Б1.Б.13.1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
(Проректор по учебной работе)
_____ **П.Е. Троян**
«30» 09 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **11.03.04** «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Квантовая и оптическая электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра электронных приборов (ЭП)

Курс 3 **Семестр** 5

Учебный план набора 2013 года.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции					18				18	часов
2.	Лабораторные работы					18				18	часов
3.	Практические занятия					18				18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)					-				-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)					54				54	часов
6.	Из них в интерактивной форме					48				48	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)					54				54	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)					108				108	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена					-				-	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)					108				108	часов
	(в зачетных единицах)					3				3	ЗЕТ

Зачет 5 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 10683

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры электронных приборов от « 08 » 09 2016 г., протокол № 73.

Разработчики:
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян
Ассистент кафедры ФЭ _____ / В.В. Каранский

Заведующий кафедрой
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки.

Декан ФЭТ _____ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей кафедрой ЭП _____ / С.М. Шандаров

Зав. выпускающей кафедрой ЭП _____ / С.М. Шандаров

Эксперты:
Председатель методической комиссии факультета ФЭТ _____ / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ЭП _____ / Л.Н. Орликов

Согласована на портале № 10683

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Твердотельная электроника» 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.

Задачей изучения дисциплины «Твердотельная электроника» 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 использовать заложенные в них возможности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части базовой части (Б1.Б.13.1) образовательной программы по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

Основой для изучения дисциплины «Твердотельная электроника» являются курсы: физика, материалы электронной техники.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: физика конденсированного состояния, схемотехника, наноэлектроника.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих общекультурных (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (**ПК-1**);

– способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (**ПК-2**).

3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр 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.

Согласована на портале № 10683

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___3___ зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		5
Аудиторные занятия (всего)	**54**	**54**
В том числе:	-	
Лекции	18	18
Лабораторные работы	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа (всего)	**54**	**54**
В том числе:	-	
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к лабораторным работам	12	12
Выполнение практических заданий	8	8
Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	16	16
Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	8	8
Общая трудоемкость, час	**108**	**108**
Зачетные Единицы Трудоемкости	**3**	**3**

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	-	1	ПК-1, ПК-2
2.	Физические основы твердотельной электроники	3	4	-	3	10	ПК-1, ПК-2
3.	Полупроводниковые диоды	2	4	6	18	30	ПК-1, ПК-2
4.	Биполярные транзисторы (БТ)	6	8	8	22	44	ПК-1, ПК-2
5.	Полевые транзисторы (ПТ)	3	2	4	7	16	ПК-1, ПК-2
6.	Тиристоры	2	-	-	2	4	ПК-1, ПК-2
7.	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	1	-	-	2	3	ПК-1, ПК-2
	ИТОГО	**18**	**18**	**18**	**54**	**108**	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
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	ПК-1, ПК-2
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	3	ПК-1, ПК-2

Согласована на портале № 10683

		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. Контакты металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник с различным типом проводимости (p-n переход). 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 модель диода Шоттки. Особенности диода Шоттки. Омические контакты и их свойства. 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.		
3.	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 ($F_{пред}$) 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 (f_{max}). 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.	2	ПК-1, ПК-2

Согласована на портале № 10683

4.	Биполярные транзисторы (БТ)	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: $t_э$, $t_н$, $t_{расс}$, $t_{сп}$, $t_{вкл}$, $t_{выкл}$. 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 $I_э$, T и $U_к$. 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, $I_Э$, $U_к$.	6	ПК-1, ПК-2
5.	Полевые транзисторы (ПТ)	ПТ с управляющим p-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, $U_{ОТС}$. Причины, приводящие к отсечке тока и приращения тока. Процессы в ПТ после отсечки 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 $U_{пор}$. 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	3	ПК-1, ПК-2

Согласована на портале № 10683

		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.		
6.	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	ПК-1, ПК-2
7.	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Преобразовательные сенсоры.	1	ПК-1, ПК-2

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

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин						
		1	2	3	4	5	6	7
Предшествующие дисциплины								
1.	физика	+	+	+	+	+	+	+
2.	материалы электронной техники	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины								
1.	физика конденсированного состояния	+	-	+	+	+	+	+
2.	схемотехника	-	-	+	+	+	+	+
3.	наноэлектроника	+	+	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий				Формы контроля
	Л	ПЗ	ЛР	СРС	
ПК-1	+	+	+	+	Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Защита отчетов по лабораторным работам. Оценка за контрольную работу.
ПК-2	+	+	+	+	Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Защита отчетов по лабораторным работам. Оценка за контрольную работу.

