Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ **П. Е. Троян**
«1» 07 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Уровень основной образовательной программы – бакалавриат

Направление подготовки - 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств
(номер.уровень, полное наименование направления **подготовки (специальности)**)

Профиль - Проектирование и технология радиоэлектронных средств;
Профиль - Технология электронных средств;
Профиль - Конструирование и технология наноэлектронных средств;
(полное наименование профиля направления подготовки (специальности) из ООП)

Форма обучения - _____очная
Факультет – _____радиоконструкторский (РКФ) _____
(сокращенное и полное наименование факультета)
Кафедра – _____конструирования узлов и деталей РЭС (КУДР)_____
(сокращенное и полное наименование кафедры)

Курс 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 2013, 2014 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				34					34	часов
2.	Лабораторные работы				32					32	часов
3.	Практические занятия				36					36	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)										часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)				102					102	часов
6.	Из них в интерактивной форме				30					30	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)				78					78	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)				180					180	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена										часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)				180					180	часов
	(в зачетных единицах)				5					5	ЗЕТ

Зачет _____**семестр** **Диф. зачет** 4 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 7412

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 185 от «24» 5 2016 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта № 1333 высшего профессионального образования (ФГОС ВО)

по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (уровень бакалавриата)

утвержденного 12 ноября 2015 г.

Профиль: 11.03.03.01 « Проектирование и технология радиоэлектронных средств»;

Профиль 11.03.03.03 «Технология электронных средств»;

Профиль 11.03.03.04. «Конструирование и технология наноэлектронных средств».

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «24» мая 2016 г.
протокол № 185

Разработчик: проф. каф. КУДР _____ С.Г. Еханин

Зав. кафедрой КУДР _____ А.Г. Лощилов

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Декан РКФ _____ Д.В. Озеркин

Зав. профилирующей кафедрой КИПР _____ Д.В. Озеркин

Зав. выпускающей кафедрой РЭТЭМ _____ В.И. Туев

Зав. выпускающей кафедрой КУДР _____ А.Г. Лощилов

Эксперты:

___Кафедра КУДР (место работы) доцент (занимаемая должность) _____ (подпись) М.Н. Романовский (Ф.И.О.)

__Кафедра КИПР (место работы) доцент (занимаемая должность) _____ (подпись) А.А.Чернышёв (Ф.И.О.)

Согласована на портале № 7412

1. Цели и задачи дисциплины:

Целью преподавания дисциплины «Физика полупроводниковых структур» является формирование у студентов современных представлений об особенностях физических процессов и явлений, протекающих в полупроводниковых приборах, действие которых основано на свойствах контакта металл-полупроводник, *p-n* перехода, гетероперехода и других более сложных полупроводниковых структур (в том числе и наноразмерных) при различных режимах их эксплуатации.

Задачи дисциплины:

- формирование представлений о механизмах зарядопереноса в полупроводниковых структурах;
- изучение границ физических возможностей современных полупроводниковых приборов;
- освоение подходов к обоснованию и обеспечению оптимальных режимов эксплуатации полупроводниковых приборов при конструировании и производстве электронных средств.

2. Место дисциплины в структуре ООП: обязательная дисциплина вариативного модуля базовой части.

Для освоения дисциплины «Физика полупроводниковых структур» необходимы знания и умения, приобретенные студентами в результате изучения математики, физики, химии, а также дисциплины «Физические основы микро- и наноэлектроники».

Знания, умения, навыки и компетенции, полученные в результате овладения данной дисциплиной, требуются при изучении дисциплины «Интегральные устройства радиоэлектроники», «Полупроводниковая светотехника», в научно-исследовательской работе, при прохождении учебных и производственных практик, при подготовке выпускной квалификационной работы.

3. Требования к результатам освоения дисциплины.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций.

Общепрофессиональные:

способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1).

В результате изучения дисциплины студенты должны

знать:

- свойства различных типов полупроводниковых материалов;
- основные понятия, определения, термины;
- модели и методы, используемые для изучения объектов курса;
- получаемые в результате принципы, основы теории, законы;
- размерные зависимости электрических свойств полупроводниковых наноструктур;
- основы работы различных полупроводниковых приборов;

уметь:

- выбирать методы исследования, соответствующие поставленной задаче, выбирать модели исследуемой системы и обосновывать свой выбор;
- применять экспериментальные и теоретические методы в научно-технических исследованиях,
- адаптировать, модифицировать модели, методы и алгоритмы для решения конкретных задач;
- обобщать и интерпретировать полученные результаты;
- рассчитывать числовые характеристики результатов экспериментов с применением средств вычислительной техники и прикладного программного обеспечения;

Согласована на портале № 7412

- выполнять расчеты основных электрических параметров полупроводниковых наноструктур;
- пользоваться общенаучной и специальной литературой;

владеть:

- навыками выбора методов исследования, моделей исследуемой системы и интерпретации результатов исследования электрических свойств полупроводниковых структур;
- навыками по анализу разнообразных кинетических процессов в полупроводниковых структурах для научно обоснованного выбора соответствующих структур, наиболее подходящих для решения конкретной задачи;
- методами проведения экспериментов по исследованию полупроводниковых структур с использованием современной измерительной аппаратуры, обработки, аппроксимации и анализа числовых результатов наблюдений.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет ____6_____ зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		4	5	6	7
Аудиторные занятия (всего)	102	102			
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции	34	34			
Лабораторные работы (ЛР)	32	32			
Практические занятия (ПЗ)	36	36			
Семинары (С)					
Коллоквиумы (К)					
Курсовой проект/(работа) (аудиторная нагрузка)					
Другие виды аудиторной работы					
Самостоятельная работа (всего)	78	78			
В том числе:	-	-	-	-	-
Курсовой проект (работа) (самостоятельная работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат					
Другие виды самостоятельной работы					
Проработка лекционного материала	17	17			
Подготовка к практическим занятиям	18	18			
Подготовка к лабораторным занятиям	16	16			
Самостоятельное изучение тем теоретической части курса	27	27			
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)					
Общая трудоемкость час	180	180			
Зачетные Единицы Трудоемкости	5	5			

Согласована на портале № 7412

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Лаборат. занятия	Практич. занятия.	Курсовой П/Р (КРС)	Самост. работа студента	Всего час.	Формируемые компетенции
1.	Вводная часть	2				2	4	ОПК-1
2.	Электрофизические свойства полупроводниковых материалов	2	4	4		6	16	ОПК-1
3.	Полупроводниковые диоды	8	8	10		14	40	ОПК-1
4.	Биполярные транзисторы	10	12	10		34	66	ОПК-1
5.	Полевые транзисторы.	4		6		8	18	ОПК-1
6.	Тиристоры	2	4			4	10	ОПК-1
7.	Гетероструктуры	6	4	6		10	26	ОПК-1
	Итого	34	32	36		78	180	ОПК-1

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции
1.	Вводная часть	Введение. Явления переноса, ряд явлений, обусловленных электрическими и тепловыми потоками, возникающих в среде при наличии электрических, тепловых и магнитных полей. Элементарный расчет электропроводности, подвижности, времени релаксации.	2	ОПК-1
2.	Электрофизические свойства полупроводниковых материалов	Зонные диаграммы диэлектриков, полупроводников и металлов. Уточнение зонной модели, энергетическая зонная структура германия и кремния. Распределение концентрации зарядов в процессе прохождения тока через полупроводниковые слои. Уравнение непрерывности.	2	ОПК-1
3.	Полупроводниковые диоды	Контактная разность потенциалов. Образование электронно-дырочного перехода. Распределение потенциала в p-n переходе и ширина области объемного заряда. Барьерная емкость *p-n* перехода. Диодная теория выпрямления полупроводникового диода с полуограниченной базой. Влияние сопротивления базы диода и уровня инжекции носителей на вид вольтамперной характеристики. Вольтамперная характеристика диода в дрейфовом приближении. Влияние рекомбинации и генерации носителей в области объемного заряда *p-n* перехода на вид вольтамперной характеристики. Частотные свойства полупроводникового диода с длинной базой при малом уровне инжекции. Пробой *p-n* перехода. Тепловой пробой. Лавинный и туннельный пробой. Переходные процессы в полупроводниковых диодах. Функциональные возможности полупроводниковых диодов. Выпрямительные диоды. Стабилитроны. Импульсные диоды. Диоды с накоплением заряда. Параметрические диоды и варикапы. Диоды для усиления и генерирования СВЧ мощности. Туннельные диоды. Частотные свойства туннельного диода. Лавинно-пролетные диоды.	8	ОПК-1
4.	Биполярные транзисторы	Структура транзисторов и выполняемые ими функции. Сущность режима усиления электрических сигналов. Усиление тока, напряжения и мощности. Краткие сведения по технологии изготовления биполярного транзистора. Диффузия, фотолитография, сборка, герметизация и испытания биполярных транзисторов. Интегральный транзистор как основа всех элементов микроэлектроники. Способы изоляции элементов в кристалле. Пассивные элементы микроэлектроники: резисторы, конденсаторы,	10	ОПК-1

Согласована на портале № 7412

		индуктивности. Постоянные токи в транзисторе, вывод аналитического выражения для коэффициента передачи по току. Статические ВАХ и коэффициент передачи тока в различных схемах включения. Пробой транзистора. Выражения для переменных токов в транзисторе. Эквивалентная схема транзистора. Частотная зависимость коэффициента передачи тока. Транзистор в качестве линейного четырехполюсника.		
5.	Полевые транзисторы	Введение. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с *p-n* переходом в качестве затвора. Расчет выходных ВАХ полевого транзистора с *p-n* переходом. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с изолированным затвором. Эквивалентная схема и частотные свойства МОП-транзистора. Преимущества и недостатки полевого транзистора.	4	ОПК-1
6.	Тиристоры	Структура и принцип действия четырехслойных *p-n* - *p-n* диодных тиристоров. Физические процессы, приводящие к переключению. Триодные тиристоры. Способы переключения. Параметры и их характеристики. Симисторы.	2	ОПК-1
7.	Гетероструктуры	Теория гетеропереходов. Резкие анизотропные, изотипные и плавные гетеропереходы. Профили энергетических зон гетеропереходов. Электрические свойства гетеропереходов.	6	ОПК-1
	Итого		34	

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 из табл. 5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин						
		1	2	3	4	5	6	7
Предшествующие дисциплины								
1.	Математика 1,2	+	+	+	+	+	+	+
2.	Физика	+	+	+	+	+	+	+
3.	Химия				+	+		+
4.	Физические основы микро и наноэлектроники	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины								
1.	Интегральные устройства радиоэлектроники	+	+	+	+	+	+	+
2.	Полупроводниковая светотехника	+		+	+	+	+	+
3.	Выпускная квалификационная работа	+	+	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля
	Л	Лаб	Пр.	КР/КП	СРС	
ОПК-1	+	+	+		+	Демонстрация естеств.- научн. знаний и математики при ответах на лекциях и практических занятиях, проверка усвоения самостоятельного изучения теоретической части курса

Л – лекция, Пр – практические и семинарские занятия, Лаб – лабораторные работы, КР/КП – курсовая работа/проект, СРС – самостоятельная работа студента.

