

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УР  
Сенченко П.В  
«22» 02 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Направление подготовки / специальность: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

**Направленность (профиль) / специализация: Промышленная электроника**

**Форма обучения: заочная (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий)**

**Факультет: Факультет дистанционного обучения (ФДО)**

**Кафедра: Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)**

**Курс: 2**

**Семестр: 4**

**Учебный план набора 2023 года**

**Объем дисциплины и виды учебной деятельности**

Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
Лабораторные занятия	8	8	часов
Самостоятельная работа	115	115	часов
Самостоятельная работа под руководством преподавателя	8	8	часов
Контрольные работы	4	4	часов
Подготовка и сдача экзамена	9	9	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
		4	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр	Количество
Экзамен	4	
Контрольные работы	4	2

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Сенченко П.В  
Должность: Проректор по УР  
Дата подписания: 22.02.2023  
Уникальный программный ключ:  
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 77900

## **1. Общие положения**

### **1.1. Цели дисциплины**

1. Целью изучения является приобретение знаний по физическим основам действия полупроводниковых приборов, их электрическим характеристикам для статического и динамического режимов работы, реакции приборов на внешние воздействия, представлению приборов в виде электрических моделей, методам экспериментального определения параметров моделей.

### **1.2. Задачи дисциплины**

1. Задачей изучения дисциплины является приобретение навыков и умений в вопросах правильного выбора вида полупроводниковых приборов для построения электронных схем, исходя из функциональных задач, решаемых этими схемами, и обеспечение грамотной эксплуатации приборов, позволяющих максимально эффективно использовать заложенные в них возможности.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП**

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Обязательная часть.

Модуль дисциплин: Модуль направления подготовки (special hard skills – SHS).

Индекс дисциплины: Б1.О.03.05.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>Универсальные компетенции</b>		
-	-	-
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы естественных наук и математики	Знает фундаментальные законы естественных наук и математики
	ОПК-1.2. Умеет анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области	Умеет анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области
	ОПК-1.3. Владеет практическими навыками решения инженерных задач	Владеет практическими навыками решения инженерных задач
<b>Профессиональные компетенции</b>		

ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программные средства их компьютерного моделирования
	ПК-1.2. Умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
	ПК-1.3. Владеет навыками построения простейших физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования	Владеет навыками построения простейших физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования

**4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		4 семестр
<b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	20	20
Лабораторные занятия	8	8

Самостоятельная работа под руководством преподавателя	8	8
Контрольные работы	4	4
<b>Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	115	115
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	52	52
Подготовка к лабораторной работе	8	8
Написание отчета по лабораторной работе	8	8
Подготовка к контрольной работе	47	47
<b>Подготовка и сдача экзамена</b>	9	9
<b>Общая трудоемкость (в часах)</b>	144	144
<b>Общая трудоемкость (в з.е.)</b>	4	4

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лаб. раб.	Контр. раб.	СРП, ч.	Сам. раб., ч	Всего часов (без промежуточной аттестации)	Формируемые компетенции
<b>4 семестр</b>						
1 Физические основы твердотельной электроники	8	4	1	30	43	ОПК-1, ПК-1
2 Контактные явления	-		1	12	13	ОПК-1, ПК-1
3 Полупроводниковые диоды	-		1	14	15	ОПК-1, ПК-1
4 Биполярные транзисторы	-		1	14	15	ОПК-1, ПК-1
5 Тиристоры	-		1	16	17	ОПК-1, ПК-1
6 Полевые транзисторы	-		1	10	11	ОПК-1, ПК-1
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	-		1	11	12	ОПК-1, ПК-1
8 Полупроводниковые термоэлектрические и гальваномагнитные приборы	-		1	8	9	ОПК-1, ПК-1
Итого за семестр	8	4	8	115	135	
Итого	8	4	8	115	135	

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины	СРП, ч	Формируемые компетенции
<b>4 семестр</b>			

