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: **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2018 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	44	44	часов
2	Практические занятия	20	20	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	80	80	часов
5	Из них в интерактивной форме	26	26	часов
6	Самостоятельная работа	64	64	часов
7	Всего (без экзамена)	144	144	часов
8	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
9	Общая трудоемкость	180	180	часов
		5.0	5.0	З.Е.

Экзамен: 4 семестр

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 20.12.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Томск 2018

Согласована на портале № 24957

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 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 ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

д.т.н., профессор каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян
ассистент каф. ФЭ	_____	В. В. Каранский

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)	_____	И. А. Чистоедова
Заведующий кафедрой физической электроники (ФЭ)	_____	П. Е. Троян

Согласована на портале № 24957

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

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

– приобретение навыков и умений в вопросах правильного выбора вида полупроводниковых приборов для построения электронных схем, исходя из функциональных задач, решаемых этими схемами

– обеспечение грамотной эксплуатации приборов, позволяющих максимально использовать заложенные в них возможности.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Твердотельная электроника» (Б1.Б.19) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Материалы электронной техники, Физика, Физика конденсированного состояния.

Последующими дисциплинами являются: Наноэлектроника, Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники, Схемотехника.

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 и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов эквивалентные схемы 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, обеспечив при этом высокую надежность схем, анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда, экспериментально определять параметры твердотельных приборов

– **владеть** навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

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
		4 семестр
Аудиторные занятия (всего)	80	80
Лекции	44	44
Практические занятия	20	20
Лабораторные работы	16	16

Согласована на портале № 24957

Из них в интерактивной форме	26	26
Самостоятельная работа (всего)	64	64
Подготовка к контрольным работам	14	14
Выполнение индивидуальных заданий	8	8
Оформление отчетов по лабораторным работам	12	12
Подготовка к лабораторным работам	4	4
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	16	16
Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	180	180
Зачетные Единицы	5.0	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	Лек., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
4 семестр						
1 Введение, цели и задачи дисциплины	1	0	0	1	2	ОПК-2, ПК-1
2 Физические основы твердотельной электроники	5	2	0	5	12	ОПК-2, ПК-1
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	4	2	0	5	11	ОПК-2, ПК-1
4 Электронно-дырочный переход	8	4	4	9	25	ОПК-2, ПК-1
5 Полупроводниковые диоды	4	2	4	13	23	ОПК-2, ПК-1
6 Биполярные транзисторы	8	4	4	13	29	ОПК-2, ПК-1
7 Полевые транзисторы	6	2	4	9	21	ОПК-2, ПК-1
8 Тиристоры	2	2	0	4	8	ОПК-2, ПК-1
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	2	2	0	3	7	ОПК-2, ПК-1
10 Основы микроэлектроники	4	0	0	2	6	ОПК-2, ПК-1
Итого за семестр	44	20	16	64	144	
Итого	44	20	16	64	144	

Согласована на портале № 24957

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины по лекциям	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Полупроводниковые приборы, как элементы электронных цепей (схем). Понятия, определения: электронные устройства, компоненты (пассивные и активные), полупроводниковые приборы. Основные разновидности полупроводниковых приборов по выполняемым функциям и технологии. Основные разделы курса лекций. Вклад отечественных ученых в развитие полупроводниковой техники. Список рекомендуемой литературы.	1	ОПК-2, ПК-1
	Итого	1	
2 Физические основы твердотельной электроники	Фундаментальная система уравнений – основа аналитического описания свойств полупроводниковых приборов. Аналитические выражения и физический смысл уравнений Пуассона, полного тока и непрерывности.Собственные и примесные полупроводники и их электропроводность. Компенсированные полупроводники. Зонная диаграмма этих материалов. Концентрация свободных носителей в собственном и примесном полупроводниках. Положение уровня Ферми в них. Зависимость концентрации свободных носителей от температуры. Физическое обоснование диапазона рабочих температур полупроводниковых приборов. Полупроводники в электрическом поле.Генерация и рекомбинация носителей заряда. Виды генерации и рекомбинации: термогенерация, фотогенерация, полевая ионизация; рекомбинация зона-зона, рекомбинация через рекомбинационные уровни, излучательная и безизлучательная рекомбинация.	5	ОПК-2, ПК-1
	Итого	5	
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Контакт металла с полупроводником (М-п/п) – зонная диаграмма. Выпрямляющий и омический контакт. Принцип выпрямления тока на контакте М-п/п по энергетическим диаграммам. ВАХ идеального контакта. Эффект Шоттки. Диод Шоттки. ВАХ реального контакта Шоттки. Распределение электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) на контакте М-п/п и ширина ОПЗ. Емкость диода Шоттки. Эквивалентная схема и	4	ОПК-2, ПК-1

