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

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: **ФДО, Факультет дистанционного обучения**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2014 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
1	Самостоятельная работа под руководством преподавателя	14	14	часов
2	Лабораторные работы	8	8	часов
3	Контроль самостоятельной работы	4	4	часов
4	Всего контактной работы	26	26	часов
5	Самостоятельная работа	145	145	часов
6	Всего (без экзамена)	171	171	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	9	9	часов
8	Общая трудоемкость	180	180	часов
			5.0	З.Е.

Контрольные работы: 4 семестр - 2
Экзамен: 4 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 41987

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 1 от « 2 » 7 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПрЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

профессор кафедры промышленной электроники (ПрЭ)	_____	Н. С. Легостаев
Заведующий обеспечивающей каф. ПрЭ	_____	С. Г. Михальченко

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФДО	_____	И. П. Черкашина
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	_____	С. Г. Михальченко

Эксперты:

Доцент кафедры технологий электронного обучения (ТЭО)	_____	Ю. В. Морозова
Профессор кафедры промышленной электроники (ПрЭ)	_____	В. Д. Семенов

Согласована на портале № 41987

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

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

– 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

Дисциплина «Твердотельная электроника» (Б1.Б.13) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Математика, Материалы электронной техники, Микросхемотехника, Микроэлектроника, Основы проектирования электронной компонентной базы, Теоретические основы электротехники, Физика, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Аналоговая электроника, Вакуумная и плазменная электроника, Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Методы анализа и расчета электронных схем, Наноэлектроника, Научно-исследовательская работа, Основы преобразовательной техники, Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности, Преддипломная практика, Проектирование устройств управления, Радиомонтажный практикум, Схемотехника, Схемотехника ключевых устройств, Электронные промышленные устройства, Энергетическая электроника.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ОПК-2 способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

– ПК-1 способностью 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;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** устройство, принцип действия, характеристики и параметры основных классов полупроводниковых приборов; эквивалентные схемы полупроводниковых приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем; функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей; методы анализа переходных процессов.

– **уметь** производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов; анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда; экспериментально определять параметры твердотельных приборов.

– **владеть** навыками практической работы с полупроводниковыми приборами в составе электронной схемы; методами экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры

Согласована на портале № 41987

		4 семестр
Контактная работа (всего)	26	26
Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СРП)	14	14
Лабораторные работы	8	8
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
Самостоятельная работа (всего)	145	145
Подготовка к контрольным работам	64	64
Оформление отчетов по лабораторным работам	8	8
Подготовка к лабораторным работам	8	8
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	59	59
Выполнение контрольных работ	6	6
Всего (без экзамена)	171	171
Подготовка и сдача экзамена	9	9
Общая трудоемкость, ч	180	180
Зачетные Единицы	5.0	

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
4 семестр						
1 Физические основы твердотельной электроники	2	0	4	20	22	ОПК-2, ПК-1
2 Контактные явления	4	0		35	39	ОПК-2, ПК-1
3 Полупроводниковые диоды	0	0		6	6	ОПК-2, ПК-1
4 Биполярные транзисторы	2	4		28	34	ОПК-2, ПК-1
5 Тиристоры	0	0		4	4	ОПК-2, ПК-1
6 Полевые транзисторы	4	4		32	40	ОПК-2, ПК-1
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	2	0		10	12	ОПК-2, ПК-1
8 Полупроводниковые термоэлектрические и гальваномагнитные приборы	0	0		10	10	ОПК-2, ПК-1
Итого за семестр	14	8	4	145	171	
Итого	14	8	4	145	171	

Согласована на портале № 41987

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

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
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.	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
2 Контактные явления	Электрические переходы. Электронно-дырочные переходы. Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии. Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии. Вольт-амперная характеристика идеализированного электронно-дырочного перехода. Статическая вольт-амперная характеристика реального электронно-дырочного перехода. Пробой электронно-дырочного перехода. Динамические параметры электронно-дырочного перехода. Переходные процессы в электронно-дырочном переходе. Контакты металл-полупроводник. Выпрямляющие контакты металл-полупроводник. Омические контакты. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Гетеропереходы.	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
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.	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
6 Полевые транзисторы	Полевые транзисторы с управляющим переходом. Статические характеристики полевых транзисторов с управляющим p-n-переходом. Малосигнальные параметры полевых транзисторов с управляю-	4	ОПК-2, ПК-1