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы \ Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Лабораторные работы (час)	Всего
Работа в команде	-	18	18	36
Опрос на лекциях	12	-	-	12
Итого интерактивных занятий	12	18	18	48

Согласована на портале № 10683

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	3	Определение времени восстановления обратного сопротивления диода	4,5	ПК-1, ПК-2
2.	3	Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода	4,5	ПК-1, ПК-2
3.	3	Исследование вольт-амперной характеристики полупроводникового диода	4,5	ПК-1, ПК-2
4.	4	Биполярные транзисторы: статические характеристики БТ	4,5	ПК-1, ПК-2
5.	4	Биполярные транзисторы: исследование мощного БТ	4,5	ПК-1, ПК-2
6.	5	Полевые транзисторы	4,5	ПК-1, ПК-2

Из предлагаемого перечня лабораторных работ студенты выполняют 4 работы.

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	2	Физические основы твердотельной электроники	2	ПК-1, ПК-2
2.	3	Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ПК-1, ПК-2
3.	4	Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора	2	ПК-1, ПК-2
4.	4	Расчет внутренних параметров биполярного транзистора	1	ПК-1, ПК-2
5.	4	Расчет внешних параметров биполярного транзистора	1	ПК-1, ПК-2
6.	4	Эффект Эрли в биполярных транзисторах	1	ПК-1, ПК-2
7.	4	Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора	1	ПК-1, ПК-2
8.	5	Расчет параметров полевых транзисторов	4	ПК-1, ПК-2
9.	3	КР-1. Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ПК-1, ПК-2
10.	4	КР-2. Расчет параметров биполярных транзисторов	2	ПК-1, ПК-2

Согласована на портале № 10683

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**2-6**	Проработка лекционного материала и п.7 раздела 5.1	10	ПК-1, ПК-2	Опрос на лекциях
2.	**3-5**	Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям	8	ПК-1, ПК-2	Отчеты по практическим работам
3.	**3, 4**	Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам	8	ПК-1, ПК-2	Результаты контрольных работ
4.	**3-5**	Подготовка к лабораторным работам	12	ПК-1, ПК-2	Отчеты по лабораторным работам
4.	**3, 4**	Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	16	ПК-1, ПК-2	Защита индивидуальных заданий

Тематика индивидуальных заданий:

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

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

не предусмотрено

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

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
Выполнение и защита индивидуальных заданий	10	10		**20**
Контрольные работы	10		10	**20**
Защита лабораторных работ		10	10	**20**
Отчеты по практическим занятиям	10	8	10	**28**
Компонент своевременности	2	2	2	**6**
Посещение занятий	2	2	2	**6**
Итого максимум за период:	**34**	**32**	**34**	**100**
Нарастающим итогом	**34**	**76**	**100**	**100**

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

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)

Согласована на портале № 10683

Вопросы для подготовки к зачету:

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.
27. Частотные параметры БТ.
28. Эквивалентная схема БТ.
29. БТ как четырехполюсник. Система y, z, h – параметров.
30. Мощные БТ.
31. Лавинный БТ.
32. Однопереходный 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.
43. HEMT.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. IGBT.

Согласована на портале № 10683

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]. – http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=5856

12.2 Дополнительная литература

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. **(48)**
2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. **(45)**
3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1990. – 264 с. **(21)**
4. Крутякова М.Г., Чарыков Н.А., Юдин В.В. Полупроводниковые приборы и основы их проектирования. – М.: Радио и связь, 1983. – 352 с. **(6)**
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. **(98)**
6. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. **(88)**
7. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов / Э. Н. Воронков [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 317 с. **(4)**

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. **(47)**
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (**29**)

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/
2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/
3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором. Проведение лабораторных работ по дисциплине «Твердотельная электроника» осуществляется в специализированной лаборатории кафедры ФЭ 115б «Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники», которая оснащена следующим оборудованием: лабораторный стенд «Физические основы электроники», лабораторный макет «Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода», лабораторный макет «Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода», лабораторный макет «Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде», лабораторный макет «Исследование статических характеристик биполярного транзистора», лабораторный макет «Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом».

Согласована на портале № 10683

Согласована на портале № 10683

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
(Проректор по учебной работе)
_____ **П.Е. Троян**
«30» 09 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **11.03.04** «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Квантовая и оптическая электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра электронных приборов (ЭП)

Курс 3 **Семестр** 5

Учебный план набора 2013 года.