Согласована на портале № 7412

6. Методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы \ Формы	Лекции (час)	Практические/ семинарские занятия (час)	Лабораторные занятия (час)	СРС (час)	Всего
IT-методы		4	4	2	10
Работа в команде		2	6		8
Тренинг		2			2
Решение ситуационных задач	6				6
Исследовательский метод			2	2	4
Итого интерактивных занятий	6	8	12	4	30

IT-методы применяются при поиске информации в Интернете для написания рефератов, поиска информации по заданной теме.

Тренинг - это процесс получения навыков и умений посредством выполнения последовательных заданий, действий или решения задач, направленных на достижение закрепления материала, умения найти и воспользоваться нужными формулами.

При *решении ситуационных задач* на лекции содержание подается через серию вопросов, на которые студент должен отвечать непосредственно в ходе лекции.

Исследовательский метод заключается в исследовании возможных путей решения определенной задачи на практических занятиях, исследовании, проводимого с помощью литературных источников при подготовке рефератов.

7. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК
1	2	Изучение характеристик терморезисторов	4	ОПК-1
2	3	Переходные процессы в полупроводниковых диодах	4	
3	3	Исследование варикапа	4	
4	4	Изучение статических характеристик биполярного транзистора	4	
5	4	Измерение ширины базы биполярного транзистора	4	
6	6	Изучение характеристик тиристоров	4	
7, 8	7	Исследование прямых и обратных ВАХ гетероструктур на основе GaN при различной температуре	8	
	Итого		32	

8. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции
1,2	2	Элементарный расчет электропроводности, подвижности, времени релаксации в различных полупроводниковых материалах.	4	ОПК-1
3,4	3	Влияние сопротивления базы диода и уровня инжекции носителей на вид вольтамперной характеристики.	4	ОПК-1
5	3	Вольтамперная характеристика диода в дрейфовом приближении.	2	ОПК-1
6	3	Влияние рекомбинации и генерации носителей в области объемного заряда *p-n* – перехода на вид вольтамперной характеристики.	2	ОПК-1
7,8,9	4	Аналитические выражения для переменных токов в транзисторе. Расчёт характеристик биполярного транзистора.	6	ОПК-1
10,11	4	Транзистор в качестве линейного четырехполюсника,	4	ОПК-1

Согласована на портале № 7412

		расчёт параметров.		
12	5	Биполярные транзисторы: расчёт $r_э$, $r_б$, $r_к$, коэффициента передачи тока	2	ОПК-1
13	5	Расчёт ВАХ полевого транзистора	2	ОПК-1
14	5	Расчет ВАХ полевого транзистора с управляющим переходом.	2	ОПК-1
15	5	Расчёт ВАХ полевого транзистора с изолированным затвором	2	ОПК-1
16,17, 18	7	Расчет прямой и обратной ВАХ гетероперехода. Защита отчетов по самостоятельной работе.	6	ОПК-1
		Итого	36	

9. Самостоятельная работа

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудо-емкость (час.)	Компе-тенции ОК, ПК	Контроль выполнения работы (Опрос, тест, дом. задание, и т. д.)
1	1-7	Проработка лекционного материала	17	ОПК-1	Опрос, работа на практических занятиях.
3	2-5,7	Подготовка к практическим занятиям	16	ОПК-1	Опрос, защита отчетов по практическим занятиям.
4	2-4,6,7	Подготовка к лабораторным работам	18	ОПК-1	Опрос, защита отчетов по лабораторным работам.
5	4	Выполнение самостоятельной работы по расчету параметров биполярного транзистора	16	ОПК-1	Опрос, защита отчетов по расчетной работе.
6	1-7	Подготовка к тестовому контролю по разделам курса, выделенным на самостоятельное изучение	11	ОПК-1	Проверка результатов тестового контроля.
7		Итого	78		

10. Примерная тематика курсовых проектов (работ) - не предусмотрена

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
Посещение занятий	5	5	5	**15**
Тестовый контроль	5	5	5	**15**
Контрольные работы на практических занятиях	3	3	4	**10**
Лабораторные работы	10	10	10	**30**
Самостоятельная работа «Расчет параметров биполярного транзистора»		10	10	**20**
Компонент своевременности		5	5	**10**
Итого максимум за период:	**23**	**38**	**39**	**100**
Сдача экзамена (максимум)				
Нарастающим итогом	**23**	**61**	**100**	**100**

Согласована на портале № 7412

Таблица 11.2 Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

(Пример)

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) (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. Рекомендуемая литература

а) основная:

1.Физика полупроводниковых структур: учеб. пособие /В.Ф. Агафонников.- Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. - 200 с. (**42** экз.).

2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2006. – 480 с. (**98 экз.**).

3. Сборник задач по полупроводниковой электронике: Учебное пособие для вузов / Н. В. Бурбаева, Т. С. Днепровская. - М.: Физматлит, 2006. - 166 с. (**50 экз.**)

б) дополнительная:

1. Физика полупроводниковых приборов /В.И. Гаман.-Томск: НТЛ, 2000. - 426 с. (45 экз.)

