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
«___» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **28.03.01** «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Профиль Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3 **Семестр** 5

Учебный план набора 2013 года и последующих лет.

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					36				36	часов
2.	Лабораторные работы					16				16	часов
3.	Практические занятия					20				20	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)					-				-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)					72				72	часов
6.	Из них в интерактивной форме					10				10	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)					72				72	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)					144				144	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена					36				36	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)					180				180	часов
	(в зачетных единицах)					5				5	ЗЕ

Экзамен 5 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 254

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 71 от « 30 » 6 2016 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 06 марта 2015 г. № 177, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от « 30 » 06 2016 г., протокол № 71.

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 ФЭ _____ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

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

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ _____ / И.А. Чистоедова

Согласована на портале № 254

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

В соответствии с основной образовательной программой дисциплина «Твердотельная электроника» относится к обязательным дисциплинам вариативной части (Б1.В.ОД.5).

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

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: наноэлектроника, проектирование электронной компоненты базы микроэлектроники и микросистемной техники, схемотехника.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих компетенций:

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

– способность владеть современными методами расчета и проектированием изделий микроэлектроники и твердотельной электроники, способность к восприятию, разработки и критической оценки новых способ их проектирования (**ПСК-1**).

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 № 254

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___5___ зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		5
Аудиторные занятия (всего)	**72**	**72**
В том числе:		
Лекции	36	36
Лабораторные работы	16	16
Практические занятия	20	20
Курсовой проект (аудиторная нагрузка)	-	-
Самостоятельная работа (всего)	**108**	**108**
В том числе:		
Проработка лекционного материала	18	18
Подготовка к лабораторным работам	16	16
Выполнение практических заданий	18	18
Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	8	8
Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	8	8
Подготовка к тестам Т-1, Т-2	4	4
Выполнение и защита курсового проекта	-	-
Вид промежуточной аттестации (*экзамен*)	36	36
Общая трудоемкость, час	**180**	**180**
Зачетные Единицы	**5**	**5**

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, ОПК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	2	3	ОПК-2, ПСК-1
2.	Физические основы твердотельной электроники	4	2	-	8	14	ОПК-2, ПСК-1
3.	Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	4	2	-	6	12	ОПК-2, ПСК-1
4.	Электронно-дырочный переход	6	4	4	10	24	ОПК-2, ПСК-1
5.	Полупроводниковые диоды	4	2	4	10	20	ОПК-2, ПСК-1
6.	Биполярные транзисторы	6	4	4	10	24	ОПК-2, ПСК-1
7.	Полевые транзисторы	4	2	4	10	20	ОПК-2, ПСК-1
8.	Тиристоры	2	2	-	6	10	ОПК-2, ПСК-1
9.	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	2	2	-	4	8	ОПК-2, ПСК-1
10.	Основы микроэлектроники	3	-	-	6	9	ОПК-2, ПСК-1
	ИТОГО	**36**	**20**	**16**	**72**	**144**	

Согласована на портале № 254

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ОПК, 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	ОПК-2, ПСК-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.	4	ОПК-2, ПСК-1
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 модель диода Шоттки. Особенности диода Шоттки. Омические контакты и их свойства.	4	ОПК-2, ПСК-1
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.	6	ОПК-2, ПСК-1
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 (f_{max}). Анализ переходных процессов методом заряда.	4	ОПК-2, ПСК-1

Согласована на портале № 254

		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.		
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: $t_з$, $t_н$, $t_{расс}$, $t_{сп}$, $t_{вкл}$, $t_{выкл}$. 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	ОПК-2, ПСК-1
7.	Полевые транзисторы	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 уси-	4	ОПК-2, ПСК-1

Согласована на портале № 254

		ления 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 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. HEMT-транзисторы.		
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, ПСК-1
9	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Преобразовательные сенсоры.	2	ОПК-2, ПСК-1
10	Основы микроэлектроники	Методы изоляции. Многоэмиттерные и многоколлекторные биполярные транзисторы. Интегральный транзистор. Вертикальный и горизонтальный транзистор.	3	ОПК-2, ПСК-1

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	8	9
Предшествующие дисциплины										
1.	физика	-	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	материалы электронной техники	-	+	+	+	+	+	+	+	+
3.	физика конденсированного состояния	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины										
1.	наноэлектроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	проектирование электронной компоненты базы микроэлектроники и микросистемной техники	+	-	+	-	+	+	+	-	-
3.	схемотехника	+	-	+	+	+	+	+	+	-