Согласована на портале № 24957

	модель диода Шоттки. Особенности диода Шоттки. Омические контакты и их свойства.		
	Итого	4	
4 Электронно-дырочный переход	Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП). Определение ЭДП. Контактная разность потенциалов, ее зависимость от концентрации легирующей примеси, температуры и ширины запрещенной зоны. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП. Инжекция и экстракция носителей. Концентрация неосновных носителей заряда у границ ЭДП.Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.	8	ОПК-2, ПК-1
	Итого	8	
5 Полупроводниковые диоды	Эквивалентная схема диода. Параметры эквивалентной схемы: дифференциальное сопротивление, сопротивление постоянному току, сопротивление базы, диффузионная и барьерная емкости. Зависимость параметров эквивалентной схемы от частоты для диодов с толстой и тонкой базами. Эквивалентная схема диода для высоких частот. Переходные процессы в диодах: включение и переключение для низкого уровня инжекции; включение и отключение для высокого уровня инжекции; эффекты накопления и рассасывания неосновных носителей в базе диода. Понятие низких, средних и высоких частот. Зависимость выпрямляющих свойств диода от частоты (fmax). Анализ переходных процессов методом заряда.-Классификация диодов. Маркировка диодов. Выпрямительные диоды: определение, основные параметры. Импульсные диоды: определение, специфические характеристики, применение. Диоды с накоплением заряда. Универсальные диоды, СВЧ-диоды.Стабилитроны: принцип действия, схема включения, основные параметры, последовательно-параллельное включение. Туннельные диоды: принцип действия по энергетическим диаграммам, параметры, эквивалентная схема, применение. Обращенные диоды: принцип действия, применение. Варикапы: принцип действия, основные параметры. Приборы оптоэлектроники - фоторезистор, светоизлучающий диод, фотодиод, оптопары, лазеры: устройство, принцип действия, основные параметры, режимы работы, применение.Лавинопролетные диоды, диоды Ганна. Модели полупроводниковых диодов: статическая, зарядоуправляемая.	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 24957

6 Биполярные транзисторы	Схема потоков носителей зарядов в БТ. Внутренние физические параметры БТ: эффективность эмиттера, коэффициент переноса, эффективность коллектора. Внешние параметры БТ: коэффициент передачи тока эмиттера, коэффициент передачи тока базы. Связь между внутренними и внешними параметрами в БТ. Статические параметры трех режимов работы БТ. Явление в БТ при больших токах. Эффект модуляции базы (эффект Эрли) и его следствия. Пробой БТ. Особенности пробоя БТ в схеме с ОЭ. Статические характеристики БТ в схеме с ОБ и ОЭ.Динамические характеристики БТ. Области активной работы, режима отсечки и насыщения. Предельные режимы по току и напряжению.Усилительные свойства БТ в схемах с ОБ, ОЭ и ОК. Частотные параметры БТ: предельная частота коэффициента передачи тока эмиттера, предельная частота коэффициента передачи тока базы, граничная частота, максимальная частота генерации. Зависимость эффективности эмиттера, коэффициента переноса, коэффициентов передачи тока эмиттера и тока базы от частоты.Переходные процессы в БТ для включения с ОБ и ОЭ. Характеристики переходных процессов: tз, tн, tрасс, tсп, tвкл, tвыкл. Описание переходных процессов методом заряда.Температурные зависимости динамических характеристик. Зависимость коэффициентов передачи токов эмиттера и базы от температуры. Термостабильность схем с ОБ и ОЭ.Описание БТ как линейного четырехполюсника. Система y-, z- и h- параметров. Схемы замещения БТ в y-, z- и h-параметрах. Переход от одной системы параметров к другой. Смысл h-параметров. Взаимосвязь h-параметров с физическими параметрами БТ. Расчет h-параметров по физическим параметрам БТ и наоборот. Методы определения h-параметров.Физическая эквивалентная схема БТ. Эквивалентная схема БТ с ОБ и ОЭ для низких частот. Эквивалентная схема БТ для высоких частот. Параметры эквивалентной схемы БТ. Зависимость параметров БТ от Iэ, T и Uк. П-образная и гибридная эквивалентные схемы.Мощные БТ. Составной транзистор (транзистор Дарлингтона). Лавинный транзистор. Однопереходный транзистор. Инжекционный транзистор. IGBT-транзистор. Модели БТ: Эберса-Молла, зарядоуправляемая. Шумы в БТ: определение шума, виды шумов, их зависимость от частоты, IЭ, Uк.	8	ОПК-2, ПК-1
	Итого	8	
7 Полевые транзисторы	ПТ с управляющим p-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, UOTC. Причины, приводящие к отсечке тока и приращения тока. Процессы в ПТ после отсечки	6	ОПК-2, ПК-1

