МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы микроэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**
Направленность (профиль) / специализация: **Системы радиосвязи и радиодоступа**
Форма обучения: **заочная (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий)**
Факультет: **ФДО, Факультет дистанционного обучения**
Кафедра: **ТОР, Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2014 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	3 семестр	Всего	Единицы
1	Самостоятельная работа под руководством преподавателя	8	8	часов
2	Лабораторные работы	4	4	часов
3	Контроль самостоятельной работы	2	2	часов
4	Всего контактной работы	14	14	часов
5	Самостоятельная работа	90	90	часов
6	Всего (без экзамена)	104	104	часов
7	Подготовка и сдача зачета	4	4	часов
8	Общая трудоемкость	108	108	часов
			3.0	З.Е.

Контрольные работы: 3 семестр - 1
Зачет: 3 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 46137

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 55 от « 29 » 8 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, утвержденного 06.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТУ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

старший преподаватель каф. ТЭО	_____	А. В. Гураков
профессор каф. ТУ	_____	А. М. Заболоцкий
Заведующий обеспечивающей каф. ТУ	_____	Т. Р. Газизов

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФДО	_____	И. П. Черкашина
Заведующий выпускающей каф. ТОР	_____	А. А. Гельцер

Эксперты:

Доцент кафедры технологий электронного обучения (ТЭО)	_____	Ю. В. Морозова
Доцент кафедры телевидения и управления (ТУ)	_____	А. Н. Булдаков

Согласована на портале № 46137

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью преподавания дисциплины является изучение студентами физических эффектов и процессов, лежащих в основе принципов действия полупроводниковых приборов.

1.2. Задачи дисциплины

– В результате изучения дисциплины у студентов должны сформироваться знания, умения и навыки, позволяющие проводить самостоятельный анализ физических эффектов и процессов, определяющих принципы действия основных полупроводниковых приборов, как изучаемых в настоящей дисциплине, так и находящихся за её рамками.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физические основы микроэлектроники» (Б1.В.ДВ.6.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Теория электрических цепей, Физика.

Последующими дисциплинами являются: Моделирование устройств для систем беспроводной связи, Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей, Радиоавтоматика, Радиопередающие устройства систем радиосвязи и радиодоступа, Схемотехника телекоммуникационных устройств.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-7 готовностью к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** физические явления и эффекты, определяющие принцип действия основных полупроводниковых приборов; зонные диаграммы собственных и примесных полупроводников, pn- перехода, контакта металл- полупроводник и простейшего гетероперехода; физические процессы, происходящие на границе раздела различных сред; математическую модель идеализированного p-n- перехода и влияние на ВАХ ширины запрещённой зоны (материала), температуры и концентрации примесей; физический смысл основных параметров и основные характеристики электрических контактов различного вида в полупроводниковой электронике; физические процессы в структурах с взаимодействующими p-n- переходами и в структурах металл-диэлектрик-полупроводник; взаимосвязь между физической реализацией полупроводниковых структур и их моделями, электрическими характеристиками и параметрами; влияние температуры на физические процессы в структурах и их характеристики; основные технологические процессы в микроэлектронике; области применения микроэлектронных приборов и датчиков в науке и технике.

– **уметь** находить значения электрофизических параметров полупроводниковых материалов (кремния, германия, арсенида галлия) в учебной и справочной литературе для оценки их влияния на параметры структур; изображать структуры с различными контактными переходами; объяснять принцип действия и составлять электрические и математические модели рассматриваемых структур; объяснять связь физических параметров со статическими характеристиками и параметрами изучаемых структур; экспериментально определять статические характеристики и параметры различных структур.