1 Физические основы твердотельной электроники	Зонная структура полупроводников. Распределение носителей заряда в полупроводниках. Процессы переноса заряда в полупроводниках. Поверхностные явления в полупроводниках. Диэлектрическая релаксация	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого		
2 Контактные явления	Электрические переходы. Электронно-дырочные переходы. Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии. Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии. Вольт-амперная характеристика идеализированного электроннодырочного перехода. Статическая вольт-амперная характеристика реального электронно-дырочного перехода. Пробой электронно-дырочного перехода.	1	ОПК-1
	Динамические параметры электронно-дырочного перехода. Переходные процессы в электроннодырочном переходе. Контакты металл-полупроводник. Выпрямляющие контакты металл-полупроводник. Омические контакты. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Гетеропереходы.		
3 Полупроводниковые диоды	Общие сведения. Выпрямительные диоды. Импульсные диоды. Диоды Шоттки. Стабилитроны и стабисторы. Варикапы. ТунNELьные диоды и обращенные диоды	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого		

4 Биполярные транзисторы	Структуры и основные режимы работы. Распределение стационарных потоков носителей заряда. Собственные статические параметры транзистора. Модель Эберса-Молла биполярного транзистора. Модуляция толщины базы. Пробой биполярных транзисторов. Статические характеристики. Динамические параметры транзистора. Линейные модели биполярного транзистора. Усилительные свойства транзистора. Работа биполярного транзистора в импульсном режиме. Зависимость параметров от режима работы.	1	ОПК-1
	Итого		
5 Тиристоры	Диодные тиристоры. Триодные тиристоры. Симметричные тиристоры. Способы управления тиристорами	1	ОПК-1
	Итого		
6 Полевые транзисторы	Полевые транзисторы с управляющим переходом. Статические характеристики полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом. Малосигнальные параметры полевых транзисторов с управляющим переходом. Эквивалентные схемы полевых транзисторов с управляющим переходом. Инерционные свойства полевых транзисторов с управляющим переходом. Полевые транзисторы с изолированным затвором. МДП-транзисторы с индуцированным каналом. Статические характеристики МДП-транзисторов с индуцированным каналом. МДП-транзисторы со встроенным каналом. Статические характеристики МДП-транзисторов. Эквивалентные схемы МДП-транзисторов. Инерционные свойства МДП-транзисторов. Усилительные свойства полевых транзисторов. Работа полевых транзисторов в импульсном режиме.	1	ОПК-1
	Итого		
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	Классификация оптоэлектронных приборов. Фототранзисторы. Оптоэлектронные пары.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого		

8 Полупроводниковые термоэлектрические и гальваниомагнитные приборы	Терморезисторы. Полупроводниковые термоэлектрические устройства.	1	ОПК-1, ПК-1
	Полупроводниковые гальваниомагнитные приборы.		
	Итого	1	
	Итого за семестр	8	
	Итого	8	

### 5.3. Контрольные работы

Виды контрольных работ и часы на контрольные работы приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Контрольные работы

№ п.п.	Виды контрольных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
<b>4 семестр</b>			
1	Контрольная работа с автоматизированной проверкой	2	ОПК-1, ПК-1
2	Контрольная работа	2	ОПК-1
	Итого за семестр	4	
	Итого	4	

### 5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
<b>4 семестр</b>			
1 Физические основы твердотельной электроники	Исследование статических параметров биполярного транзистора.	4	ОПК-1, ПК-1
	Исследование полевого транзистора с управляющим р-п-переходом.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	8	
	Итого за семестр	8	
	Итого	8	

### 5.5. Контроль самостоятельной работы (курсовый проект / курсовая работа)

Не предусмотрено учебным планом

### 5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
<b>4 семестр</b>				

1 Физические основы твердотельной электроники	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	4	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к лабораторной работе	8	ОПК-1, ПК-1	Лабораторная работа
	Написание отчета по лабораторной работе	8	ОПК-1, ПК-1	Отчет по лабораторной работе
	Подготовка к контрольной работе	10	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	30		
2 Контактные явления	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	8	ОПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	4	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	12		
3 Полупроводниковые диоды	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	8	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	6	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	14		
4 Биполярные транзисторы	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	8	ОПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	6	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	14		
5 Тиристоры	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	8	ОПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	8	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	16		

6 Полевые транзисторы	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	6	ОПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	4	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	10		
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	6	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	11		
8 Полупроводниковые термоэлектрические и гальваномагнитные приборы	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	4	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	4	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	8		
Итого за семестр		115		
	Подготовка и сдача экзамена	9		Экзамен
Итого		124		

### 5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лаб. раб.	Конт.Раб.	СРП	Сам. раб.	
ОПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Тестирование, Экзамен
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Тестирование, Экзамен

### 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется

### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### 7.1. Основная литература

1. Легостаев Н. С. Твердотельная электроника: Учебное пособие / Легостаев Н. С., Четвергов К. В. - Томск: Эль Контент, 2011. - 244 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library>.

