

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

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Владелец: Семенко Павел Васильевич

Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

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

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
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
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
Профессиональные компетенции		

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
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	20	20
Лабораторные занятия	8	8

Самостоятельная работа под руководством преподавателя	8	8
Контрольные работы	4	4
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	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
Подготовка и сдача экзамена	9	9
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	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
4 семестр						
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
4 семестр			

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	1	
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. 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.	1	ОПК-1
	Итого	1	
3 Полупроводниковые диоды	Общие сведения. Выпрямительные диоды. Импульсные диоды. Диоды Шоттки. Стабилитроны и стабисторы. Варикапы. Туннельные диоды и обращенные диоды	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	

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	1	
5 Тиристоры	Диодные тиристоры. Триодные тиристоры. Симметричные тиристоры. Способы управления тиристорами	1	ОПК-1
	Итого	1	
6 Полевые транзисторы	Полевые транзисторы с управляющим переходом. Статические характеристики полевых транзисторов с управляющим р-n-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	1	
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	Классификация оптоэлектронных приборов. Фототранзисторы. Оптоэлектронные пары.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	

8 Полупроводниковые термоэлектрические и гальваномагнитные приборы	Терморезисторы. Полупроводниковые термоэлектрические устройства. Полупроводниковые гальваномагнитные приборы.	1	ОПК-1, ПК-1
	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
4 семестр			
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
4 семестр			
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 (курсовой 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
4 семестр				

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 нанoeлектроника, 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-dannyh>.

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 комфортного 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 гальваномагнитные 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 фрагментарное 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 ориентирования , 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 репродуктивном уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на аналитическом 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 системном 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

1. 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.
2. 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 $L=Dt$.
3. Электронно-дырочный переход смещен 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.
4. Какой характер носит изменение напряженности диффузионного электрического поля в области пространственного заряда ступенчатого р-n-перехода: а) линейный; б) кусочно-линейный; в) квадратичный; г) экспоненциальный.
5. Какой характер носит изменение потенциала диффузионного электрического поля в области пространственного заряда ступенчатого р-n-перехода: а) линейный; б) кусочно-линейный; в) квадратичный; г) экспоненциальный.
6. Как изменяется высота потенциального барьера р-n-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.
7. 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 п-области; г) “минусом” к р-области, а “плюсом” к п-области.
 10. Диффузионная емкость р-п-перехода: а) определяется изменением неподвижных зарядов в обедненном слое р-п-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-п-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-п-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-п-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 п-типа, если удельная крутизна равна $0,3$ мА/В², 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 $0,5$ мА/В², 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 1см^3 . Определить “расстояние” между уровнем Ферми и серединой запрещенной зоны при температуре $T = 300\text{К}$. 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 см^{-3} ; б) 10^8 см^{-3} ; в) 10^{10} см^{-3} ; г) 10^{12} см^{-3} .
 3. Определить концентрацию электронов при $T = 300\text{K}$ в кристалле кремния, содержащем 5×10^{17} атомов сурьмы в 1 см^{-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 n-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 $10\text{ мА}/\text{см}^2$ протекает через кристалл кремния p-типа с удельным сопротивлением $5\text{ Ом} \times \text{см}$. Определить среднюю скорость дрейфа дырок. а) $20\text{ см}/\text{с}$; б) $30\text{ см}/\text{с}$; в) $40\text{ см}/\text{с}$; г) $50\text{ см}/\text{с}$.
 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 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 кремниевое p-n-перехода при $T = 300\text{K}$, 14 42178 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 мВ ; б) 359 мВ ; в) 432 мВ ; г) 618 мВ .

9.1.3. Примерный перечень тем и тестовых заданий на контрольные работы

Твердотельная электроника.

Расчет полевого транзистора с управляющим p-n-переходом.

Расчет полевого транзистора с изолированным затвором и индуцированным каналом.

1. Определить концентрацию электронов в кремнии n-типа при $T = 300\text{K}$, если его удельная проводимость составляет $0,1\text{ См}/\text{см}$. 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 $\text{мкСм}/\text{см}$) 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 мкА , работает при прямом напряжении, равном $0,1\text{ В}$, и температуре $T = 300\text{K}$. Определить сопротивление перехода постоянному току. Ответ дать в Ом. а) 60 ; б) 70 ; в) 85 ; г) 95 .
5. У биполярного транзистора типа n-p-n 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 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- b533-6139893cfd5a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49- aef0-5584d3fd4820
Декан ФДО	И.П. Черкашина	Согласовано, 4580bdea-d7a1-4d22- bda1-21376d739cfc

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. Замятина	Разработано, 1663c03a-62e7-4092- 902a-95591a9d4047