2. Материалы электронной техники: Учебник для вузов / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. – 5-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2003. - 368 с. (**39 экз.**)

3. Сборник задач по полупроводниковой электронике: Учебное пособие для вузов / Н. В. Бурбаева, Т. С. Днепровская. - М.: Физматлит, 2006. - 166 с. (**50 экз.**)

4. Питер Ю. Основы физики полупроводников: Пер. с англ. / П. Ю, М. Кардона; пер.: И. И. Решина; ред. пер.: Б. П. Захарчени. - М.: Физматлит, 2002. - 560 с. (**155 экз.**)

5. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов – М.: Физматкнига, 2006. – 494 с. (**33 экз.**)

6. Боргардт Н.И., Гаврилов С.А., Герасименко Н.Н. и др. Нанотехнологии в электронике. – М: Техносфера, 2005. 446 с. (**20 экз.**)

12.2 Перечень методических указаний по лабораторным работам, практическим занятиям и для выполнения индивидуальных заданий:

1. Агафонников В.Ф. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 12 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1297

2. Агафонников В.Ф. Изучение статических характеристик биполярного транзистора. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 15 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1299

3. Агафонников В.Ф. Измерение ширины базы триода. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 7 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1296

Согласована на портале № 7412

4. Агафонников В.Ф. Измерение h-параметров биполярных транзисторов. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 10 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1295

5. Агафонников В.Ф. Исследование варикапа. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 15 с. [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1307

6. Агафонников В.Ф. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде при подаче импульса прямого тока. Методические указания по выполнению лабораторной работы. Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА. - Томск : ТУСУР, 2007. - 12 с. : ил. - Библиогр.: с. 12. (**15 экз**).

Прочие учебно-методические материалы:

1. Наглядные пособия - стенды полупроводниковых приборов, демонстрирующих активную часть (структуру кристалла) на различных стадиях выполнения технологического процесса при их изготовлении.
2. Слитки германия, кремния, а также сами полупроводниковые приборы: диоды, транзисторы.

12.3 Программное обеспечение_ Microsoft PowerPoint для проведения лекций, операционные системы Windows и Unix для проведения лабораторных работ.

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Образовательный портал университета, библиотека университета.

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины: Лабораторные занятия проводятся в специализированной учебной лаборатории. В ней имеются макеты для выполнения всех, предусмотренных рабочей программой, лабораторных работ и методические указания для выполнения лабораторных работ.

14. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины (по усмотрению разработчика программы).

Структура подачи лекционного материала. Основная форма подачи лекционного материала – это последовательное изложение содержания дисциплины. Повышение активности студентов наблюдается при реализации «принципа диалогического общения». Активизация лекции предполагает использование методических приемов включения студентов в диалогическое общение, протекающее в виде внешнего и внутреннего диалога. Содержание подается через серию вопросов, на которые студент должен отвечать непосредственно в ходе лекции. «Принцип проблемности» при подаче материала предполагает представление учебного материала в виде проблемных ситуаций и вовлечение слушателей в совместный анализ, и поиск решений. Важно проведение небольших дискуссий по ходу лекции при анализе и решении проблемных ситуаций.

Лабораторный практикум. Возбуждению интереса на лабораторном практикуме способствует наглядность процесса, свободный доступ к методическим материалам. Обсуждение (защита) работ в виде мини-конференций реализует педагогический прием «дебаты». У студента формируется способность держаться перед аудиторией, происходит переосмысление работы.

Практические занятия. Возбуждение интереса проявляется тогда, когда у студента получаются задания. Выполнение заданий учитывает возможности и наклонности студента и позволяет предложить творческое развитие любого фрагмента заданий.

Защита самостоятельной работы. Наибольший импульс для развития дает научно-техническая конференция, где каждый обязан выступить. Происходит переосмысление деятельности, прирост команды энтузиастов для участия в развитии работ. Это способствует развитию общекультурных и профессиональных компетенций и вырабатывает навык грамотного изложения результатов работы и их защита.

Согласована на портале № 7412

ПРИЛОЖЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П.Е. Троян
«_1_» _____07_____ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Уровень основной образовательной программы бакалавриат
Направление подготовки 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств
Профили: Проектирование и технология радиоэлектронных средств;
Технология электронных средств;
Конструирование и технология наноэлектронных средств;

Форма обучения Очная
Факультет радиоконструкторский (РКФ)
Кафедра Конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

Курс 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 2013, 2014 года
Диф. зачет – _4 (четвертый)__ семестр

Разработчик
д.ф.-м.н., профессор каф. КУДР
_____С.Г. Еханин С.Г.

Заведующий кафедрой КУДР
_____ А.Г. Лощилов
(подпись)

Томск 2016

Согласована на портале № 7412

1 ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины 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 дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

В таблице 1.1 приведен перечень закрепленных за дисциплиной компетенций.