## **7.2. Дополнительная литература**

1. Физические основы твердотельной электроники: Учебно-методическое пособие Томск Издательство ТУСУРа 2019 [Электронный ресурс] / Ю. Г. Юшков [и др.]. — Томск: ТУСУР: 2019. — 152 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9026>.

## **7.3. Учебно-методические пособия**

### **7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия**

1. Легостаев Н. С. Твердотельная электроника: Методические указания / Легостаев Н. С., Четвергов К. В. - Томск: Эль Контент, 2012. - 52 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library>.

2. Легостаев Н. С. Твердотельная электроника : методические указания по организации самостоятельной работы для студентов заочной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий / Н. С. Легостаев, С.Г. Михальченко. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2018. – 17с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library>.

### **7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

#### **Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

#### **Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

#### **Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

## **7.4. Иное учебно-методическое обеспечение**

1. Легостаев Н.С., Четвергов К.В. Твердотельная электроника [Электронный ресурс]: электронный курс / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. - Томск: ФДО, ТУСУР, 2012. (доступ из личного кабинета студента) .

## **7.5. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyyh>.

## **8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

### **8.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины**

Учебные аудитории для проведения занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы студентов

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

**Описание имеющегося оборудования:**

- Веб-камера - 6 шт.;
- Наушники с микрофоном - 6 шт.;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

**Программное обеспечение:**

- 7-Zip;
- Google Chrome;
- Kaspersky Endpoint Security для Windows;
- LibreOffice;
- Microsoft Windows;

## **8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

**Описание имеющегося оборудования:**

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

**Перечень программного обеспечения:**

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

## **8.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфорtnого просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## **9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### **9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной

компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Физические основы твердотельной электроники	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по лабораторной работе	Темы лабораторных работ
2 Контактные явления	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Полупроводниковые диоды	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Биполярные транзисторы	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Тиристоры	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

6 Полевые транзисторы	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
8 Полупроводниковые термоэлектрические и гальваниомагнитные приборы	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне <b>ориентирования</b> , представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на <b>репродуктивном</b> уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на <b>системном</b> уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

#### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

- Направленное движение носителей заряда из-за неравномерного распределения концентрации носителей заряда в объеме полупроводника в отсутствие градиента температуры называют: а) дрейфом; б) диффузией; в) подвижностью носителей заряда; в) свободным пробегом.
- Длина свободного пробега носителей заряда - это: а) расстояние, на котором при одномерной диффузии в полупроводнике без электрического поля в нем избыточная концентрация носителей заряда уменьшается вследствие рекомбинации в 2,72 раза; б) расстояние, на которое носители заряда диффундируют за время жизни; в) среднее расстояние, проходимое носителями заряда между двумя последовательными актами рассеяния; г) величина, связанная с временем жизни неравновесных носителей заряда соотношением  $L=Dt$ .
- Электронно-дырочный переход смешен в обратном направлении, если к нему приложено внешнее напряжение: а) создающее напряженность электрического поля, которая противоположна по направлению напряженности диффузионного электрического поля; б) “плюсом” к р-области, а “минусом” к n-области; в) “минусом” к р-области, а “плюсом” к n-области; г) уменьшающее суммарную напряженность электрического поля в переходе.
- Какой характер носит изменение напряженности диффузионного электрического поля в области пространственного заряда ступенчатого р-п-перехода: а) линейный; б) кусочно-линейный; в) квадратичный; г) экспоненциальный.
- Какой характер носит изменение потенциала диффузионного электрического поля в области пространственного заряда ступенчатого р-п-перехода: а) линейный; б) кусочно-линейный; в) квадратичный; г) экспоненциальный.
- Как изменяется высота потенциального барьера р-п-перехода с изменением температуры и концентрации примесей в прилегающих к переходу областях: а) возрастает при увеличении концентрации примесей в соответствующих областях; б) уменьшается при увеличении концентрации примесей в соответствующих областях; в) уменьшается с увеличением температуры; г) возрастает с увеличением температуры.
- Базой полупроводникового прибора называют: а) область, в которую происходит

