзистора при включении с общим эмиттером.
4. Изобразите схемы включения биполярных транзисторов типов р-п-р и п-р-п в режимах отсечки, насыщения и активном.
5. Как определяются h-параметры по статическим, гибридным характеристикам транзистора? 6. Опишите схемы включения биполярного транзистора: с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором.
7. Расскажите об известных разновидностях транзисторов по конструктивно-технологическому признаку.

## Практическое занятие №6 Режимы работы полевых транзисторов

Цель работы: Научиться решать задачи по теме «Режимы работы полевых транзисторов».

### Задание:

#### Задача №1.

а) Удельная проводимость канала *n*-типа полевого транзистора  $s = 20,9$  См/м и ширина канала  $w = 6$  мкм при напряжении затвор - исток, равном нулю. Найти напряжение отсечки  $U_{omc}$ , считая, что подвижность электронов  $m_{II} = 0,13$  м<sup>2</sup>/(В×с), а относительная диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon = 12$ .

б) При напряжении затвора, равном нулю, сопротивление сток - исток равно 50 Ом. При каком напряжении затвора сопротивление сток - исток станет равным 200 Ом?

#### Задача №2.

Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом, имеющий  $I_{Cmax} = 2$  мА и  $S_{max} = 2$  мА/В, включен в усилительный каскад по схеме с общим истоком. Сопротивление резистора нагрузки  $R_H = 10$  кОм.

Определить коэффициент усиления по напряжению, если: а)  $U_{3II} = -1$  В; б)  $U_{3II} = -0,5$  В;

в)  $U_{3II} = 0$ .

#### Задача №3.

У некоторого полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом  $I_{Cmax} = 1$  мА и  $U_{omc} = 4$  В.

Определить:

а) какой ток будет протекать при обратном напряжении смещения затвор - исток, равном 2 В;

б) чему равна крутизна и максимальная крутизна в этом случае?

#### Задача №4.

В усилительном каскаде с общим истоком, показанным на рис. 1, сопротивление резистора нагрузки  $R_H = 20$  кОм. Эффективное входное сопротивление полевого транзистора 20 кОм, рабочая крутизна  $S = 2$  мА/В.

Определить коэффициент усиления каскада.

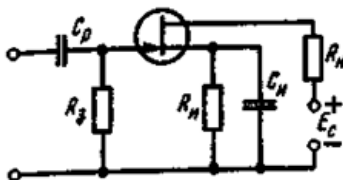


Рис.1.

Порядок выполнения:

1. Переписать условие задачи полностью без сокращений.
2. Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы, и в единицах той системы, в которой выполняют решение (в единицах СИ).
3. Выполнить необходимые поясняющие чертежи с обозначением всех величин.
5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.
6. С помощью этих законов, учитывая условия задачи, получить необходимые расчетные формулы.
7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
8. Используемые в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задач и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.
9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.
10. После проверки размерности полученных расчетных формул приводится численное решение задачи.

Форма отчетности:

Отчет по практической работе в виде решения задач в тетради.

Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей практической работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

Рекомендуемые источники

Не предусмотрены.

Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>
- 2.Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <http://www.kti.ru/data\2932\Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf>

Дополнительная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дайте определение полевого транзистора
2. Разновидности полевых транзисторов.
3. Расскажите о физических процессах в полевом транзисторе
4. Какие характеристики и параметры определяют основные свойства полевых транзисторов?
5. Принцип действия транзисторов IGBT.
6. Условное обозначение транзисторов IGBT.

## Практическое занятие №7 Режимы работы тиристоров

Цель работы: Изучение структуры и принципа действия тиристора, определение и анализ его вольт-амперных характеристик, определение параметров тиристора по ВАХ.

### Задание:

#### Задача №1.

Однофазный прерыватель переменного тока «тиристор — тиристор» включен в цепь резистора (рис. 3.7). Определить среднее и действующее значения тока тиристоров и нагрузки, а также потери в тиристорах. Построить зависимость коэффициента формы тока тиристора от угла направления.

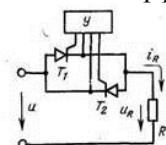


Рис. 3.7. Схема к задаче 3.1.

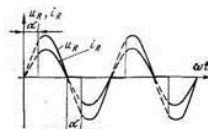


Рис. 3.8. Диаграмма мгновенных значений тока и напряжения на нагрузке в схеме на рис. 3.7.

Вольт-амперная характеристика тиристора определяется формулой  $u_T = U_{T0} + R_T i_T$ , где  $U_{T0} = 0,8$  В,  $R_T = 2$  мОм. Напряжение - питания  $U = 220$  В, активное сопротивление нагрузки  $R = 2$  Ом. Тиристоры имеют симметричное управление;  $\alpha = 60^\circ$ .