– **владеть** навыками изображения полупроводниковых структур с использованием зонных энергетических диаграмм; навыками составления эквивалентных схем изучаемых структур; навыками работы с типовыми средствами измерений с целью комплексной оценки основных параметров и статических характеристик изучаемых структур.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Согласована на портале № 46137

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		3 семестр
Контактная работа (всего)	14	14
Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СРП)	8	8
Лабораторные работы	4	4
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2
Самостоятельная работа (всего)	90	90
Подготовка к контрольным работам	42	42
Оформление отчетов по лабораторным работам	4	4
Подготовка к лабораторным работам	9	9
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	35	35
Всего (без экзамена)	104	104
Подготовка и сдача зачета	4	4
Общая трудоемкость, ч	108	108
Зачетные Единицы	3.0	

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	СРП, ч	Лаб. раб., ч	КСР, ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
3 семестр						
1 Элементы физики твердого тела	1	0	2	11	12	ПК-7
2 Физика полупроводников	1	0		11	12	ПК-7
3 Электропроводность твердых тел	1	0		11	12	ПК-7
4 Физика p-n перехода	2	4		24	30	ПК-7
5 Поверхностные явления в полупроводниках	1	0		11	12	ПК-7
6 Гальваномагнитные, термомагнитные и термоэлектрические явления	1	0		11	12	ПК-7
7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	1	0		11	12	ПК-7
Итого за семестр	8	4	2	90	104	
Итого	8	4	2	90	104	

5.2. Содержание разделов дисциплины (самостоятельная работа под руководством преподавателя)

Согласована на портале № 46137

Содержание разделов дисциплин (самостоятельная работа под руководством преподавателя) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (самостоятельная работа под руководством преподавателя)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (самостоятельная работа под руководством преподавателя)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
1 Элементы физики твердого тела	Кристаллические и аморфные твердые тела. Типы кристаллических решеток. Дефекты в кристаллах. Тепловые колебания в твердых телах. Понятие о фононах. Теплоемкость, теплопроводность и тепловое расширение твердых тел. Статистический подход для описания свойств твердых тел. Понятие о функциях распределения и функциях плотности состояний. Фермионы и бозоны. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Энергия Ферми. Вырожденное и невырожденное состояния. Бозеконденсация. Зонная теория твердого тела. Электрон в периодическом потенциальном поле. Модель Кронига-Пенни. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса носителей заряда. Зонная структура диэлектриков, полупроводников, металлов.	1	ПК-7
	Итого	1	
2 Физика полупроводников	Собственная проводимость полупроводников. Электроны и дырки. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми. Зависимость концентрации носителей от температуры. Примесная проводимость полупроводников. Акцепторные и донорные примесные атомы. Энергия активации. Уравнение баланса носителей заряда в полупроводнике. Температурная зависимость равновесной концентрации примесных носителей заряда. Закон действующих масс. Компенсированные полупроводники. Неравновесные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми. Рекомбинация, ее механизмы. Время жизни носителей заряда. Излучательная рекомбинация. Основные полупроводники, применяемые в микроэлектронике (кремний, германий, арсенид галлия), их свойства.	1	ПК-7
	Итого	1	

Согласована на портале № 46137

3 Электропроводность твердых тел	Классическая теория электропроводности, ее недостатки. Влияние электрического поля на функцию распределения носителей заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Уравнения Ланжевена. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электрон-фононное рассеяние. Рассеяние на дефектах кристаллической решетки. Температурные зависимости подвижности и концентрации носителей заряда в металлах. Температурная зависимость удельной проводимости металлов. Основные механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводников. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока. Коэффициент диффузии носителей 7 заряда. Соотношение Эйнштейна. Монополярная и биполярная диффузия носителей заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Эффекты сильного поля. Термоэлектронная ионизация, ударная ионизация, электростатическая ионизация. Типы вольтамперных характеристик в полупроводниках. ВАХ S и N типа. Эффект Ганна. Понятие о доменах. СВЧ-генераторы на эффекте Ганна.	1	ПК-7
	Итого	1	
4 Физика p-n перехода	Контактные явления. Работа выхода из металлов и полупроводников. Термоэлектронная эмиссия. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Контакт металл-полупроводник в равновесном и неравновесном состояниях. Приконтактные слои обеднения, обогащения, инверсии. Эффект Шоттки. Толщина обедненного слоя. Распределение потенциала Диод Шоттки. ВАХ диода Шоттки. P-n переход, его энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Обедненный слой, электрические поля в обедненном слое. Резкий и плавный p-n переходы. Толщина обедненного слоя. Контактная	2	ПК-7