- инжекция неосновных для этой области носителей заряда; б) область, в которую происходит экстракция основных для этой области носителей заряда; в) область, из которой происходит инжекция основных для этой области носителей заряда; г) область, из которой происходит экстракция неосновных для этой области носителей заряда.
8. Эмиттером полупроводникового прибора называют: а) область, в которую происходит инжекция неосновных для этой области носителей заряда; б) область, в которую происходит экстракция основных для этой области носителей заряда; в) область, из которой происходит инжекция основных для этой области носителей заряда; г) область, из которой происходит экстракция неосновных для этой области носителей заряда.
  9. Электронно-дырочный переход смещен в прямом направлении, если к нему приложено внешнее напряжение: а) полярность которого совпадает с полярностью контактной разности потенциалов; б) создающее напряженность электрического поля, которая противоположна по направлению напряженности диффузионного электрического поля; в) “плюсом” к р-области, а “минусом” к н-области; г) “минусом” к р-области, а “плюсом” к н-области.
  10. Диффузионная емкость р-н-перехода: а) определяется изменением неподвижных зарядов в обедненном слое р-н-перехода под действием приложенного напряжения; б) определяется изменением заряда носителей, инжектированных в базу; в) проявляется при прямом напряжении; г) проявляется при обратном напряжении.
  11. Контакт металл-полупроводник обладает выпрямительными свойствами: а) в режиме обеднения; б) в режиме обогащения; в) в режиме слабой инверсии; г) в режиме сильной инверсии.
  12. Диоды Шоттки по сравнению с кремниевыми полупроводниковыми диодами на основе р-н-перехода характеризуются: а) более высоким быстродействием; б) большими прямыми падениями напряжения; в) более высокими пробивными напряжениями; г) большими обратными токами.
  13. Определите режим работы биполярного р-н-р-транзистора, если напряжение база-эмиттер  $U_{бэ}=-0,4$  В, а напряжение коллектор эмиттер  $U_{кэ}=-5,0$  В. а) насыщения; б) отсечки; в) нормальный активный; г) инверсный активный.
  14. Определите режим работы биполярного транзистора, если эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный - в обратном. а) инверсный активный; б) нормальный активный; в) насыщения; г) отсечки.
  15. Определите режим работы биполярного транзистора, если оба рп-перехода смещены в обратном направлении. а) инверсный активный; б) нормальный активный; в) насыщения; г) отсечки.
  16. Характер передаточных характеристик полевого транзистора с управляющим рп-переходом определяется уменьшением тока стока а) при уменьшении обратного напряжения на управляющем переходе; б) при увеличении обратного напряжения на управляющем переходе; в) при уменьшении прямого напряжения на управляющем переходе; г) при увеличении прямого напряжения на управляющем переходе;
  17. МДП-транзистор с индуцированным каналом работает а) только в режиме обеднения; б) только в режиме обогащения; в) и в режиме обеднения и в режиме обогащения; г) в меньшей степени в режиме обогащения и в большей степени в режиме обеднения.
  18. Начальный ток стока полевого транзистора с управляющим р-н-переходом 3 мА. Напряжение отсечки равно 3 В. Определите максимальную (начальную) крутизну транзистора. а) 1 мА/В; б) 1,5 мА/В; в) 2 мА/В; г) 3 мА/В.
  19. Определите крутизну МДП-транзистора с индуцированным каналом н-типа, если удельная крутизна равна  $0,3 \text{ мА/В}^2$ , пороговое напряжение равно 2 В, а напряжение затвор-исток равно 4 В. а) 0,3 мА/В; б) 0,6 мА/В; в) 0,9 мА/В; г) 1,2 мА/В.
  20. МДП-транзистор работает в ключевом режиме. Определите сопротивление транзистора во включенном состоянии, если удельная крутизна равна  $0,5 \text{ мА/В}^2$ , пороговое напряжение 1 В, а напряжение затвор-исток равно 5 В. а) 50 Ом; б) 100 Ом; в) 500 Ом; г) 750 Ом.