Согласована на портале № 254

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

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля
	Л	ПЗ	ЛР	КПС	СРС	
ОПК-2	+	+	+	+	+	Опрос на лекции, отчет по лабораторной работе, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, тест, защита курсового проекта, экзамен
ПСК-1	+	+	+	+	+	Опрос на лекции, отчет по лабораторной работе, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, тест, защита курсового проекта, экзамен

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы \ Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Всего
Работа в команде		8	8
Опрос на лекциях	2		2
Итого интерактивных занятий	2	8	10

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	**4**	Исследование вольт-амперной характеристики *p-n* перехода	4	ОПК-2, ПСК-1
2.	**5**	Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода	4	ОПК-2, ПСК-1
3.	**5**	Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде	4	ОПК-2, ПСК-1
4.	**6**	Исследование статических характеристик биполярного транзистора	4	ОПК-2, ПСК-1
5.	**6**	Определение параметров биполярного транзистора	4	ОПК-2, ПСК-1
6.	**7**	Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим *p-n* переходом	4	ОПК-2, ПСК-1

Из предлагаемого перечня лабораторных работ студенты выполняют 4 работы на выбор, но выполненные лабораторные работы должны относиться к разным разделам.

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	**2**	Физические основы твердотельной электроники	2	ОПК-2, ПСК-1
2.	**3**	Расчет параметров диода Шоттки	2	ОПК-2, ПСК-1
3.	**4**	Расчет параметров электронно-дырочного перехода	2	ОПК-2, ПСК-1
2.	**5**	Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ОПК-2, ПСК-1
3.	**6**	Расчет внешних и внутренних параметров биполярного транзистора	1	ОПК-2, ПСК-1
4.	**6**	Эффект Эрли в биполярных транзисторах	0,5	ОПК-2, ПСК-1
5.	**6**	Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора	0,5	ОПК-2, ПСК-1
6.	**7**	Расчет параметров полевых транзисторов	2	ОПК-2, ПСК-1
7.	**8**	Расчет параметров тиристоров	2	ОПК-2, ПСК-1
8.	**9**	Расчет параметров полупроводниковых преобразователей и сенсоров	2	ОПК-2, ПСК-1
9.	**4**	КР-1. Расчет параметров полупроводника. Расчет параметров электронно-дырочного перехода. Диод Шоттки	2	ОПК-2, ПСК-1
10.	**6**	КР-2. Расчет параметров биполярных транзисторов	2	ОПК-2, ПСК-1

Согласована на портале № 254

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**1-10**	Проработка лекционного материала	18	ОПК-2, ПСК-1	Опрос на лекциях
3.	**4-7**	Подготовка к лабораторным работам, написание отчетов	16	ОПК-2, ПСК-1	Отчеты по лабораторным работам
4.	**2-10**	Выполнение практических заданий	18	ОПК-2, ПСК-1	Отчеты по практическим работам
5.	**4-7**	Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	8	ОПК-2, ПСК-1	Защита индивидуальных заданий
6.	**4, 6**	Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	8	ОПК-2, ПСК-1	Результаты контрольных работ
7.	**4, 6**	Подготовка к тестам Т-1, Т-2	4	ОПК-2, ПСК-1	Результаты тестов
8.	**1-10**	Подготовка и сдача экзамена	36	ОПК-2, ПСК-1	Оценка на экзамене

Тематика индивидуальных заданий:

1. Расчет параметров диодов Шоттки.
2. Расчет параметров полупроводниковых диодов.
3. Расчет параметров биполярных транзисторов.
4. Расчет параметров полевых транзисторов.

Вопросы для подготовки к экзамену:

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.

Согласована на портале № 254

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.

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Не предусмотрено

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля дисциплины

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семест-ра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Выполнение и защита индивидуального задания ИЗ-1	9			**9**
Выполнение и защита индивидуального задания ИЗ-2			9	**9**
Контрольная работа КР-1		8		**8**
Контрольная работа КР-2			8	**8**
Выполнение и защита лабораторных работ		6	6	**12**
Выполнение и защита практических за-даний	6	6	4	**16**
Тест Т-1		4		**4**
Тест Т-2			4	**4**
Итого максимум за период:	**15**	**24**	**31**	**70**
Сдача экзамена (максимум)				**30**
Нарастающим итогом	**15**	**39**	**70**	**100**

В экзаменационных билетах содержится 4 вопроса, из них 3 – теоретических вопроса по лекцион-ным занятиям (по 8 баллов каждый) и 1 – задача (6 баллов).