Согласована на портале № 41987

	щим 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.		
	Итого	4	
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	Классификация оптоэлектронных приборов. Фототранзисторы. Оптоэлектронные пары.	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
Итого за семестр		14	

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	8
Предшествующие дисциплины								
1 Математика	+							
2 Материалы электронной техники	+							
3 Микросхемотехника	+	+		+		+		
4 Микроэлектроника	+	+		+		+		
5 Основы проектирования электронной компонентной базы	+	+		+		+		
6 Теоретические основы электротехники				+		+		
7 Физика	+	+					+	+
8 Химия	+							
Последующие дисциплины								
1 Аналоговая электроника	+		+	+	+	+	+	+
2 Вакуумная и плазменная электроника	+	+						
3 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защи-	+	+	+	+	+	+	+	+

Согласована на портале № 41987

ты и процедуру защиты								
4 Методы анализа и расчета электронных схем				+		+		
5 Наноэлектроника	+							
6 Научно-исследовательская работа			+	+	+	+	+	+
7 Основы преобразовательной техники		+	+		+			
8 Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности			+	+	+	+	+	+
9 Преддипломная практика			+	+	+	+	+	+
10 Проектирование устройств управления			+	+		+	+	+
11 Радиомонтажный практикум			+	+	+	+	+	+
12 Схемотехника			+	+	+	+	+	+
13 Схемотехника ключевых устройств			+	+		+	+	
14 Электронные промышленные устройства			+	+		+	+	+
15 Энергетическая электроника			+	+	+	+	+	+

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.	
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Проверка контрольных работ, Отчет по лабораторной работе, Тест
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Проверка контрольных работ, Отчет по лабораторной работе, Тест

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

Согласована на портале № 41987

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
4 семестр			
4 Биполярные транзисторы	Исследование статических параметров биполярного транзистора.	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
6 Полевые транзисторы	Исследование полевого транзистора с управляющим p-n-переходом.	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
Итого за семестр		8	

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
4 семестр			
1	Контрольная работа	2	ОПК-2, ПК-1
2	Контрольная работа с автоматизированной проверкой	2	ОПК-2, ПК-1
Итого		4	

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
4 семестр				
1 Физические основы твердотельной электроники	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	8	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	12		
	Итого	20		
2 Контактные явления	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	17	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контроль-	18		

Согласована на портале № 41987

	ным работам			
	Итого	35		
3 Полупроводниковые диоды	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	2	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	6		
4 Биполярные транзисторы	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	12	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Подготовка к лабораторным работам	4		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	8		
	Итого	28		
5 Тиристоры	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	2	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	4		
6 Полевые транзисторы	Выполнение контрольных работ	6	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	10		
	Подготовка к лабораторным работам	4		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	8		
	Итого	32		
7 Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	4	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	10		
8 Полупроводниковые термоэлектрические и гальваномагнитные	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	4	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа, Тест, Экзамен

Согласована на портале № 41987

приборы	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	10		
	Выполнение контрольной работы	4	ОПК-2, ПК-1	Контрольная работа
Итого за семестр		145		
	Подготовка и сдача экзамена	9		Экзамен
Итого		154		

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. Легостаев Н.С. Твердотельная электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. - Томск Эль Контент, 2011. - 244 с. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 06.08.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Давыдов, В.Н. Твердотельная электроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие для студентов направления 2100100 "Электроника и наноэлектроника", профиль "Электронные приборы и устройства" / Давыдов В.Н. - Томск ТУСУР, 2013. - 175 с. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 06.08.2018).

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Легостаев Н.С. Твердотельная электроника: электронный курс / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. - Томск: ТУСУР, ФДО, 2018. Доступ из личного кабинета студента.
2. Легостаев Н.С. Твердотельная электроника [Электронный ресурс]: методические указания по изучению дисциплины / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. - Томск Эль Контент, 2012. - 52 с. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 06.08.2018).

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. 1. Российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.elibrary.ru, дата обращения: 05.07.2018.