Согласована на портале № 46137

	разность потенциалов. Обратный ток p-n перехода, его составляющие. ВАХ p-n перехода. Зарядная и диффузионная емкости p-n перехода. Пробой p-n перехода и его механизмы (лавинный, туннельный, тепловой). Полупроводниковые приборы на основе p-n перехода. Выпрямительные диоды. Структура и физика работы биполярного транзистора, его энергетическая диаграмма. Инжекция носителей. Активный режим, режимы насыщения и отсечки. Схема с общей базой, общим эмиттером и коллектором. Коэффициент усиления по току. Эффективности эмиттера и коллектора, коэффициент переноса неосновных носителей заряда в базе. Переходные процессы в биполярном транзисторе. Частота отсечки. Теория туннельного эффекта. Туннельный диод. Энергетические диаграммы, принцип действия, ВАХ. Лавинно-пролетный диод. Лавинное умножение и дрейф. Характеристики лавинно-пролетных диодов.		
	Итого	2	
5 Поверхностные явления в полупроводниках	Поверхностные состояния в полупроводнике. Приповерхностный слой объемного заряда. Поверхностная проводимость. Эффект поля. МДПструктуры. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. ВАХ этих приборов. Влияние зависимости подвижности от поля. Ток насыщения, крутизна характеристики. МДП (МОП)-транзисторы. Идеальная МДП-структура. Эффект поля. МДП-транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. ВАХ МДП-транзистора. Режимы обеднения, обогащения, инверсии. Приближенная модель и ее уточнение. Роль поверхност8 ных состояний. Разновидности МОП-транзисторов. Высокочастотные МОП-транзисторы. Переходные процессы в полевых транзисторах. Эквивалентная схема МОП-транзистора.	1	ПК-7
	Итого	1	
6 Гальваномагнитные, термомагнитные и	Движение носителей заряда при наличии магнитного поля. Магнетосопротивление,	1	ПК-7

Согласована на портале № 46137

термоэлектрические явления	эффект Холла и его применения. Эффекты Нернста, РигиЛедюка, Эттинсгаузена. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона, области их применения.		
	Итого	1	
7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Спектры испускания и поглощения. Типы центров поглощения в полупроводниках. Понятие об экситонах. Люминесценция полупроводников. Основные законы люминесценции. Виды люминесценции. Фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Фотопроводимость при импульсном освещении. Фотоэлектрические эффекты. Устройство, принцип действия, основные характеристики фоторезистора, фотодиода, фотоэлемента, фототранзистора. Светодиоды. Фотовольтаический эффект. Понятие о гетеропереходах. Солнечные батареи. Оптические системы в микроэлектронике. Оптические волноводы. Принцип действия лазеров и мазеров. Полупроводниковые лазеры.	1	ПК-7
	Итого	1	
Итого за семестр		8	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин						
	1	2	3	4	5	6	7
Предшествующие дисциплины							
1 Теория электрических цепей	+	+	+	+	+	+	+
2 Физика	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины							
1 Моделирование устройств для систем беспроводной связи	+	+	+	+	+	+	+
2 Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей	+	+	+	+	+	+	+
3 Радиоавтоматика	+	+	+	+	+	+	+
4 Радиопередающие устройства систем радиосвязи и радиодоступа	+	+	+	+	+	+	+

Согласована на портале № 46137

5 Схемотехника телекоммуникационных устройств	+	+	+	+	+	+	+

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	СРП	Лаб. раб.	КСР	Сам. раб.	
ПК-7	+	+	+	+	Контрольная работа, Проверка контрольных работ, Отчет по лабораторной работе, Зачет, Тест