### **9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов**

1. Кристалл кремния содержит  $10^{17}$  атомов бора в  $1\text{см}^3$ . Определить “расстояние” между уровнем Ферми и серединой запрещенной зоны при температуре  $T = 300\text{K}$ . а) 0,223 Эв; б)

- 0,308 Эв; в) 0,416 Эв; г) 0,609 Эв.
2. Определить концентрацию электронов при  $T = 300\text{K}$  в собственном кремниевом полупроводнике. а)  $10^7 \text{ см}^{-3}$ ; б)  $10^8 \text{ см}^{-3}$ ; в)  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ ; г)  $10^{12} \text{ см}^{-3}$ .
  3. Определить концентрацию электронов при  $T = 300\text{K}$  в кристалле кремния, содержащем  $5 \times 10^{17}$  атомов сурьмы в  $1\text{cm}^{-3}$ . а)  $3 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ; б)  $4 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ; в)  $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ; г)  $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .
  4. Определить отношение электронного дрейфового тока к дырочному дрейфовому току при  $T = 300\text{K}$  для кремния п-типа с удельным сопротивлением  $5 \text{ Ом} \times \text{см}$ . а)  $1,14 \times 10^9$ ; б)  $1,97 \times 10^9$ ; в)  $2,23 \times 10^9$ ; г)  $3,16 \times 10^9$ .
  5. Определить подвижность электронов в кремнии при  $T = 300\text{K}$ , если коэффициент диффузии электронов равен  $31 \text{ см}^2/\text{с}$ . а)  $700 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ ; б)  $900 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ ; в)  $1200 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ ; г)  $1400 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ .
  6. Определить удельное сопротивление собственного кремния при температуре  $T = 300\text{K}$ . а)  $1,29 \times 10^5 \text{ Ом} \times \text{см}$ ; б)  $2,29 \times 10^5 \text{ Ом} \times \text{см}$ ; в)  $3,29 \times 10^5 \text{ Ом} \times \text{см}$ ; г)  $4,29 \times 10^5 \text{ Ом} \times \text{см}$ .
  7. Дрейфовый ток плотностью  $10 \text{ мА/см}^2$  протекает через кристалл кремния р-типа с удельным сопротивлением  $5 \text{ Ом} \times \text{см}$ . Определить среднюю скорость дрейфа дырок. а)  $20 \text{ см/с}$ ; б)  $30 \text{ см/с}$ ; в)  $40 \text{ см/с}$ ; г)  $50 \text{ см/с}$ .
  8. На сколько процентов увеличится коэффициент диффузии невырожденного полупроводника, если при увеличении температуры на  $10 \%$  подвижность носителей изменилась на  $1 \%$ . а) на  $5,9 \%$ ; б) на  $7,9 \%$ ; в) на  $8,9 \%$ ; г) на  $9,9 \%$ .
  9. Обратный ток насыщения электронно-дырочного перехода равен  $10 \text{ мкА}$ . К переходу приложено прямое напряжение, равное  $0,5 \text{ В}$ . Найти отношение прямого тока к обратному при  $T = 300\text{K}$ . а)  $12,6 \times 10^7$ ; б)  $16,2 \times 10^7$ ; в)  $21,8 \times 10^7$ ; г)  $26,3 \times 10^7$ .
  10. Определить контактную разность потенциалов кремниевого р-п-перехода при  $T = 300\text{K}$ , если концентрация акцепторных примесей равна  $2 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ , а концентрация донорных примесей  $5 \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$ . а)  $216 \text{ мВ}$ ; б)  $359 \text{ мВ}$ ; в)  $432 \text{ мВ}$ ; г)  $618 \text{ мВ}$ .

### **9.1.3. Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы**

Твердотельная электроника.

Расчет полевого транзистора с управляющим р-п-переходом.

Расчет полевого транзистора с изолированным затвором и индуцированным каналом.