Таблица 1.1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	**Знать**: свойства различных полупроводниковых материалов; основные понятия, определения, термины; принципы, основы теории модели и методы, законы; размерные зависимости электрических свойств полупроводниковых структур; основы работы различных полупроводниковых приборов. **Уметь:** выбирать методы исследования, соответствующие поставленной задаче, выбирать и обосновывать модели исследуемой системы; применять экспериментальные и теоретические методы в научно-технических исследованиях; адаптировать, модифицировать модели, методы и алгоритмы для решения конкретных задач; обобщать и интерпретировать полученные результаты; рассчитывать характеристики результатов экспериментов с применением средств вычислительной техники и прикладного программного обеспечения; выполнять расчеты основных электрических параметров полупроводниковых структур; пользоваться общенаучной и специальной литературой; **Владеть:** навыками выбора методов исследования, моделей исследуемой системы и интерпретации результатов исследования электрических свойств полупроводниковых структур; навыками по анализу кинетических процессов в полупроводниковых структурах для научно обоснованного выбора соответствующих структур, наиболее подходящих для решения конкретной задачи; методами проведения экспериментов по исследованию полупроводниковых структур с использованием современной измерительной аппаратуры, обработки, аппроксимации и анализа числовых результатов наблюдений.

2 РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

КОМПЕТЕНЦИЯ ОПК-1: способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

Согласована на портале № 7412

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции у студентов, применяемые для этого 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 основные принципы, основы теории, законы, размерные зависимости.	Умеет выполнять расчеты основных электрических параметров полупроводниковых структур.	Владеет физико-математическим аппаратом, используемым при исследовании и анализе электрических свойств полупроводниковых структур.
Виды занятий	Лекции, практические занятия, групповые консультации	Лабораторные работы, выполнение домашнего задания, самостоятельная работа студентов	Практические занятия, лабораторные работы, Консультации.
Используемые средства	Оценка конспектов лекций, тест, выполнение домашнего задания	Оформление отчетности и защита лабораторных работ; оформление и защита домашнего задания; оценка конспекта самостоятельной работы	Защита лабораторных работ; защита самостоятельного задания

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)	Может анализировать связи между различными физическими понятиями и моделями, представляет способы и результаты использования различных физических моделей полупроводниковых структур.	Обладает теоретическими знаниями, необходимыми для самостоятельного решения задач повышенной сложности.	Владеет навыками анализа и моделирования физических процессов в полупроводниковых структурах.
Хорошо (базовый уровень)	Знает принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	Обладает теоретическими представлениями, необходимыми для решения типовых задач в области исследования	Владеет терминологией, основами анализа и моделирования процессов в полупроводниковых структурах.
Удовлетворительно (пороговый	Обладает базовыми общими знаниями	Обладает основными теоретическими представлениями, требуемыми для	Может эффективно работать под наблюдением преподавателя.

Согласована на портале № 7412

уровень)		решения простых задач.	

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

Таблица 2.3– Показатели и критерии оценивания компетенции у студентов на этапах освоения

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает теоретическим знанием в области анализа свойств материалов и электрических характеристик полупроводниковых структур с пониманием границ применимости.	Умеет решать задачи повышенной сложности, физически корректно выражать и аргументированно обосновывать результаты.	Владеет физико-математическим аппаратом, используемым при анализе свойств и характеристик полупроводниковых структур.
Хорошо (базовый уровень)	Понимает связи между различными физическими понятиями, имеет представление о физических моделях, аргументирует выбор метода решения задачи.	Умеет решать типовые задачи математически и с физической точки зрения аргументировать результаты анализа полупроводниковых структур.	Владеет физическими представлениями, используемыми при анализе свойств и характеристик полупроводниковых структур.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Дает определения основных понятий, воспроизводит основные физические факты, идеи в области физики полупроводниковых структур.	Распознает различные типы полупроводниковых приборов. Умеет работать со справочной литературой. Знает основные алгоритмы решения типовых задач.	Понимает терминологию и сущность процессов, проходящих в полупроводниковых структурах.

3 ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

-*типовые контрольные задания*, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы,

- *вопросы к зачету*,

- *тексты тестов*,

-*темы рефератов*.

Темы для тестового опроса

1. Явления переноса, возникающие в среде при наличии электрических, тепловых и магнитных полей.
2. Зонные диаграммы диэлектриков, полупроводников и металлов. Уточнение зонной модели, энергетическая зонная структура германия и кремния. Эффективная масса.
3. Контактная разность потенциалов. Распределение потенциала в *p*-*n*–переходе.
4. Распределение потенциала в *p*-*n*–переходе и ширина области объемного заряда. Барьерная емкость *p*-*n*–перехода.

5 Процессы, протекающие в обратно-смещенном *p*-*n*–переходе. Виды и

Согласована на портале № 7412

механизмы пробоя.
Функциональные возможности полупроводниковых диодов.

6. Структура транзисторов и выполняемые ими функции.
7. Выражения для переменных токов в транзисторе. Эквивалентная схема транзистора.
8. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с *p-n* – переходом в качестве затвора.
9. Эквивалентная схема и частотные свойства МОП-транзистора.
10. Наногетероструктуры, функциональные возможности устройств с квантовыми ямами, квантовыми проволоками, точками.

Темы лабораторных работ:

1. Изучение характеристик терморезисторов
2. Переходные процессы в полупроводниковых диодах
3. Исследование варикапа
4. Изучение статических характеристик биполярного транзистора
5. Измерение ширины базы биполярного транзистора
6. Изучение характеристик тиристоров
7. Исследование прямых и обратных ВАХ гетероструктур на основе GaN при различной температуре.

Темы теоретической части курса, вынесенные на самостоятельное изучение студентами:

1. Роль советских и зарубежных ученых в развитии микроэлектроники.
2. Функциональные возможности полупроводниковых диодов.
3. Технологические процессы, используемые при производстве электронно-дырочных переходов.

Тема самостоятельной работы «Расчет биполярного транзистора».

