Б1.В.ДВ.7.1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

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 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 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				18					18	часов
2.	Лабораторные работы				-					-	часов
3.	Практические занятия				18					18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)				-					-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)				36					36	часов
6.	Из них в интерактивной форме				14					14	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)				36					36	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)				72					72	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена				-					-	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)				72					72	часов
	(в зачетных единицах)				2					2	ЗЕ

Зачет 4 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 10702

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

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 марта 2015 г. № 177, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от « 8 » 09 2016 г., протокол № 73 .

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

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

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

Декан ФЭТ _____ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей кафедрой 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 № 10702

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Физические основы микро- и наноэлектроники» является приобретение знаний по физике электронных процессов в твердотельных структурах, включая наноструктуры, физическим основам действия полупроводниковых приборов и приборов на основе других, в том числе наноматериалов, их электрическим характеристикам для статического и динамического режимов работы, реакциям приборов и устройств на внешние воздействия, представлению приборов в виде моделей, методам экспериментального определения параметров моделей, основам микросистемной техники.

Задачей изучения дисциплины «Физические основы микро- и наноэлектроники» является приобретение навыков и умений по расчету параметров твердотельных структур и приборов, представлению твердотельных приборов в виде эквивалентных схем и моделей, экспериментальному определению параметров твердотельных структур и моделей и элементов микросистемной техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части базовой части (Б1.В.ДВ.7.1) образовательной программы по направлению 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Изучение дисциплины базируется на следующих ранее изучаемых дисциплинах: физика, теоретические основы электротехники, физика конденсированного состояния, материалы электронной техники.

На материалах, изучаемых в данной дисциплине, базируются следующие дисциплины учебного плана, изучаемые позднее: твердотельная электроника, наноэлектроника, физика полупроводников, элементы и приборы наноэлектроники.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат **(ОПК-2)**;
- способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий **(ПК-1)**;
- готовность к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники **(ПСК-3)**.

3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

знать:

– основные параметры, характеризующие свойства твердых тел, в том числе наноматериалов, используемых для создания твердотельных структур;

– устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов;

– эквивалентные схемы приборов, методы расчета параметров эквивалентных схем;

– функциональные электрические и тепловые модели приборов и элементов микросистемной техники и методы определения параметров моделей;

– методы анализа переходных процессов;

уметь:

– анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда;

– правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем;

– производить расчеты параметров твердотельных приборов;

– экспериментально определять параметры твердотельных приборов;

владеть:

– навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем.

Согласована на портале № 10702

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет __2__ зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		4
Аудиторные занятия (всего)	**36**	**36**
В том числе:	-	
Лекции	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа (всего)	**36**	**36**
В том числе:	-	
Проработка лекционного материала	4	4
Подготовка к практическим занятиям	14	14
Подготовка к контрольным работам	6	6
Выполнение и защита индивидуального задания	12	12
Общая трудоемкость час	**72**	**72**
Зачетные Единицы Трудоемкости	**2**	**2**

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	1	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
2.	Физические основы твердотельной электроники	8	6	16	30	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
3.	Физика твердотельных структур	9	12	20	41	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
	ИТОГО	**18**	**18**	**36**	**72**	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Твердотельные наноструктуры. Микросистемная техника. 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. Наноэлектроника. Основные разделы курса лекций, диалектика развития дисциплины. Вклад отечественных ученых в развитие полупроводниковой техники, электроники и наноэлектроники. Список рекомендуемой литературы.	1	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
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. Определение полупроводникового материала, примеры полупроводниковых материалов (элементарные полупроводники, двойные и тройные соединения). Собственные и примесные полупроводники и их электропроводность. Компенсированные полупроводники. Зонная диаграмма этих материалов. Концентрация свободных носителей	8	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3

Согласована на портале № 10702

		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. Квантовые эффекты, лежащие в основе устройств наноэлектроники, энергетический спектр в квантовых ямах, проволоках, точках. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Виды генерации и рекомбинации: термогенерация, фотогенерация, полевая ионизация; рекомбинация зона-зона, рекомбинация через рекомбинационные уровни, излучательная и безизлучательная рекомбинация. Основные и неосновные носители заряда. Закон действующих масс для собственных и примесных полупроводников. Равновесные и неравновесные носители заряда. Избыточная концентрация носителей. Уравнение электронейтральности. Явления на поверхности полупроводников: обеднение, обогащение, инверсия. Эффект поля.		
3.	Физика твердотельных структур	Контакты металл-диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник с различным типом проводимости (p-n переход). Понятие работы выхода. Термодинамическая работа выхода и электронное сродство. 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. МДП-структура: режим обеднения, режим инверсии, емкость. Применение МДП-структур. Двумерный электронный газ. 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.	9	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3