Согласована на портале № 41987

2. 2. Информационные, справочные и нормативные базы данных [Электронный ресурс] - Режим доступа https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh, дата обращения 05.07.2018.

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
- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
- Microsoft Windows
- OpenOffice

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:

- 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
- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
- Microsoft Windows
- OpenOffice

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.

Согласована на портале № 41987

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

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. 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;

Согласована на портале № 41987

б) “плюсом” к p-области, а “минусом” к n-области;

в) “минусом” к p-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 p-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 p-n-перехода:

а) линейный; б) кусочно-линейный; в) квадратичный; г) экспоненциальный.

6. Как изменяется высота потенциального барьера p-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 p-области, а “минусом” к n-области;

г) “минусом” к p-области, а “плюсом” к n-области.

10. Диффузионная емкость p-n-перехода:

а) определяется изменением неподвижных зарядов в обедненном слое p-n-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 p-n-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 p-n-p-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.

Согласована на портале № 41987

а) инверсный активный; б) нормальный активный; в) насыщения; г) отсечки.

15. Определите режим работы биполярного транзистора, если оба pn-перехода смещены в обратном направлении.

а) инверсный активный; б) нормальный активный; в) насыщения; г) отсечки.

16. Характер передаточных характеристик полевого транзистора с управляющим pn-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 p-n-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 n-типа, если удельная крутизна равна 0,3 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 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.

14.1.2. Экзаменационные тесты

1). Кристалл кремния содержит 10^17 атомов бора в 1см^3. Определить “расстояние” между уровнем Ферми и серединой запрещенной зоны при температуре T = 300K.

а) 0,223 Эв;. б) 0,308 Эв; в) 0,416 Эв; г) 0,609 Эв.

2). Определить концентрацию электронов при T = 300K 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 = 300K в кристалле кремния, содержащем 5x10^17 атомов сурьмы в 1см^-3.

а) 3x10^15 см^-3; б) 4x10^15 см^-3; в) 5x10^17 см^-3; г) 5x10^19 см^-3.

4). Определить отношение электронного дрейфового тока к дырочному дрейфовому току при T = 300K для кремния n-типа с удельным сопротивлением 5 Ом х см.

а) 1,14 х 10^9; б) 1,97 х 10^9; в) 2,23 х 10^9; г) 3,16 х 10^9.

5). Определить подвижность электронов в кремнии при T = 300K, если коэффициент диффузии электронов равен 31 см^2/с.

а) 700 см^2/(Вс); б) 900 см^2/(Вс); в) 1200 см^2/(Вс); г) 1400 см^2/(Вс).

6). Определить удельное сопротивление собственного кремния при температуре T = 300K.

а) 1,29 х 10^5 Ом х см; б) 2,29 х 10^5 Ом х см; в) 3,29 х 10^5 Ом х см; г) 4,29 х 10^5 Ом х см.

7). Дрейфовый ток плотностью 10 мА/см^2 протекает через кристалл кремния p-типа с удельным сопротивлением 5 Ом х см. Определить среднюю скорость дрейфа дырок.

а) 20 см/с; б) 30 см/с; в) 40 см/с; г) 50 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 мкА. К переходу приложено прямое напряжение, равное 0,5 В. Найти отношение прямого тока к обратному при T = 300K.

а) 12,6 х 10^7; б) 16,2 х 10^7; в) 21,8 х 10^7; г) 26,3 х 10^7.

Согласована на портале № 41987

10). Определить контактную разность потенциалов кремниевого p-n-перехода при T = 300K, если концентрация акцепторных примесей равна 2 x 10^13 см^-3, а концентрация донорных примесей 5 x 10^12 см^-3.

а) 216 мВ; б) 359 мВ; в) 432 мВ; г) 618 мВ.

11). Определить величину обратного напряжения, при котором обратный ток идеального p-n-перехода достигает 90 % от значения обратного тока насыщения, если температура T = 300K.

а) 30 мВ; б) 60 мВ; в) 90 мВ; г) 120 мВ.

12). Физические свойства какой из областей полупроводника определяют значения дырочного диффузионного тока при постоянных напряжении и температуре:

а) n-области; б) p-области; в) n- и p-областей.