Согласована на портале № 24957

	приращения тока. Качественный вид выходных ВАХ. Расчет выходных ВАХ ПТ с управляющим переходом. Передаточная характеристика. Основные характеристики усилительного режима: крутизна, внутреннее сопротивление, коэффициент усиления по напряжению. Эквивалентная схема ПТ с управляющим переходом. Граничная частота, критерий граничной частоты. Схемы замещения для НЧ и ВЧ для трех схем включения ПТ.Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом (МДП-транзистор). Устройство. Принцип действия. Напряжение Unop. Качественный вид входных и выходных ВАХ МДП-транзистора. Передаточная характеристика. Расчет выходных статических характеристик. Основные параметры усилительного и ключевого режимов работы. Переходные процессы. Комплементарная пара. Эквивалентная схема. Модели МДП-транзистора: динамическая модель малого и большого сигналов. Статическая и динамическая модель мощных ПТ.Полевые транзисторы с изолированным затвором и встроенным каналом. Устройство, принцип действия, эквивалентная схема. Семейство выходных статических характеристик. Передаточные характеристики. Отличие транзистора со встроенным каналом от прибора с индуцированным каналом.Транзисторы с n-каналами и самосовмещенными затворами. Параметры и характеристики транзисторов с короткими каналами. Разновидности полевых транзисторных структур СБИС. Особенности полевых транзисторов с управляющими переходами в интегральном исполнении. Паразитная связь между элементами через полуизолирующую подложку. Интегральные схемы на ПТШ на основе арсенида галлия. НЕМТ-транзисторы.		
	Итого	6	
8 Тиристоры	Общие сведения о тиристорах. Классификация и условно-графические обозначения тиристоров. Устройство и принцип действия диодного тиристора. Триодный незапираемый тиристор. Триодный запираемый тиристор. Симметричные тиристоры. Эффекты dU/dt и dI/dt. Основные параметры тиристоров. Маркировка тиристоров.	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Преобразовательные сенсоры.	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
10 Основы микроэлектроники	Методы изоляции. Многоэмиттерные и многоколлекторные биполярные транзисторы. Интегральный транзистор. Вертикальный и горизонтальный	4	ОПК-2, ПК-1

Согласована на портале № 24957

	транзистор.		
	Итого	4	
Итого за семестр		44	

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	9	10
Предшествующие дисциплины										
1 Материалы электронной техники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Физика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Физика конденсированного состояния	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины										
1 Наноэлектроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Схемотехника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

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
	Лек.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию

Согласована на портале № 24957

ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные практические занятия, ч	Интерактивные лабораторные занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
4 семестр				
Презентации с использованием слайдов с обсуждением			10	10
Презентации с использованием мультимедиа с обсуждением			4	4
Работа в команде	2	6		8
Мозговой штурм	4			4
Итого за семестр:	6	6	14	26
Итого	6	6	14	26