Согласована на портале № 10702

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
Предшествующие дисциплины				
1.	физика	+	+	+
2.	теоретические основы электротехники	+	+	+
3.	физика конденсированного состояния	+	+	+
4.	материалы электронной техники			
Последующие дисциплины				
1	твердотельная электроника	+	+	+
2	наноэлектроника	+	+	+
3	физика полупроводников	+	+	+
4	элементы и приборы наноэлектроники	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий			Формы контроля
	Л	ПЗ	СРС	
ОПК-2	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольных работ. Защита индивидуального задания.
ПК-1	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольных работ. Защита индивидуального задания.
ПСК-3	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольных работ. Защита индивидуального задания.

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы / Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Всего
Мультимедийные презентации с видеороликами и раздаточным материалом с последующим обсуждением	4	4	8
Работа в команде	-	6	6
Итого интерактивных занятий	4	10	14

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

не предусмотрено

Согласована на портале № 10702

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	**2**	Свойства полупроводниковых материалов, концентрация свободных носителей в полупроводниках. Определение характеристик полупроводников.	4	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
2.	**3**	Контакт металл-полупроводник.	4	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
3.	**3**	Решение задач по ЭДП, гомо- и гетеропереходы.	6	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
4.	**2**	КР-1. Физические основы твердотельной электроники.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
5.	**3**	КР-2. ЭДП, гомо- и гетеропереходы.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**2-3**	Проработка лекционного материала	4	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Опрос на лекциях
2.	**2-3**	Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям	14	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Отчет по практической работе
3.	**2-3**	Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам	6	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Результаты контрольных работ
4.	**3**	Выполнение и защита индивидуальных заданий: «Расчет параметров диода Шоттки» и «Расчет параметров электронно-дырочного перехода»	12	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Защита индивидуального задания

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

не предусмотрено

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Индивидуальное задание №1		15		**15**
Индивидуальное задание №2			15	**15**
Контрольная работа КР-1	15			**15**
Контрольная работа КР-2		15		**15**
Отчеты по практическим занятиям	10	5	10	**25**
Компонент своевременности	3	3	3	**9**
Посещение занятий	2	2	2	**6**
Итого максимум за период:	**30**	**40**	**30**	**100**
Нарастающим итогом	**30**	**70**	**100**	**100**

Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

Согласована на портале № 10702

Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

Вопросы для подготовки к зачету:

1. Элементы зонной теории полупроводников.
2. Параметры, характеризующие свойства полупроводниковых материалов .
3. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
4. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники.
5. Диапазон рабочих температур полупроводниковых приборов.
6. Равновесные и неравновесные носители зарядов в полупроводниках. Основные и неосновные носители. Закон действующих масс.
7. Полупроводники в электрическом поле.
8. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках.
9. Уравнение электронейтральности.
10. Явления на поверхности полупроводников.
11. Энергетическая диаграмма выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
12. Принцип выпрямления тока на контакте металл-полупроводник по энергетическим диаграммам.
13. Вольтамперная характеристика выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
14. Диод Шоттки: структура, эквивалентная схема, параметры эквивалентной схемы. Модель диода Шоттки.
15. Эффект Шоттки.
16. Достоинства и недостатки диода Шоттки.
17. Омические контакты и их параметры.
18. Механизм образования электронно-дырочного перехода. Определение ЭДП.
19. Контактная разность потенциалов. Зависимость от температуры, ширины запрещенной зоны, концентрации легирующей примеси.
20. Потоки носителей зарядов в электронно-дырочном переходе по энергетическим диаграммам. Односторонняя проводимость p-n перехода.
21. Методы получения электронно-дырочного перехода.
22. Вольтамперная характеристика реального электронно-дырочного перехода.
23. Диффузионная и барьерная емкости электронно-дырочного перехода.
24. Эквивалентная схема электронного дырочного перехода. Параметры эквивалентной схемы.
25. Переходные процессы в электронно-дырочном переходе.
26. Пробой электронно-дырочного перехода.

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 560 с. – [электронный ресурс]. – http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=937

Согласована на портале № 10702

12.2 Дополнительная литература

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. **(48)**

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

3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1990. – 264 с. **(21)**

4. Крутякова М.Г., Чарыков Н.А., Юдин В.В. Полупроводниковые приборы и основы их проектирования. – М.: Радио и связь, 1983. – 352 с. **(6)**

5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. **(98)**

6. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. **(88)**

7. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов / Э. Н. Воронков [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 317 с. **(4)**

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. **(47)**

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 реализации программы учебной дисциплины требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором.