#### Задача №2.

Определить средние и действующие значения токов диодов и тиристора прерывателя со схемой соединений, показанной на рис. 3.12. Угол управления тиристора  $\alpha = 30^\circ$ ,  $U = 110$  В,  $R = 5$  Ом.

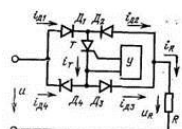


Рис. 3.12. Однофазный мостовой прерыватель переменного тока (задача 3.2).

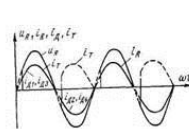


Рис. 3.13. Диаграммы мгновенных значений токов и напряжений в схеме на рис. 3.12.

#### Задача №3.

Однофазный прерыватель переменного тока со схемой соединений «тиристор — тиристор» работает на индуктивную нагрузку. Построить кривые тока и напряжения тиристора в установившемся режиме. Напряжение сети  $U = 220$  В,  $f = 50$  Гц,  $L = 1$  мГн. Найти среднее и действующее значения тока нагрузки и тока тиристоров при широком и узком управляющих импульсах, если: а)  $\alpha = 120^\circ$ ; б)  $\alpha = 60^\circ$ .

#### Задача №4.

Однофазный прерыватель переменного тока со схемой соединений «тиристор — тиристор» работает на нагрузку, состоящую из последовательно соединенных резистора и реактора. Построить кривую тока нагрузки в течение полупериода и определить действующее значение напряжения на нагрузке. Напряжение сети  $U = 110$  В,  $f = 50$  Гц,  $R = 4$  Ом,  $L = 9,55$  мГн и  $\alpha = 90^\circ$ .

### Порядок выполнения:

1. Переписать условие задачи полностью без сокращений.

2. Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы, и в единицах той системы, в которой выполняют решение (в единицах СИ).

3. Выполнить необходимые поясняющие чертежи с обозначением всех величин.

5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.

6. С помощью этих законов, учитывая условия задачи, получить необходимые расчетные формулы.

7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

8. Используемые в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задач и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.

9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.

10. После проверки размерности полученных расчетных формул приводится численное решение задачи.

#### Форма отчетности:

Отчет по практической работе в виде решения задач в тетради.

#### Задания для самостоятельной работы:

Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей практической работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

#### Рекомендуемые источники

Не предусмотрены.

#### Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебн.пособие/ Ю.А.Смирнов, С.В.Соколов,Е.В.Титов. –Электр.дан. –Санкт-Петербург:Лань, 2013. -560с. –Режим доступа:<https://e.landook.com/book/5856>

2.Сошинов, А. Г. Сборник задач по электротехнике и электронике[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с. Режим доступа: <http://www.kti.ru/data\2932\Сборник%20задач%20электротехнике%20и%20электронике.pdf>

#### Дополнительная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов/В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев. - 4-е изд., доп.-М. : Высш.шк., 2006. - 799с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип действия тиристора.
2. Параметры и разновидности тиристорov.
3. Объясните ВАХ тиристора при отсутствии тока в цепи управляющего электрода
4. Что такое тиристор? Его структура на основе двух биполярных транзисторов.
5. Принцип работы тиристора при выключенном управляющем электроде.
6. Как осуществляется выключение тиристора на переменном и постоянном токе?
7. Объясните физический смысл вольтамперной характеристики тиристора.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – преподаватель использует для:

- получения информации при подготовке к занятиям,
- создания презентационного сопровождения лекций;
- интерактивного общения.

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i><b>Вид занятия</b></i> (Лк, ЛР, ПЗ, КП, КР, кр, СР...)	<i><b>Наименование аудитории</b></i>	<i><b>Перечень основного оборудования</b></i>	<i><b>№ ЛР или ПЗ</b></i> (согласно р. 4.3,4.4 РПД)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
ЛР	Лаборатория электричества и электромагнетизма	Вольтметр В7-35, вольтметр Э-58	1, 2
	Лаборатория оптики	блок амперметра-вольтметра АВ, стенд с объектами исследования СЗ-ОК01, источник питания ИПС 1	3
Лк	Лекционная аудитория	Учебная доска	-
ПЗ	Лекционная аудитория	Учебная доска	1,2,3,4,5,6,7
СР	ЧЗЗ	-	-