В учебном пособии «Физика полупроводниковых структур» в приложении приводится учебный материал для выполнения домашней самостоятельной работы:

1. Дается краткое описание физики процессов в биполярном транзисторе.
2. Приводится описание зависимости параметров транзистора от режимов работы, эквивалентная схема транзистора.
3. Приводятся примеры расчетов основных параметров транзистора и все необходимые для расчета справочные данные.

Ниже, в таблице, приведены варианты заданий.

Таблица. - Варианты заданий на самостоятельную работу по расчету параметров биполярного транзистора

№ вар	$\rho_{э,Ом*см}$	$\rho_{б\ Ом*см}$	$\rho_{к,Ом*см}$	$\tau_{б,мкс}$	$L_{э,мкм}$	$L_{к,мкм}$	S, *см/с*	$J_{э,мА}$	$U_{к,В}$
1	0,002	1,0	0,002	25	4	4	900	0,5	-5,0
2	0,004	1,5	0,004	20	5	5	1000	1,0	-4,0
3	0,005	2,0	0,005	15	4,5	4,5	1100	2,0	-5,5
4	0,006	3,0	0,006	20	6	6	1200	5,0	-6,0
5	0,007	4,0	0,007	20	4	4	1100	10,0	-5,0
6	0,008	5,0	0,008	30	5	5	1000	5,0	-4,0
7	0,009	6,0	0,009	35	5,5	5,5	900	2,0	-5,0
8	0,010	7,0	0,010	40	6	6	800	0,5	-5,5
9	0,005	0,9	0,005	20	8	8	1000	0,6	-5,0
10	0,004	0,8	0,004	25	7	7	900	0,7	-4,0
11	0,003	0,7	0,003	15	6	6	800	0,8	-5,0
12	0,002	0,6	0,002	30	5	5	900	1,0	-4,0

Согласована на портале № 7412

13	0,008	0,5	0,008	40	7	7	1000	0,6	-5,0
14	0,009	0,4	0,009	15	8	8	1100	0,7	-4,0
15	0,010	1,0	0,010	20	5	5	1200	0,8	-5,0
16	0,007	1,5	0,007	25	4	4	1300	0,9	-6,0
17	0,006	2,0	0,006	25	6	6	900	1,0	-5,0
18	0,005	3,0	0,005	20	7	7	1000	2,0	-4,0
19	0,002	4,0	0,002	30	8	8	1100	3,0	-6,0
20	0,001	5,0	0,001	20	5,5	5,5	1200	4,0	-5,0
21	0,002	3,0	0,002	30	5	6	1000	5,0	-5,0

Где $\rho_э$, $\rho_б$, $\rho_к$ – удельные сопротивления эмиттера, базы и коллектора соответственно, $\tau_б$ – время жизни носителей в базе, $L_э$, $L_к$ - диффузионные длины пробега носителей в эмиттерной и коллекторной областях, S – скорость поверхностной рекомбинации, $J_э$ - ток эмиттера, $U_к$ - напряжение на коллекторе.

Геометрические размеры структуры кристалла транзистора для всех вариантов одинаковы, см. учебное пособие стр. 198.

Пояснительная записка к самостоятельной работе должна быть оформлена в соответствии с ОС ТУСУР, пример титульного листа приведен в учебном пособии.

Вопросы для самоконтроля к практическим занятиям по теме «Полупроводниковые диоды»

1. Какова природа электропроводности твердых веществ? Классифицируйте твердые вещества по электропроводности. Чем обусловлена электропроводность собственного полупроводника? С какой целью в полупроводник вводят примеси? Как влияют на электропроводность полупроводника донорные и акцепторные примеси? Объясните, что такое дырки? Каково их движение в полупроводнике при отсутствии и под действием разницы потенциалов?

2. Объясните отличие собственного и примесного полупроводников? Какие носители являются основными и неосновными в полупроводниках *n*- и *p*-типов? Почему? Объяснить причины возникновения диффузионного и дрейфового токов в полупроводнике.

3. Что такое *p*-*n*-переход? Как он формируется? Поясните принцип действия *p*-*n*-перехода.

4. Объяснить с физической точки зрения вентильные свойства *p*-*n*-перехода.

5. Показать отличия между вольт-амперными характеристиками кремниевого и германиевого диодов. Привести типовые значения для, $_{пр}r$, $_{обр}r$, $_{пр}U$, $_{0}I$ этих диодов. Как определить данные параметры по ВАХ?

6. Перечислить параметры, определяемые по ВАХ реального диода. Как они определяются?

7. Записать математическую модель идеализированного *p*-*n*-перехода и пояснить физический смысл каждого параметра. Нарисовать ВАХ идеализированного *p*-*n*-перехода. Сравните идеальную и реальную вольт-амперные характеристики диода.

8. Приведите ВАХ диода для разных рабочих температур? Чем обусловлен обратный ток в диоде и как зависит от температуры и обратного напряжения?

9. Охарактеризуйте виды пробоя *p*-*n*-перехода.

10. Привести схемы замещения диодов и их аппроксимированные вольт-амперные характеристики. Как определяются параметры элементов в схемах замещения? Дайте рекомендации по применению схем.

11. Какова область применения выпрямительных диодов? Перечислите и поясните основные
параметры и значения выпрямительных диодов.

12. В каких случаях целесообразно применение импульсных диодов? Почему? Поясните с помощью диаграмм процесс запирания диода в импульсных схемах. Перечислите основные

Согласована на портале № 7412

параметры импульсных диодов.