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
4 Физика p-n перехода	Исследование вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов.	4	ПК-7
	Итого	4	
Итого за семестр		4	

8. Контроль самостоятельной работы

Виды контроля самостоятельной работы приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Виды контроля самостоятельной работы

№	Вид контроля самостоятельной работы	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции
3 семестр			
1	Контрольная работа	2	ПК-7
Итого		2	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
3 семестр				
1 Элементы физики твердого тела	Самостоятельное изучение тем (вопросов)	5	ПК-7	Зачет, Контрольная работа, Тест

Согласована на портале № 46137

	теоретической части курса			
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	11		
2 Физика полупроводников	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	5	ПК-7	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	11		
3 Электропроводность твердых тел	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	5	ПК-7	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	11		
4 Физика p-n перехода	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	5	ПК-7	Зачет, Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Подготовка к лабораторным работам	9		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	24		
5 Поверхностные явления в полупроводниках	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	5	ПК-7	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	11		
6 Гальваномагнитные, термомагнитные и термоэлектрические явления	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	5	ПК-7	Зачет, Контрольная работа, Тест

Согласована на портале № 46137

	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	11		
7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	5	ПК-7	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	11		
	Выполнение контрольной работы	2	ПК-7	Контрольная работа
Итого за семестр		90		
	Подготовка и сдача зачета	4		Зачет
Итого		94		

10. Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа)

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется.

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Несмелов Н. С. Физические основы микроэлектроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов / Н. С.Несмелов, М. М. Славникова, А. А. Широков. -Томск, ТУСУР, 2000, - 236 с. Доступ из личного кабинета студента. — Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 13.09.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств. Интегральные схемы [Электронный ресурс]: учебник для бакалавриата и магистратуры / Ю. В. Гуляев [и др.] — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 460 с. — Режим доступа: https://biblio-online.ru/viewer/0AD1F34E-B7E1-4459-A2CE-57FFBC1AE691 (дата обращения: 13.09.2018).

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физические основы микроэлектроники [Электронный ресурс]: Учебное методическое пособие / Н.С. Несмелов, М.М. Славникова. − Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002. − 122 с. Доступ из личного кабинета студента. — Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 13.09.2018).

2. Несмелов Н. С. Физические основы микроэлектроники: электронный курс / Н.С. Несмелов. – Томск: ФДО, ТУСУР, 2018. Доступ из личного кабинета студента.

3. Заболоцкий, А. М. Исследование вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторной работе / А. М. Заболоцкий, В. А. Шалимов. — Томск: ТУСУР, 2018. — 11 с. Доступ из личного кабинета студента. — Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 13.09.2018).

4. Заболоцкий А.М. Физические основы микроэлектроники [Электронный ресурс]: методические указания по организации самостоятельной работы для студентов заочной формы обучения направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий / А. М. Заболоцкий, Т.

Согласована на портале № 46137

Р. Газизов. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2018. Доступ из личного кабинета студента. — Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 13.09.2018).

12.3.2. 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.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Рекомендуется использовать источники из списка https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh (со свободным доступом). ЭБС «Юрайт»: www.biblio-online.ru (доступ из личного кабинета студента по ссылке https://biblio.fdo.tusur.ru/). ЭБС «Лань»: www.e.lanbook.com (доступ из личного кабинета студента по ссылке http://lanbook.fdo.tusur.ru).

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Кабинет для самостоятельной работы студентов

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы

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

Описание имеющегося оборудования:

- Коммутатор MicroTeak;
- Компьютер PENTIUM D 945 (3 шт.);
- Компьютер GELERON D 331 (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-zip (с возможностью удаленного доступа)
- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows (с возможностью удаленного доступа)
- Microsoft Windows
- OpenOffice (с возможностью удаленного доступа)

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Кабинет для самостоятельной работы студентов

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы

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

Описание имеющегося оборудования:

Согласована на портале № 46137

- Коммутатор MicroTeak;
- Компьютер PENTIUM D 945 (3 шт.);
- Компьютер GELERON D 331 (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:
- 7-zip (с возможностью удаленного доступа)
- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows (с возможностью удаленного доступа)
- Microsoft Windows
- OpenOffice (с возможностью удаленного доступа)

13.1.3. 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, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:
- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

13.2. 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 зрениями** 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.