**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС	
ОПК-3	Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей. (ОПК-3)	1. Физические явления и процессы в полупроводниках	1.1. Собственные и примесные полупроводники	Вопросы к зачету №№ 1.1 – 1.2 (из табл.2 стр.34).	
			1.2. Рекомбинация носителей тока в полупроводниках	Вопросы к зачету № 1.3 (из табл.2 стр.34).	
ОПК-7	Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационно-транзисторных технологий в своей профессиональной деятельности. (ОПК-7)	2. Контактные явления в полупроводниках.	2.1. Виды контактов в полупроводниках	Вопросы к зачету №№ 2.1 – 2.4 (из табл.2 стр.34).	
			3. Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы	3.1. Выпрямительные диоды. Основные характеристики, параметры. Вольтамперная характеристика, основные схемы включения	Вопросы к зачету №№ 3.1 – 3.2 (из табл.2 стр.34).
				3.2. Режимы работы биполярных транзисторов	Вопросы к зачету №№ 3.3 -3.4 (из табл.2 стр.34).
ПК-1	Способностью выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств. (ПК-1)	4. Элементы интегральных микросхем	3.3. Полевые транзисторы	Вопросы к зачету № 3.5 (из табл.2 стр.34).	
			3.4. Тиристоры	Вопросы к зачету № 3.6 (из табл.2 стр.34).	
			4.1. Общие сведения об интегральных устройствах	Вопросы к зачету № 4.1 (из табл.2 стр.34).	
			4.2. Классификация интегральных схем	Вопросы к зачету № 4.2 (из табл.2 стр.34).	
			4.3. Условные обозначения интегральных схем	Вопросы к зачету № 4.3 (из табл.2 стр.34).	

## 2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела (
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ОПК-3	Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей. (ОПК-3)	1.1. Физические явления и процессы в собственных полупроводниках. 1.2. Физические явления и процессы в примесных полупроводниках. 1.3. Рекомбинация носителей тока в полупроводниках.	1. Физические явления и процессы в полупроводниках
	ОПК-7	Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности. (ОПК-7)	2.1. Выпрямляющие контакты. 2.2. Омические контакты. 2.3. Биполярные контактные явления. 2.4. Реальные контакты.	2. Контактные явления в полупроводниках.
	ПК-1	Способностью выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств. (ПК-1)	3.1. Основные параметры и характеристики диодов. 3.2. Вольтамперная характеристика, основные схемы включения диодов. 3.3. Устройство и классификация биполярных транзисторов. 3.4. Принцип действия биполярных транзисторов. 3.5. Основные параметры и принцип действия полевых транзисторов. 3.6. Основные параметры и характеристики тиристоров.	3. Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы
			4.1. Общие сведения об интегральных устройствах. 4.2. Классификация интегральных схем. 4.3. Условные обозначения интегральных схем.	4. Элементы интегральных микросхем

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>знать:</b> (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физические процессы в полупроводниковых структурах;</li> <li>- принцип действия, основные параметры и характеристики важнейших полупроводниковых приборов;</li> <li>- полупроводниковую элементную базу электронных цепей;</li> </ul> <p>(ОПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные схемотехнические решения, применяемые в современных аналоговых, импульсных и цифровых электронных цепях;</li> <li>- современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий;</li> </ul> <p>(ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физические основы полупроводниковой микроэлектроники, основные понятия, характеристики и параметры микроэлектронных приборов;</li> <li>– основные явления и процессы, используемые при построении элементов ИС, принцип работы, схемотехническую реализацию логических и базовых элементов, узлов ЭВМ;</li> <li>– основы реализации</li> </ul>	<p><b>зачтено</b></p>	<p>Студент знает физические процессы и принцип действия полупроводниковых приборов; аналоговые, импульсные и цифровые электронные цепи; развитие измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; физические основы, характеристики и параметры микроэлектронных приборов; основные явления и процессы, используемые в интегральных схемах</p> <p>Студент умеет аналитически решать задачи расчета характеристик простых электрических цепей; использовать современную полупроводниковую элементную базу при разработке электронных схем; строить логические схемы, объяснить функциональное назначение основных узлов электронных устройств; проводить исследование элементов и узлов ЭВМ.</p> <p>Студент владеет методами экспериментального исследования характеристик и параметров полупроводниковых приборов, методами расчета электрических параметров полупроводниковых приборов; навыками машинного анализа параметров электронных цепей; знаниями о фундаментальных физических законах и теориях, физической сущности явлений и процессов в природе и технике, приемами построения простейших принципиальных, и структурных схем устройств ЭВМ.</p>