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 Электронно-дырочный переход	Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
5 Полупроводниковые диоды	Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
6 Биполярные транзисторы	Исследование статических характеристик биполярного транзистора. Определение параметров биполярного транзистора	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 24957

7 Полевые транзисторы	Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
Итого за семестр		16	

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
2 Физические основы твердотельной электроники	Физические основы твердотельной электроники	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Расчет параметров диода Шоттки	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
4 Электронно-дырочный переход	Расчет параметров электронно-дырочного перехода	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
5 Полупроводниковые диоды	Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
6 Биполярные транзисторы	Расчет внешних и внутренних параметров биполярного транзистора. Эффект Эрли в биполярных транзисторах. Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
7 Полевые транзисторы	Расчет параметров полевых транзисторов	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
8 Тиристоры	Расчет параметров тиристоров	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Расчет параметров полупроводниковых преобразователей и сенсоров	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
Итого за семестр		20	

9. Самостоятельная работа

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

Согласована на портале № 24957

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
4 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Проработка лекционного материала	1	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Тест
	Итого	1		
2 Физические основы твердотельной электроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	5		
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	5		
4 Электронно-дырочный переход	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к лабораторным работам	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	9		
5 Полупроводниковые диоды	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к лабораторным работам	1		

Согласована на портале № 24957

	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Выполнение индивидуальных заданий	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	13		
6 Биполярные транзисторы	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к лабораторным работам	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Выполнение индивидуальных заданий	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	13		
7 Полевые транзисторы	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к лабораторным работам	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	9		
8 Тиристоры	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	4		
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	1	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного	1		

Согласована на портале № 24957

	материала			
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	3		
10 Основы микроэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	1	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	2		
Итого за семестр		64		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		100		

10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
4 семестр				
Контрольная работа		10	10	20
Отчет по индивидуальному заданию		12	12	24
Отчет по лабораторной работе		10	10	20
Тест	2	2	2	6
Итого максимум за период	2	34	34	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	2	36	70	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

Согласована на портале № 24957

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 560 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://e.lanbook.com/reader/book/5856/#1, дата обращения: 13.05.2018.

12.2. Дополнительная литература

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 48 экз.)

2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)

3. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 88 экз.)

4. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 98 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 49 экз.)

2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 29 экз.)

3. Троян П.Е. Микроэлектроника: Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" дистанционной и дневной форм обучения. – Томск: ТУСУР, 2003. – 36 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 41 экз.)

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.

Согласована на портале № 24957

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. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru

2. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.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 для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 224 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 115б ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные стенды: «Исследование ВАХ p-n перехода», «Исследование вольтёмкостной характеристики p-n пе-рехода» - (2 шт.), «Исследование статистических характеристик полевого транзистора со встроенным p-n переходом» (2 шт.), «Исследование статистических характеристик биполярного транзистора» (2 шт.), «Исследование переходных процессов в полупроводниковом диоде», «Физические основы электроники»;
- Источник питания Б5-31;
- Вольтметр В7-22А (2 шт.);
- Осциллограф С1-118А;
- Осциллограф АСК-1021;
- Генератор Г5-15;
- Измеритель Л2-42 (2 шт.);
- Персональный компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;

Согласована на портале № 24957

- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– LibreOffice
– PDF-XChange Viewer
– Windows XP

13.1.4. 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

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. При T=0 K все уровни…

1. валентной зоны не заняты, а уровни зоны проводимости заполнены;

Согласована на портале № 24957

2. валентной зоны и зоны проводимости не заняты;
3. валентной зоны и зоны проводимости заполнены;
4. валентной зоны заполнены, а уровни зоны проводимости не заняты.

2. Носители в вырожденных полупроводниках подчиняются статистике…
1. Ферми-Дирака;
2. Бозе-Эйнштейна;
3. Максвелла-Больцмана;
4. Больцмана.

3. Подвижность электронов в полупроводниках…
1. всегда меньше подвижности дырок;
2. может быть, как меньше подвижности дырок, так и больше;
3. всегда больше подвижности дырок;
4. равна подвижности дырок.