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Согласована на портале № 46137

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

1. Какие типы полупроводниковых материалов используются при создании p-n переходов:
а) «n» полупроводниковые материалы.
б) «p» полупроводниковые материалы.
в) «i» полупроводниковые материалы.
г) «p-n».

2. Какой полупроводниковый материал обеспечивает наибольшую рабочую температуру:
а) Ge.
б) Si.
в) GaAs.

3. Какой полупроводниковый материал диода обеспечивает наибольшую рабочую частоту:
а) Ge.
б) Si.
в) GaAs.

4. При каком включении диода на p-n переходе выделяется наибольшая мощность:
а) Обратном.
б) Прямом.
в) В области пробоя.

5. Для чего одну из областей p-n перехода выполняют относительно, высокоомной:
а) Для увеличения быстродействия.
б) Для увеличения максимального тока.
в) Для увеличения напряжения пробоя.

6. Как меняется емкость p-n перехода при обратном включении и увеличении запирающего
г) напряжения:
д) Увеличивается.
е) Не меняется.
ж) Уменьшается.

7. В области пробоя сопротивление p-n перехода:
а) Rпер→∞.
б) Rпер=0.
в) Rпер неизменно.

8. Для увеличения быстродействия полупроводникового прибора материал p-n перехода:
а) Слабо легируют.
б) Сильно легируют.
в) Выполняют из i полупроводника.

9. При прямом включении p-n перехода сопротивление перехода:
а) Rпер→∞.
б) Rпер=0.
в) Rпер неизменно.

10. В какой схеме включения биполярные транзисторы имеют максимальный коэффициент усиления по мощности:
а) ОБ.

Согласована на портале № 46137

б) ОК.
в) ОЭ.

11. При каком включении диода на p-n переходе выделяется наименьшая мощность:
а) Обратном.
б) Прямом.
в) В области пробоя.

12. В какой схеме включения биполярные транзисторы имеют максимальное входное сопротивление:
а) ОБ.
б) ОК.
в) ОЭ.

13. В какой схеме включения биполярные транзисторы имеют наилучшие частотные свойства:
а) ОБ.
б) ОК.
в) ОЭ.

14. Диодный оптрон это:
а) Светодиод.
б) Фотодиод.
в) Свето- и фотодиод в одном корпусе.

15. В каких режимах могут работать фотодиоды:
а) Преобразовывать свет-сигнал.
б) Фотогенераторы.
в) Преобразовывать переменное напряжение в постоянное.

16. Для полевого транзистора с индуцированным «n» каналом в схеме «общий исток» при увеличении отрицательного напряжения на затворе ток стока:
а) Уменьшается.
б) Увеличивается.
в) Остается неизменным.
г) Равен 0.

17. Для полевого транзистора с встроенным «p» каналом в схеме с общим истоком при увеличении отрицательного напряжения на затворе ток стока:
а) Уменьшается.
б) Увеличивается.
в) Не меняется.

18. Из какого полупроводникового материала следует изготовить полевые транзисторы, обладающие максимальным быстродействием:
а) Ge
б) Si
в) nGaAs
г) pGaAs
д) InN (Нитрид индия)

19. Какой из видов полевых транзисторов обладает наименьшей чувствительностью к электростатическому пробою:
а) Полевые транзисторы со встроенным каналом.

Согласована на портале № 46137

б) Полевые транзисторы с индуцированным каналом.
в) Полевые транзисторы с «p-n» переходом.

20. Для управления током стока полевым транзисторам требуется изменять:
а) Ток затвора.
б) Напряжение Uси.
в) Напряжение Uзи.