13. Нарисуйте УГО и ВАХ стабилитрона. Почему такие диоды называют стабилитронами? Перечислите и поясните основные параметры стабилитронов и их типовые значения. Привести схему простейшего параметрического стабилизатора со стабилитроном. Пояснить принцип действия.

14. Какой полупроводниковый диод называют стабистором? Почему? Как стабистор включается в электрическую цепь? Какие полупроводниковые диоды называются варикапами? Приведите схему включения варикапа, поясните принцип действия.

15. Какие полупроводниковые приборы называют диодами Шоттки? Нарисуйте УГО диода Шоттки. Укажите область их применения, достоинства и недостатки. Приведите УГО и ВАХ туннельного диода, укажите области применения.

16. По каким параметрам выбираются диоды на практике?

17. Опишите систему обозначений полупроводниковых диодов.

4 Методические материалы к ФОС, определяющие процедуры оценивания

На самостоятельное изучение переносятся разделы, касающиеся роли отечественных ученых в развитии микро- и наноэлектроники, функциональные возможности полупроводниковых диодов, технологические процессы, используемые при производстве электронно-дырочных переходов.

Например, при изучении технологических процессов, используемых при производстве электронно-дырочных переходов, студент должен познакомиться с существующими технологическими приемами, используемыми для создания контактов между металлом и полупроводником, между двумя полупроводниками одного типа электропроводности, между полупроводниками с разным типом электропроводности с одинаковой шириной запрещенной зоны и с различными значениями ширины запрещенной зоны (гетеропереходы).

Знакомясь с технологией, студенту нужно будет узнать, где в технике находят применение те или иные контакты, какой из технологических приемов следует использовать для решения поставленной задачи.

В качестве средства оценки усвоения материала – выступление на практическом занятии или реферат.

Для лучшего усвоения материала на практических занятиях предлагается решать задачи по различным разделам курса. Например, в задаче из раздела 2 «Электрофизические свойства полупроводниковых материалов» предлагается вычислить при Т= 10 К концентрацию электронов случае их монополярной генерации в германии с примесью сурьмы (дана концентрация примесных атомов и энергия ионизации). Приведена эффективная плотность состояний в зоне проводимости при заданной температуре. Для решения этой задачи нужно знать материал нескольких предыдущих разделов. Что такое «генерация», что значит «монополярная» генерация, в каком случае она может наблюдаться в полупроводниках. Выяснив все это, необходимо определить тип проводимости полупроводника и в каком температурном интервале он находится (область слабой ионизации примеси, область истощения и т. п.). После выяснения всего перечисленного можно будет приступить непосредственно к решению задачи.

В качестве средства оценки уровня освоения компетенции, используются контрольные работы. Контрольные работы проводятся на каждом третьем практическом занятии. Поэтому в контрольную работу включаются обычно задачи из нескольких разделов. После проверки на занятии выясняется, решение каких задач вызвало затруднение, что было не понятно.

В конце семестра, когда прочитаны основные разделы курса, студентам предлагаются индивидуальные самостоятельные задания. Для выполнения задания нужно знать механизмы электропроводности полупроводников, теорию электронно-дырочных переходов, зависимость тока p-n перехода от приложенного напряжения, влияние внешних факторов на вольтамперную

Согласована на портале № 7412

характеристику, пробой p-n перехода. Построение энергетической диаграммы p-n перехода с учетом степени легирования электронной и дырочной областей при различных приложенных напряжениях часто вызывает затруднение у студентов.

Защита заданий проводится в небольших группах. Основной докладчик рассказывает о своей работе, подчеркивает особенности рассчитанной структуры, отвечает на вопросы. При этом сразу можно сделать вывод, кто самостоятельно выполнил работу, и оценить усвоение материала. Возбуждение интереса проявляется тогда, когда у студента получаются задания. Выполнение заданий учитывает возможности и наклонности студента и позволяет предложить творческое развитие любого фрагмента заданий. Это способствует развитию общекультурных и профессиональных компетенций и вырабатывает навык грамотного изложения результатов работы и их защиты перед комиссией.

Оценка освоения компетенции проводится и на защите лабораторных работ. Во время выполнения лабораторных работ студенты овладевают физическими представлениями, математическим аппаратом, используемыми при анализе свойств и характеристик полупроводниковых структур. Студент учится объяснять устройство и принцип работы полупроводниковых приборов, определять параметры полупроводниковых приборов по их характеристикам.

Возбуждению интереса на лабораторном практикуме способствует наглядность процесса, возможность познакомиться с оборудованием, свободный доступ к методическим материалам. Обсуждение (защита) работ в виде мини-конференций реализует педагогический прием «дебаты». У студента появляется смелость держаться перед аудиторией, происходит переосмысление работы.

Примеры дополнительных вопросов при сдаче дифференцированного зачета.

Предусмотрены три уровня сложности заданий.

1 уровень сложности (оценивается на «удовлетворительно»)

А) Какой пробой опасен для p-n- перехода?

а) тепловой; *в) тот и другой;*

б) электрический; *г) пробой любого вида неопасен.*

Б) Принцип действия варикапа, физическое описание.

2 уровень сложности (оценивается на «хорошо»)

А) Какие диоды используются для генерации электрических колебаний:

а) туннельные;

б) импульсные;

в) стабилитроны.

г) для генерации электрических колебаний диоды не используются.

Б) По названию полупроводниковых диодов в схеме «Классификация полупроводниковых диодов» в отведённых квадратах нарисуйте условно-графическое обозначение соответствующих диодов (см. рис. 1).