4. Эффект односторонней проводимости диода Шоттки отражен на эквивалентной схеме…
1. омическим сопротивлением базы;
2. дифференциальным сопротивлением;
3. сопротивлением растекания;
4. емкостью плоского конденсатора, одной из обкладок которой является металл, а второй (воображаемой) обкладкой является изменяющаяся граница ОПЗ.

5. Электроны, прошедшие в металл, создают на его поверхности отрицательный заряд, а в приповерхностном слое проводника нескомпенсированные ионизованные доноры формируют положительный заряд, в результате этого процесса между металлом и полупроводником возникает…
1. внутреннее электрическое поле;
2. внешнее электрическое поле;
3. магнитное поле;
4. градиент концентрации.

6. Областью пространственного заряда называется область на контакте, где…
1. в металле повышена концентрация электронов;
2. в металле понижена концентрация электронов;
3. в полупроводнике понижена концентрация электронов;
4. в полупроводнике повышена концентрация электронов.

7. Диод Шоттки – это полупроводниковый прибор на основе контакта металл-полупроводник, принцип действия которого основан на явлении…
1. фотоэлектронной эмиссии;
2. вторичной эмиссии;
3. автоэлектронной эмиссии;
4. термоэлектронной эмиссии.

8. Явление перехода основных носителей заряда через ОПЗ p-n перехода в область, в область, где они становятся неосновными, называется…
1.инжекция неосновных носителей заряда;
2. инжекция основных носителей заряда;
3. экстракция неосновных носителей заряда;
4. экстракция основных носителей заряда.

9. Какой ток возникает из-за загрязнения поверхности полупроводника и может существенно влиять на обратную ветвь ВАХ при достаточно больших обратных напряжениях?
1. ток тепловой генерации;

Согласована на портале № 24957

2. канальный ток;
3. ток утечки;
4. ток насыщения.

10. Усилительные, генераторные и переключательные свойства биполярного транзистора обусловлены явлениями…
1. инжекции неосновных и экстракции основных носителей зарядов;
2. инжекции основных и экстракции неосновных носителей зарядов;
3. инжекции и экстракции основных носителей зарядов;
4.инжекции и экстракции неосновных носителей зарядов.

11. Активный режим работы биполярного транзистора осуществляется тогда, когда…
1. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в прямом направлении;
2. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в обратном направлении;
3. эмиттерный переход смещен в обратном направлении, коллекторный в прямом.
4. эмиттерный переход смещен в прямом направлении, коллекторный в обратном.

12. Из ниже перечисленных параметров биполярного транзистора к числу внешних параметров не относится…
1. статический коэффициент передачи тока эмиттера;
2. дифференциальный коэффициент передачи тока эмиттера;
3. коэффициент передачи тока базы;
4. эффективность коллектора.

13. На данном рисунке приведено условно-графическое обозначение…
1. гетеробиполярного транзистора;
2. инжекционного транзистора;
3. однопереходного тразситора;
4. лавинного транзистора.

14. Тиристор – это…
1. полупроводниковый прибор с тремя или более p-n переходами, на вольтамперной характеристике которого имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением;
2. полупроводниковый прибор с двумя или более p-n переходами, на вольтамперной характеристике которого имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением;
3. полупроводниковый прибор с тремя или более p-n переходами, на вольтамперной характеристике которого имеется участок с отрицательной проводимостью;
4. полупроводниковый прибор с двумя или более p-n переходами, на вольтамперной характеристике которого имеется участок с отрицательной проводимостью.

15. В открытом состоянии сопротивление тиристора…
1. высоко, и через него протекает большой ток;
2. высоко, и через него протекает малый ток;
3. мало, и через него протекает малый ток;
4. мало, и через него протекает большой ток.

16. В транзисторах с управляющим p-n переходом в качестве затвора используется область, тип электропроводности которой…
1. противоположен типу электпроводности истока;
2. противоположен типу электропроводности стока;
3. совпадает с типом электпроводности в канале;
4. противоположен типу электропроводности канала.

17. В транзисторах с изолированным затвором между металлическим затвором и проводя-

Согласована на портале № 24957

щим каналом расположен тонкий слой…

1. диэлектрика;
2. металла;
3. полупроводника с противоположенным типом проводимости, чем в канале;
4. полупроводника с таким же типом проводимости, что и в канале.