14.1.2. Темы контрольных работ

Физические основы микроэлектроники

1. Вычислите длину волны де Бройля абсолютно свободного электрона с энергией E=100 эВ.

2. Протону с энергией E_1 соответствует длина волны λ=4,8 нм. Вычислите длину волны указанной свободной микрочастицы, если ее энергия увеличилась в четыре раза.

3. Определите с точностью до 0,001 вероятность заполнения электронами квантовых состояний, расположенных на 0,01 эВ выше уровня Ферми в вырожденном полупроводнике при температуре 500 С.

4. Определите с точностью до 0,001 вероятность заполнения электронами невырожденных квантовых состояний, расположенных на 0,01 эВ выше уровня Ферми при температуре 500 С.

5. Определите дрейфовые скорости электронов в образцах кремния (Si), германия (Ge), арсенида галлия (GaAs), арсенида индия (InAs) и антимонида индия (InSb) n-типа проводимости при T=300 К в электрическом поле напряженностью 100 В/м, если подвижности основных носителей заряда в них равны, соответственно, 0,15, 0,39, 0,85, 2,7 и 7,7 $м^2$/В.с.

6. Определите подвижности электронов в дырочных германии, кремнии и арсениде галлия при T=300 К, если в электрическом поле напряженностью 2000 В/м они имеют дрейфовые скорости 780, 300 и 1700 м/с, соответственно. в образце арсенида галлия длиной L=100 мкм, если домен перемещается от катода к аноду с дрейфовой скоростью носителей заряда υ_d=107 см/с.

7. Определите частоту сверхвысокочастотных колебаний электрического тока в образце арсенида галлия толщиной 9 мкм, если после возникновения колебаний напряженность поля вне домена равна 0,2×105 В/м, а подвижность электронов в нижней долине μ_n= 0,86 $м^2$/В·с.

8. Вычислите при температуре T=10 К концентрацию электронов в случае их монополярной генерации в германии с примесью сурьмы (Sb) с концентрацией 3×10^{21} $м^{-3}$, которые образуют в запрещенной зоне уровень, расположенный на 0,0096 эВ ниже дна зоны проводимости. Эффективная плотность состояний в зоне проводимости при температуре T=10 К равна 7×10^{23} $м^{-3}$.

9. Вычислите концентрацию дырок для случая их монополярной генерации при T=50 К в кристалле кремния с примесью атомов бора (B) с концентрацией 4×10^{22} $м^{-3}$, которые образуют в запрещенной зоне уровень, расположенный на 0,045 эВ выше потолка валентной зоны, если эффективная плотность состояний в валентной зоне равна $6,9\times10^{23}$ $м^{-3}$.

10. В некоторой точке однородного образца германия n-типа генерируются электронно-дырочные пары. Определите диффузионную длину дырок, если концентрация неравновесных носителей на расстоянии x_1=2 мм от точки генерации равна $\Delta p_1=1\times10^{20}$ $м^{-3}$, а на расстоянии x_2=4,3 мм $\Delta p_2=1\times10^{19}$ $м^{-3}$.

11. При генерации неравновесных носителей заряда на верхней плоскости (x=0) пластины германия n-типа концентрация избыточных дырок на глубине x_1=0,5 мм при комнатной температуре составляет $\Delta p(x_1)=3\times10^{21}$ $м^{-3}$, а в плоскости x_2=2,8 мм $\Delta p(x_2)=3\times10^{19}$ $м^{-3}$. Определите время жизни дырок, если коэффициент диффузии неосновных носителей заряда равен 4,4×10-3 $м^2$/с.

12. Чем обусловлена температурная зависимость тока стока в МДП - транзисторах?

13. Что такое фотопроводимость?

14. Что собой представляет полевой транзистор с изолированным затвором?

15. Что собой представляет полевой транзистор с управляющим p-n переходом?

16. Как с физической точки зрения объясняется существование на поверхности полупроводника разрешенных энергетических уровней в запрещенной зоне?