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 № 254

Таблица 11.2. 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 № 254

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://e.lanbook.com/books/element.php?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. (**49**)

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 № 254

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
«___» _____ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **28.03.01** «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике»

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3 **Семестр** 5

Учебный план набора 2013 года и последующих лет.

Экзамен 5 **семестр**

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

Томск 2016

Согласована на портале № 254

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
ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	*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
ПСК-1	способность владеть современными методами расчета и проектированием изделий микро- и наноэлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработки и критической оценки новых способ их проектирования	*знать* функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей; *уметь* правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

2.1 Компетенция ОПК-2

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

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); Тест; Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Лабораторная работа (защита); Экзамен	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Лабораторная работа (защита); Экзамен

Согласована на портале № 254

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 переходными процессами и полупроводниковыми приборами; *аргументирует* выбор метода анализа переходных процессов; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* физически анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах с использованием метода заряда; *умеет* математически описывать переходные процессы в полупроводниковых приборах с использованием метода заряда	*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)	*знает* переходные процессы в полупроводниковых приборах; *имеет* представление о методах анализа переходных процессов; *аргументирует* выбор решения задачи; *составляет* план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах	*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* переходные процессы в полупроводни-	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабора-	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практи-

Согласована на портале № 254

	ковых приборах; *знает* основные методы анализа переходных процессов; *знает* основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике	торной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	ческой работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

2.2 Компетенция ПСК-1

ПСК-1 способность владеть современными методами расчета и проектированием изделий микро- и наноэлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработки и критической оценки новых способ их проектирования

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* функциональные электрические модели приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; и методы определения параметров моделей	*умеет* правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники;, обеспечив при этом высокую надежность схем	*владеет* навыками практической работы с приборами микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; 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); Тест; Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Лабораторная работа (защита); Экзамен	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Лабораторная работа (защита); Экзамен

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.

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	*понимает* разницу между функциональными и электрическими моделями приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники;	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами электронной схе-	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* ра-

Согласована на портале № 254

	аргументирует выбор метода определения параметров функциональных и электрических моделей; *физически аргументирует* выбор и план решения по определения параметров моделей; *графически иллюстрирует* основные зависимости функциональных и электрических моделей	мы; *умеет выбирать* метод расчета основных параметров электронной схемы, обеспечивая при этом высокую надежность электрических схем	боту в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе
Хорошо (базовый уровень)	*распознает* функциональные и электрические модели приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники;; *знает* принцип действия функциональных и электрических моделей приборов; *определяет* методы расчета параметров функциональных и электрических моделей; *составляет* план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет рассчитывать* основные параметры электронных схем, обеспечивая при этом высокую надежность схем	*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* функциональные и электрические модели приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники;; *знает* принцип действия функциональных и электрических моделей приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники;	*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: тесты, контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, самостоятельная работа, курсовой проект, экзамен.

3.1 Тестовые задания

1. Контакты металл-полупроводник. Выпрямляющие и омические переходы на контакте металла с полупроводником
2. Электронно-дырочные переходы
3. Биполярный транзистор

3.2 Контрольные работы

1. Расчет параметров полупроводника. Расчет параметров электронно-дырочного перехода. Диод Шоттки

Согласована на портале № 254

2. Расчет параметров биполярных транзисторов

3.3 Индивидуальные задания

1. Расчет параметров диодов Шоттки.
2. Расчет полупроводниковых диодов.
3. Расчет параметров биполярных транзисторов.
4. Расчет параметров полевых транзисторов.

3.4 Лабораторные работы

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.

3.5 Темы для самостоятельной работы

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

3.6 Темы курсовых проектов

1. Расчет МДП-транзистора с индуцированным каналом.
2. Расчет полевого транзистора.
3. Расчет диффузионно-сплавного p-n-p транзистора средней мощности.
4. Расчет дрейфового транзистора.
5. Расчет эпитаксиально-планарного транзистора.
6. Расчет биполярного транзистора.
7. Расчет диффузионного транзистора.
8. Расчет интегрального диода.
9. Расчет стабилитрона.
10. Расчет интегрального диода Шоттки.

3.7 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.

Согласована на портале № 254

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, αП, 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.
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.

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://e.lanbook.com/books/element.php?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**)

Согласована на портале № 254

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. (49)

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

Согласована на портале № 254