1. Определить концентрацию электронов в кремнии п-типа при  $T = 300\text{K}$ , если его удельная проводимость составляет  $0,1 \text{ См/см}$ . а)  $2,15 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ; б)  $3,02 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ; в)  $4,47 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ; г)  $6,14 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ .
2. Подвижность дырок в монокристалле кремния при температуре  $T = 300\text{K}$  равна  $500 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ . Определить коэффициент диффузии дырок в  $\text{см}^2/\text{с}$ . а)  $8,2$ ; б)  $12,9$ ; в)  $14,3$ ; г)  $16,9$ .
3. Определить удельную проводимость образца кремния (в  $\text{мкСм/см}$ ) при температуре  $T=300\text{K}$ , если концентрация акцепторов в полупроводнике  $2,3 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$  и концентрация доноров  $2,2 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Подвижность электронов и дырок в кремнии  $1500 \text{ см}^2/(\text{Вс})$  и соответственно  $600 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ . а)  $43$ ; б)  $78$ ; в)  $96$ ; г)  $112$ .
4. Электронно-дырочный переход, имеющий обратный ток насыщения  $25 \text{ мкА}$ , работает при прямом напряжении, равном  $0,1 \text{ В}$ , и температуре  $T = 300\text{K}$ . Определить сопротивление перехода постоянному току. Ответ дать в  $\text{Ом}$ . а)  $60$ ; б)  $70$ ; в)  $85$ ; г)  $95$ .
5. У биполярного транзистора типа п-р-п напряжение база-эмиттер  $U_{бэ} = -0,6 \text{ В}$ , а напряжение коллектор-эмиттер  $U_{кэ} = -0,9 \text{ В}$ . В каком режиме работает транзистор: а) отсечки; б) насыщения; в) нормальном активном; г) инверсном активном.
6. Определить коэффициент передачи по току усилительного каскада с общей базой, если амплитуда переменной составляющей тока коллектора равна  $3,9 \text{ мА}$ , а амплитуда переменной составляющей тока эмиттера равна  $4 \text{ мА}$ . а)  $0,54$ ; б)  $0,62$ ; в)  $0,76$ ; г)  $0,98$ .
7. Наиболее легированной областью биполярного транзистора является: а) область эмиттера; б) область коллектора; в) область базы; г) области эмиттера и базы легированы одинаково.
8. Статическая выходная характеристика биполярного транзистора в схеме с общей базой представляет собой зависимость: а) тока коллектора от напряжения коллектор-база при

- фиксированном токе эмиттера; б) тока коллектора от напряжения коллектор-база при фиксированном токе базы; в) тока коллектора от напряжения коллектор-база при фиксированном напряжении базаэмиттер; г) тока коллектора от напряжения эмиттер-база при фиксированном токе эмиттера
9. Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом и каналом р-типа имеет начальный ток стока, равный 2 мА и напряжение отсечки, равное 5 В. Определить крутизну транзистора при напряжении  $U_{зи} = 2,5$  В. а) 0,4 мА/В; б) 0,8 мА/В; в) 1,2 мА/В; г) 1,6 мА/В.
  10. Определить минимальную длину световой волны (в нм), для которой арсенид галлия, имеющий ширину запрещенной зоны 1,43 эВ при температуре  $T = 300$ К, является оптически прозрачным. а) 412; б) 618; в) 869; г) 980.

#### **9.1.4. Темы лабораторных работ**

1. Исследование статических параметров биполярного транзистора.
2. Исследование полевого транзистора с управляющим р-п-переходом.

#### **9.2. Методические рекомендации**

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;
- если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;
- осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе по дисциплине.

#### **9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка

С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

#### **9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ  
протокол № 140 от «31» 1 2023 г.

### СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94- b533-6139893cf5a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49- aef0-5584d3fd4820
Декан ФДО	И.П. Черкашина	Согласовано, 4580bdea-d7a1-4d22- bda1-21376d739cfcc

### ЭКСПЕРТЫ:

Старший преподаватель, каф. ТЭО	А.В. Гураков	Согласовано, 4bfa5749-993c-4879- adcf-c25c69321c91
Заведующий кафедрой, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49- aef0-5584d3fd4820

### РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ПрЭ	Н.С. Легостаев	Разработано, 6332ca5f-c16e-4579- bbc4-ee49773dfd8d
Ассистент, каф. ТЭО	Ю.Л. Замятин	Разработано, 1663c03a-62e7-4092- 902a-95591a9d4047