13). Определить дифференциальное сопротивление вольт-амперной характеристики идеального выпрямляющего контакта металл-полупроводник при температуре T=300К и прямом токе I=26 мА. .

а) 1,0 Ом; б) 1,6 Ом; в) 2,0 Ом; г) 2,6 Ом.

14). Простейшая МДП-структура представляет собой:

а) нелинейный конденсатор; б) линейный конденсатор; в) нелинейный резистор; г) линейный резистор.

15). Идеальный диод, имеющий обратный ток насыщения 10 мкА, соединен последовательно с источником ЭДС и резистором. Полярность источника ЭДС обеспечивает смещение диода в прямом направлении. Определить прямой ток диода, если величина ЭДС равна 10 В, сопротивление резистора равно 1,0 кОм, температура T=300К.

а) 4,18 мА; б) 6,24 мА; в) 9,82 мА; г) 12,16 мА.

16). При прямом напряжении, равном 1,0 В, максимально допустимый ток диода равен 50 мА. Диод соединяют последовательно с резистором нагрузки Rн = 100 Ом. Определить в вольтах наибольшем значение напряжения источника, при котором диод будет работать в безопасном режиме.

а) 6; б) 9; в) 12; г) 16.

17). Биполярный транзистор типа p-n-p включен по схеме с общим эмиттером. Напряжение Uбэ = - 0,4 В, а напряжение Uкэ= - 0,3 В. В каком режиме работает транзистор:

а) отсечки; б) насыщения; в) нормальном активном; г) инверсном активном.

18). Определить коэффициент передачи по току усилительного каскада с общим эмиттером, если амплитуда переменной составляющей тока коллектора равна 3,9 мА, а амплитуда переменной составляющей тока эмиттера равна 4 мА.

а) 32; б) 49; в) 63; г) 89.

19). Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом и каналом n-типа имеет следующие значения параметров: Ic.нач = 2 мА и Uотс = 5 В. Определить ток стока при напряжении Uзи = - 5 В. Ответ дать в мА.

а) 0; б) 1,2; в) 2,5; г) 5,0.

20). Удельная проводимость канала n-типа полевого транзистора с управляющим p-n-переходом и двумя затворами равна 8,85 См/м, подвижность электронов 0,12 м^2/(Вс), относительная диэлектрическая проницаемость кремния 12, толщина канала 2,4 мкм. Определить абсолютную величину напряжения отсечки в вольтах.

а) 1,5; б) 2,0; в) 2,5; г) 3,0.

14.1.3. Темы контрольных работ

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 = 300K, если его удельная проводимость составляет 0,1 См/см.

а) 2,15 x 10^14 см^-3; б) 3,02 x 10^14 см^-3; в) 4,47 x 10^14 см^-3; г) 6,14 x 10^14 см^-3.

2). Подвижность дырок в монокристалле кремния при температуре T = 300K равна 500 см^2/(Вс). Определить коэффициент диффузии дырок в см^2/с.

а) 8,2; б) 12,9; в) 14,3; г) 16,9.

3). Определить удельную проводимость образца кремния (в мкСм/см) при температуре

Согласована на портале № 41987

T=300K, если концентрация акцепторов в полупроводнике 2,3 х 10^13 см^-3 и концентрация доноров 2,2 х 10^13 см^-3 . Подвижность электронов и дырок в кремнии 1500 см^2/(Вс) и соответственно 600 см^2/(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 В, и температуре Т = 300К. 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 Uбэ = - 0,6 В, а напряжение коллектор-эмиттер Uкэ= - 0,9 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 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 база-эмиттер;

г) тока коллектора от напряжения эмиттер-база при фиксированном токе эмиттера

9). Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом и каналом p-типа имеет начальный ток стока, равный 2 мА и напряжение отсечки, равное 5 В. Определить крутизну транзистора при напряжении Uзи = 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 Т = 300К, является оптически прозрачным.

а) 412; б) 618; в) 869; г) 980.

14.1.4. Темы лабораторных работ

Исследование статических параметров биполярного транзистора.

Исследование полевого транзистора с управляющим p-n-переходом.

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 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;

Согласована на портале № 41987

- 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, 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:

Согласована на портале № 41987

– 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 № 41987