Согласована на портале № 7412

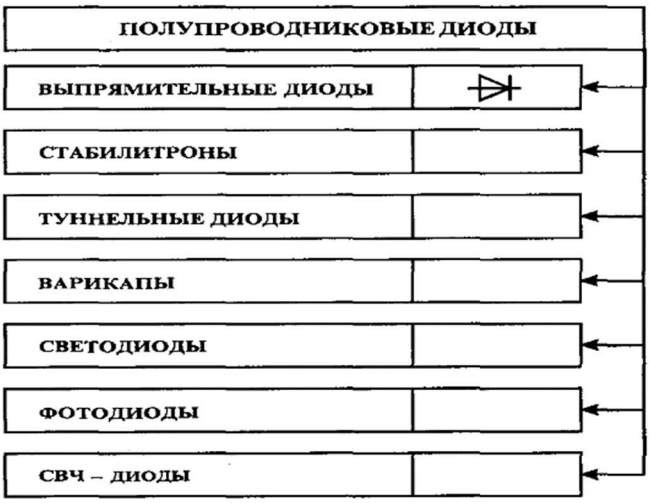


Рис. 1 - Классификикация полупроводниковых приборов

<u>3 уровень сложности (оценивается на «отлично»)</u>

А) У какого транзистора входное сопротивление максимальное:

а) у биполярного;

б) у полевого с затвором в виде p-n–перехода;

в) у МДП–транзистора;

г) у транзистора типа p-n-p.

Б) По вольтамперной характеристике выпрямительного диода, изображённой на рис. 2, определите сопротивление диода по постоянному току при включении тока в прямом и обратном направлении, если к диоду приложено напряжение $U_{пр}$ = 0,5 В и $U_{обр}$ = – 50 В.

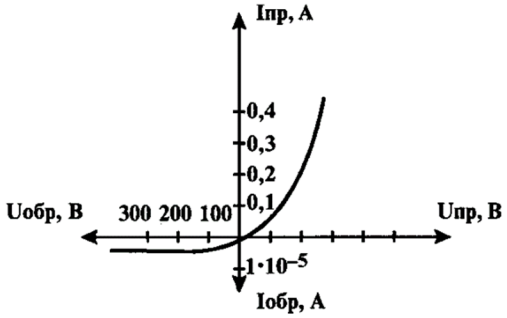


Рис. 2 Вольт-амперная характеристика диода

4.1 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

<u>Основная литература</u>:

1.Физика полупроводниковых структур: учеб. пособие /В.Ф. Агафонников.- Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. - 200 с. (**42** экз.).

2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2006. – 480 с. (**98 экз.**).

3. Сборник задач по полупроводниковой электронике: Учебное пособие для вузов / Н. В. Бурбаева, Т. С. Днепровская. - М.: Физматлит, 2006. - 166 с. (**50 экз.**).

<u>Дополнительная литература:</u>

Согласована на портале № 7412

1. Физика полупроводниковых приборов /В.И. Гаман.-Томск: НТЛ, 2000. - 426 с. (45 экз.)

2. Материалы электронной техники: Учебник для вузов / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. – 5-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2003. - 368 с. (**39 экз.**)

3. Сборник задач по полупроводниковой электронике: Учебное пособие для вузов / Н. В. Бурбаева, Т. С. Днепровская. - М.: Физматлит, 2006. - 166 с. (**50 экз.**)

4. Питер Ю. Основы физики полупроводников: Пер. с англ. / П. Ю, М. Кардона; пер.: И. И. Решина; ред. пер.: Б. П. Захарчени. - М.: Физматлит, 2002. - 560 с. (**155 экз.**)

5. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов – М.: Физматкнига, 2006. – 494 с. (**33 экз.**)

6. Боргардт Н.И., Гаврилов С.А., Герасименко Н.Н. и др. Нанотехнологии в электронике. – М: Техносфера, 2005. 446 с. (**20 экз.**)

Перечень методических указаний по лабораторным работам, практическим занятиям и для выполнения самостоятельной работы и индивидуальных заданий:

1. Агафонников В.Ф. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 12 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1297

2. Агафонников В.Ф. Изучение статических характеристик биполярного транзистора. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 15 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1299

3. Агафонников В.Ф. Измерение ширины базы триода. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 7 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1296

4. Агафонников В.Ф. Измерение h-параметров биполярных транзисторов. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 10 с.: [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1295

5. Агафонников В.Ф. Исследование варикапа. Методические указания по выполнению лабораторной работы. – 2012. – 15 с. [Электронный ресурс]. – режим доступа: edu.tusur.ru/training/publications/1307

6. Агафонников В.Ф. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде при подаче импульса прямого тока. Методические указания по выполнению лабораторной работы. Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА. - Томск : ТУСУР, 2007. - 12 с. : ил. - Библиогр.: с. 12. (**15 экз**).

Прочие учебно-методические материалы:

1. Наглядные пособия - стенды полупроводниковых приборов, демонстрирующих активную часть (структуру кристалла) на различных стадиях выполнения технологического процесса при их изготовлении.
2. Слитки германия, кремния, а также сами полупроводниковые приборы: диоды, транзисторы.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Образовательный портал университета, библиотека университета.

Материально-техническое обеспечение дисциплины: лабораторные занятия проводятся в специализированной учебной лаборатории. В ней имеются макеты для выполнения всех, предусмотренных рабочей программой, лабораторных работ и методические указания для выполнения лабораторных работ.

Согласована на портале № 7412