Согласована на портале № 46137

17. Что собой представляет эффект Пельтье?

18. Что собой представляет термоэлектрический эффект в металлах и полупроводниках?

19. Какие электронные процессы протекают в базе p-n-p транзистора при инжекции в нее неосновных носителей заряда?

20. Как изменяется ток основных носителей заряда - дырок и электронов из p- и n-областей в соседние области при прямом смещении p-n перехода?

14.1.3. Зачёт

1. Чем отличаются кристаллические тела от аморфных?

а) у кристаллических тел есть ближний и дальний порядок в расположении атомов;

б) у аморфных тел есть ближний и дальний порядок в расположении атомов;

в) у кристаллических тел наблюдается только ближний порядок;

г) у аморфных тел наблюдается только дальний порядок;

д) в аморфных телах атомы расположены хаотично.

2. Назовите все дефекты, существующие в кристаллах?

а) только кластеры;

б) линейные и винтовые дислокации;

в) междолинные;

г) точечные, линейные, объемные;

д) тепловые дефекты по Шоттки.

3. Что такое энергия активации примесных атомов?

а) энергия, необходимая для перехода примеси в междоузлие;

б) энергетический зазор между примесным уровнем и ближайшей разрешенной зоной;

в) энергия, необходимая для внедрения в кристаллическую решетку;

г) энергия, необходимая для того, чтобы валентный электрон перешел в зону проводимости.

4. Что такое доноры в кремнии?

а) атомы третьей группы таблицы Менделеева;

б) атомы, отдающие энергию при внедрении в кристаллическую решетку;

в) атомы, которые при внедрении в кристаллическую решетку вносят разрешенный уровень, занятый электроном и локализованный вблизи зоны проводимости в запрещенной зоне;

г) атомы, отдающие электрон при внедрении в кристаллическую решетку.

5. Что такое подвижность носителей заряда?

а) полная скорость носителей заряда умноженная на напряженность электрического поля;

б) полная скорость носителей заряда в единичном электрическом поле;

в) полная скорость носителей заряда, деленная на напряженность электрического поля;

г) дрейфовая скорость носителей заряда в направлении единичного электрического поля.

6. Что такое время жизни неравновесных носителей заряда?

а) время между двумя столкновениями носителей;

б) интервал времени от момента генерации до момента рекомбинации носителей заряда;

в) время, в течение которого энергия неравновесных носителей заряда уменьшается в e=2.72раз;

г) среднее время существования неравновесных носителей заряда в свободном состоянии.

7. Что такое генерация носителей заряда в полупроводнике?

а) переход электронов с примесного уровня в зону проводимости;

б) переход электрона с донорного уровня в зону проводимости под действием света?

в) любой переход электронов из валентной зоны в зону проводимости;

г) переход электронов из валентной зоны в зону проводимости только под действием света.

Согласована на портале № 46137

8. Что такое рекомбинация носителей заряда в полупроводнике?

а) переход электронов из зоны проводимости на примесный уровень;

б) уменьшение концентрации подвижных носителей заряда в полупроводнике?

в) столкновение электрона и дырки?

г) любой переход электронов из зоны проводимости в валентную зону.

9. При каких условиях образуется запорный слой при контакте дырочного полупроводника с металлом?

а) при работе выхода электронов из полупроводника больше, чем из металла;

б) при работе выхода электронов из металла больше, чем из полупроводника;

в) при равенстве работ выхода электронов из металла и полупроводника;

г) при подаче отрицательного напряжения на металлический электрод.

10. Что такое сплавной p-n переход?

а) переход, получаемый сплавлением донорного и акцепторного полупроводников;

б) переход, получаемый эпитаксией из расплава;

в) переход, получаемый вплавлением в полупроводник сплава, содержащего примесь противоположного исходному полупроводнику типа;

г) переход, к которому припаян омический контакт.

11. Какова зависимость обратного тока p-n перехода от концентрации примесей?