Зачет 5 **семестр**

Разработчик:
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян
Ассистент кафедры ФЭ _____ / В.В. Каранский

Томск 2016

Согласована на портале № 10683

1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «Твердотельная электроника» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по учебной дисциплине «Твердотельная электроника» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Твердотельная электроника» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-1	способность 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	*знать* методы анализа переходных процессов; *уметь* анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
ПК-2	способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	*знать* эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем; *знать* устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов; *уметь* производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; *уметь* экспериментально определять параметры твердотельных приборов; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

2.1 Компетенция ПК-1

ПК-1 способность 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

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	*знает* методы анализа переходных процессов	*умеет* анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда	*владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Лабораторные работы;
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Лабораторная работа (защита);	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Лабораторная работа (защита); Зачет

Согласована на портале № 10683

	Зачет		

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы
Хорошо (базовый уровень)	знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	обладает базовыми общими знаниями	обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач	работает при прямом наблюдении

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	*понимает* связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; *определяет* экспериментальными методами параметры эквивалентных схем приборов электроники и наноэлектроники; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов; *умеет* использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования устройств и установок электроники и наноэлектроники; умеет строить простейшие математические и физические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе; *классифицирует* устройства и установки электроники и наноэлектроники по их функциональному назначению
Хорошо (базовый уровень)	*распознает* эквивалентные схемы устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; *знает* принцип действия	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач;	*владеет* разными способами представлениями информации; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде;

Согласована на портале № 10683

Согласована на портале № 10683

	основных классов устройств электроники и наноэлектроники; *составляет* план решения задачи	*умеет строить* простейшие физические и математические модели приборов электроники и наноэлектроники	*способен классифицировать* приборы и устройства электроники и наноэлектроники и элементы интегральных схем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* эквивалентные схемы основных устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; *знает* принцип действия основных классов приборов электроники и наноэлектроники	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практической работы с приборами электроники и наноэлектроники и элементами электронных схем

2.2 Компетенция ПК-2

ПК-2 способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	*знает* эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем; *знает* устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов	*умеет* производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; *умеет* экспериментально определять параметры твердотельных приборов	*владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Курсовой проект; Самостоятельная работа	Лабораторные работы;
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Лабораторная работа (защита); Зачет	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Лабораторная работа (защита); Зачет

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2 в п. 2.1.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.5.

Согласована на портале № 10683

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	*понимает* связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем; *аргументирует* выбор метода расчета основных параметров эквивалентных схем; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов; *умеет выбирать* метод расчета основных параметров эквивалентных схем полупроводниковых приборов	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе
Хорошо (базовый уровень)	*распознает* эквивалентные схемы полупроводниковых приборов; *знает* принцип действия основных классов полупроводниковых приборов и основные технические характеристики; *определяет* методы расчета параметров эквивалентных схем; *составляет* план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет рассчитывать* основные параметры полупроводниковых приборов и эквивалентных схем замещения	*владеет* разными способами представлениями информации; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *способен классифицировать* полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* эквивалентные схемы полупроводниковых приборов; *знает* принцип действия основных классов полупроводниковых приборов	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

– типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе: контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, самостоятельная работа, курсовой проект, экзамен.

3.1 Контрольные работы

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

3.2 Индивидуальные задания

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

3.3 Лабораторные работы

1. Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода.
2. Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода.

Согласована на портале № 10683

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.

3.4 Темы для самостоятельной работы

1. Физические основы твердотельной электроники.
2. Электронно-дырочный переход.
3. Полупроводниковые диоды.
4. Биполярные транзисторы.
5. Полевые транзисторы.
6. Тиристоры.
7. Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи

3.5 Зачет

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.
27. Частотные параметры БТ.
28. Эквивалентная схема БТ.
29. БТ как четырехполюсник. Система y, z, h – параметров.
30. Мощные БТ.
31. Лавинный БТ.
32. Однопереходный 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.

Согласована на портале № 10683

41. Вертикальный МДП-транзистор.
42. ПТШ.
43. HEMT.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. IGBT.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

4.1 Основная литература

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 560 с. – [электронный ресурс]. – http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=5856

4.2 Дополнительная литература

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. **(48)**
2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. **(45)**
3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1990. – 264 с. **(21)**
4. Крутякова М.Г., Чарыков Н.А., Юдин В.В. Полупроводниковые приборы и основы их проектирования. – М.: Радио и связь, 1983. – 352 с. **(6)**
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. **(98)**
6. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. **(88)**
7. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов / Э. Н. Воронков [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 317 с. **(4)**

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. **(47)**
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. **(29)**

4.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/
2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/
3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

Согласована на портале № 10683