<p>оперативных и долговременных запоминающих устройств, микропроцессоров;</p> <p><b>уметь:</b> (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- аналитически решать задачи расчета характеристик простых электрических цепей;</li> </ul> <p>(ОПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать современную полупроводниковую элементную базу при разработке электронных схем;</li> </ul> <p>(ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– строить логические схемы и реализовывать их при решении задач полупроводниковой микроэлектроники;</li> <li>– объяснить функциональное назначение основных узлов электронных устройств;</li> <li>– проводить исследование элементов и узлов ЭВМ: триггеров, счетчиков, регистров памяти, ЦАП и др;</li> </ul> <p><b>владеть:</b> (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами экспериментального исследования характеристик и параметров полупроводниковых приборов и структур;</li> <li>- методами расчета электрических параметров полупроводниковых приборов и определение их параметров;</li> </ul> <p>(ОПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками машинного анализа параметров электронных цепей;</li> </ul> <p>(ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– системой знаний о фундаментальных физических законах и теориях, физической сущности явлений и процессов в природе и технике;</li> <li>– приемами построения простейших принципиальных, и структурных схем устройств ЭВМ.</li> </ul>	<p><b>незачтено</b></p>	<p>Студент не знает физические процессы и принцип действия полупроводниковых приборов; аналоговые, импульсные и цифровые электронные цепи; развитие измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; физические основы, характеристики и параметры микроэлектронных приборов; основные явления и процессы, используемые в интегральных схемах.</p> <p>Студент не умеет аналитически решать задачи расчета характеристик простых электрических цепей; использовать современную полупроводниковую элементную базу при разработке электронных схем; строить логические схемы, объяснить функциональное назначение основных узлов электронных устройств; проводить исследование элементов и узлов ЭВМ.</p> <p>Студент не владеет методами экспериментального исследования характеристик и параметров полупроводниковых приборов, методами расчета электрических параметров полупроводниковых приборов; навыками машинного анализа параметров электронных цепей; знаниями о фундаментальных физических законах и теориях, физической сущности явлений и процессов в природе и технике, приемами построения простейших принципиальных, и структурных схем устройств ЭВМ.</p>
---	-------------------------	--

#### **4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Дисциплина Физические основы микроэлектроники направлена на ознакомление с современным уровнем развития физических основ полупроводниковой электроники с учетом использования перспективных полупроводниковых материалов.

Изучение дисциплины Физические основы микроэлектроники предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические занятия,
- самостоятельную работу студента,
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 «Физические явления и процессы в полупроводниках» студенты должны изучить: движение электронов в электрических и магнитных полях, электропроводность полупроводников, электронно-дырочный (p-n) переход.

В ходе освоения раздела 2 «Контактные явления в полупроводниках» студенты должны изучить: выпрямляющие контакты, омические контакты, биполярные контактные явления, реальные контакты и др.

В ходе освоения раздела 3 «Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов, тиристоров и полевых транзисторов при различных режимах» студенты должны изучить: основные характеристики и параметры выпрямительных диодов, биполярных транзисторов, тиристоров и полевых транзисторов.

В ходе освоения раздела 4 «Элементы интегральных микросхем» студенты должны изучить: общие сведения об интегральных устройствах, классификацию и обозначения интегральных схем.

В процессе проведения лабораторных и практических работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

**АННОТАЦИЯ**  
**рабочей программы дисциплины**  
**Физические основы микроэлектроники**

**1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является: изучение физических процессов в полупроводниковых структурах, принципов действия, технологии и конструкции приборов твердотельной электроники; формирование навыков экспериментальных исследований характеристик и параметров полупроводниковых и микроэлектронных приборов.

Задачей изучения дисциплины является: формирование знаний, умений и навыков, позволяющих проводить самостоятельный анализ полупроводниковых, электровакуумных и оптоэлектронных приборов.

**2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 18 часов, ЛР – 18 часов, ПЗ – 18 часов, СРС – 54 часа.  
Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Физические явления и процессы в полупроводниках.
2. Контактные явления в полупроводниках.
3. Основные параметры и характеристики диодов, биполярных транзисторов и полевых транзисторов при различных режимах работы.
4. Элементы интегральных микросхем.

**3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:  
ОПК-3 - Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей,  
ОПК-7 - Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности,  
ПК-1 - Способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств.

**4. Вид промежуточной аттестации: зачет**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.,  
*(разработчик)*

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
*(подпись)*

\_\_\_\_\_  
*(Ф.И.О.)*

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах от «6» марта 2015 г. №174 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «04»декабря 2015 г. №768, для заочной формы обучения от «04»декабря 2015 г. №768, для заочной (ускоренное обучение) от «04»декабря 2015 г. №768.

**Программу составил:**

Морковцев Н.П.. к.т.н., доцент кафедры физики \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры УТС от «20 » ноября 2017 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой УТС \_\_\_\_\_

Игнатьев И.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_

Игнатьев И.В.

Директор библиотеки \_\_\_\_\_

Сотник Т.Ф.

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета энергетики и автоматики от « 29 » ноября 2017 г., протокол № 4

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_

Ульянов А.Д.

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник учебно-методического управления \_\_\_\_\_

Нежевец Г.П.

Регистрационный № \_\_\_\_\_