18. Режим работы полевого транзистора с управляющим p-n переходом без перекрытия канала называется…

1. режимом отсечки;
2. линейным режимом;
3. режимом насыщения;
4. активным режимом.

19. Для получения высокой крутизны необходимо иметь канал…

1. с большой длиной и малой шириной;
2. с большой длиной и большой шириной;
3. с малой длиной и малой шириной;
4. с малой длиной и большой шириной.

20. При работе транзистора в качестве датчика температуры обычно используют схему включения…

1. с общим коллектором и отключенным эмиттером;
2. с общей базой;
3. с общим эмиттером и отключенной базой;
4. с общим коллектором.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
2. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники.
3. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках.
4. Контакт металл-полупроводник.
5. Диод Шоттки.
6. Омические контакты.
7. Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП).
8. Контактная разность потенциалов, ее зависимость от концентрации легирующей примеси, температуры и ширины запрещенной зоны.
9. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях.
10. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП.
11. Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия.
12. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.
13. Классификация диодов.
14. Выпрямительные диоды.
15. Варикапы.
16. Стабилитрон.
17. Туннельный диод.
18. Фотодиод.
19. Светодиод.
20. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
21. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
22. Схема потоков носителей в БТ.
23. Внутренние параметры БТ: γ, $\alpha П$, α^*.
24. Внешние параметры БТ: α, β.
25. Статические характеристики БТ.
26. Усилительные свойства БТ.

Согласована на портале № 24957

27. Частотные параметры БТ.
28. Эквивалентная схема БТ.
29. БТ как четырехполюсник. Система y, z, h – параметров.
30. Мощные БТ.
31. Лавинный БТ.
32. Одноперехoдный транзистор.
33. Инжекционный транзистор.
34. Шумы в БТ.
35. Модель Эберса–Молла.
36. Классификация и маркировка БТ.
37. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
38. ПТ с управляющим переходом и барьером Шоттки.
39. ПТ с индуцированным и встроенным каналом.
40. Комплементарная пара. Параметры ПТ. Достоинства и недостатки.
41. Вертикальный МДП-транзистор.
42. ПТШ.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. Методы изоляции.
50. Многоэмиттерный и многоколлекторный БТ.
51. Вертикальный и горизонтальный транзистор.

14.1.3. Темы контрольных работ

1. Расчет параметров полупроводниковых приборов.
2. Расчет параметров биполярного транзистора.

14.1.4. Темы опросов на занятиях

1. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
2. Контакт металл-полупроводник.
3. Диод Шоттки.
4. Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП).
5. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях.
6. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП.
7. Классификация диодов.
8. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
9. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
10. Внутренние параметры БТ: γ, $\alpha П$, α^*.
11. Внешние параметры БТ: α, β.
12. Статические характеристики БТ.
13. Эквивалентная схема БТ.
14. БТ как четырехполюсник. Система y, z, h – параметров.
15. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
16. Тиристоры.

14.1.5. Темы индивидуальных заданий

1. Расчет параметров полупроводниковых диодов.
2. Расчет параметров биполярных транзисторов.

14.1.6. Вопросы на самоподготовку

1. Магнетоэлектроника.
2. Приборы на эффекте Ганна.
3. Криоэлектроника.
4. Хемотроника.
5. Приборы с зарядовой связью.

Согласована на портале № 24957

14.1.7. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Физические основы твердотельной электроники
Расчет параметров диода Шоттки
Расчет параметров электронно-дырочного перехода
Расчет параметров полупроводниковых диодов
Расчет внешних и внутренних параметров биполярного транзистора
Эффект Эрли в биполярных транзисторах
Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора
Расчет параметров полевых транзисторов
Расчет параметров тиристоров
Расчет параметров полупроводниковых преобразователей и сенсоров

14.1.8. Темы лабораторных работ

1. Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода
2. Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода
3. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде
4. Исследование статических характеристик биполярного транзистора
5. Определение параметров биполярного транзистора
6. Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом

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;

Согласована на портале № 24957

– 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.

Согласована на портале № 24957