а) не зависит;

б) увеличивается при увеличении концентрации примеси по экспоненциальному закону;

в) уменьшается как ln[1/(Nd-Na)];

г) ток уменьшается при увеличении концентрации примеси.

12. Что такое электронно-дырочный переход?

а) переход электронов из валентной зоны, а дырок – из зоны проводимости в вырожденных полупроводниках;

б) область в полупроводнике с большой концентрацией электронов и дырок, возникающая за счет перекрытия зон при обратном напряжении;

в) переход электронов и дырок за счет появления инжекционного тока;

г) двойной слой объемных зарядов ионов доноров и акцепторов, возникающий на границе раздела двух полупроводников противоположного типа проводимости.

13. Почему транзистор называется биполярным?

а) работает при двух полярностях напряжения на переходах;

б) состоит из двух электронно-дырочных переходов;

в) для производства биполярных транзисторов используются полупроводники p- и n-типов проводимости;

г) в создании тока участвуют носители заряда двух знаков.

14. На какие типы делят биполярные транзисторы в зависимости от механизма переноса неосновных носителей заряда через базу?

а) эпитаксиальные и сплавные;

б) эпитаксиальные и диффузионные;

в) дрейфовые и бездрейфовые;

г) резкие и плавные.

15. Что такое поверхностные состояния?

а) состояние поверхности полупроводника;

б) разрешенные энергетические уровни в запрещенной зоне поверхностного слоя полупроводника;

в) энергетические уровни в объеме полупроводника, вносимые донорами и акцепторами;

Согласована на портале № 46137

г) энергетические уровни, возникающие при ионизации атомов полупроводника.

16. Какова величина входного сопротивления полевого транзистора?
а) несколько мегаОм;
б) десятки килоОм;
в) сотни Ом;
г) единицы Ом;
д) 1000 Ом.

17. Какие явления называются гальваномагнитными?
а) явления в веществе, наблюдаемые при совместном воздействии электрического и магнитного полей;
б) явления в веществе, наблюдаемые при совместном воздействии электрического и магнитного полей и наличии градиента температуры
в) явления, наблюдаемые при наличии градиента температуры и магнитного поля;
г) явления, наблюдаемые при наличии градиента сильного магнитного поля.

18. Какие явления называются термомагнитными?
а) явления при наличии градиента магнитного поля при температуре не равной нулю;
б) явления в магнитном поле при наличии градиента температуры;
в) явления при наличии градиента магнитного поля при температуре равной нулю;
г) явления при совместном действии магнитного, электрического поля и температуры.

19. Какие явления называются фотоэлектрическими?
а) изменения электрических свойств твердого тела (электропроводности, диэлектрической проницаемости, появление фото-э.дс. и др.) под действием электромагнитного излучения;
б) возникновение продольной разности температуры в полупроводнике под действием электромагнитного излучения;
в) выделение дополнительной энергии на контакте металл-полупроводник под действием электромагнитного излучения;
г) возникновение поперечной разности температуры в полупроводнике под действием электромагнитного излучения.

20. Что такое фотопроводимость полупроводников?
а) проводимость полупроводника при освещении;
б) добавочная неравновесная проводимость, возникающая под действием света;
в) проводимость при наличии градиента температуры и лучистого потока;
г) проводимость, возникающая при наличии градиента лучистого потока;
д) проводимость полупроводника в сильных электрических полях под действием света.

14.1.4. Темы лабораторных работ

Исследование вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов.

14.1.5. 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

Согласована на портале № 46137

учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала необходимо осуществлять медленно, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

- если в тексте встречаются термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

- необходимо осмысливать прочитанное и изученное, отвечать на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия в форме вебинаров. Расписание вебинаров публикуется в кабинете студента на сайте Университета. Запись вебинара публикуется в электронном курсе по дисциплине.

14.2. 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 14.

Таблица 14 – 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 исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3. 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,

Согласована на портале № 46137

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.

Согласована на портале № 46137