Согласована на портале № 10702

Согласована на портале № 10702

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

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

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

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

Профиль Нанотехнологии в электронике и микросистемной техник

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 2014 года.

Зачет 4 **семестр**

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

Томск 2016

Согласована на портале № 10702

1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «Физические основы микро- и наноэлектроники» 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 «Физические основы микро- и наноэлектроники» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Физические основы микро- и наноэлектроники» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-2	способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	*знать* методы анализа переходных процессов; *знать* основные параметры, характеризующие свойства твердых тел, в том числе наноматериалов, используемых для создания твердотельных структур; *уметь* анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
ПК-1	способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	*знать* эквивалентные схемы приборов, методы расчета параметров эквивалентных схем; *знать* устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов; *уметь* производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; *уметь* экспериментально определять параметры твердотельных приборов и элементов микросистемной техники; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
ПСК-3	готовность к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники	*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 способность 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; *знает* основные параметры, характеризующие свойства твердых тел, в том числе наноматериалов, используемых	*умеет* анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда;	*владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элемента-

Согласована на портале № 10702

	для создания твердотельных структур;		ми электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Зачет	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление);	Зачет

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

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

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

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

Таблица 2.3 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	**Знать**	**Уметь**	**Владеть**
Отлично (высокий уровень)	*понимает* связь между основными параметрами, характеризующие свойства твердых тел; *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; *самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование;	*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

Согласована на портале № 10702

Хорошо (базовый уровень)	*понимает* связь между основными параметрами, характеризующие свойства твердых тел; *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)	*знает* основные параметры, характеризующие свойства твердых тел; *дает* определения основных понятий; *распознает* переходные процессы в полупроводниковых приборах; *знает* основные методы анализа переходных процессов; *знает* основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике	*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

2.2 Компетенция ПК-1

ПК-1 способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий

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

Таблица 2.4 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

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

Согласована на портале № 10702

	Зачет		

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

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

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	*понимает* связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем; *определяет* экспериментальными методами параметры эквивалентных схем приборов и объектов нано- и микросистемной техники; *называет* основные технические характеристики основных устройств и приборов нано- и микросистемной техники; *аргументирует* выбор метода расчета основных параметров эквивалентных схем; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем приборов и объектов нано- и микросистемной техники; *умеет выбирать* метод расчета основных параметров эквивалентных схем приборов и объектов нано- и микросистемной техники; *умеет* использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования приборов и объектов нано- и микросистемной техники; *умеет* проводить физико-математическое моделирование процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе; *классифицирует* устройства и установки электроники и наноэлектроники по их функциональному назначению
Хорошо (базовый уровень)	*распознает* эквивалентные схемы устройств и объектов нано- и микросистемной техники; *знает* принцип действия основных классов устройств и объектов нано- и микросистемной техники и их основные технические характеристики; *определяет* методы расчета параметров эквивалентных схем устройств и объектов нано- и микросистемной техники; *составляет* план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет рассчитывать* основные параметры приборов и объектов нано- и микросистемной техники и их эквивалентных схем замещения; *умеет* проводить физико-математическое моделирование процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники	*владеет* разными способами представлениями информации; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *способен классифицировать* приборы и устройства нано- и микросистемной техники
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* эквивалентные схемы основных устройств и объектов нано- и микросистемной техники; *знает* принцип действия основных классов устройств и объектов нано- и	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практической работы с приборами и объектами нано- и микросистемной техники

Согласована на портале № 10702

	микросистемной техники		

2.3 Компетенция ПСК-3

ПСК-3 готовность к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	*знает* функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей;	*умеет* правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем;	*владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Зачет	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление);	Зачет

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

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	*понимает* разницу между функциональными и электрическими моделями приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *аргументирует* выбор метода определения параметров функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *физически аргументирует* выбор и план решения по определения параметров моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *графически иллюстрирует* основные зависимости	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами электронной схемы; *умеет выбирать* метод расчета основных параметров электронной схемы, обеспечивая при этом высокую надежность электрических схем	*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 *проводит* опытно-конструкторские работы в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники

Согласована на портале № 10702

	функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники		
Хорошо (базовый уровень)	*распознает* функциональные и электрические модели приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *знает* принцип действия функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *определяет* методы расчета параметров функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *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 наноэлектроники и микросистемной техники; *знает* принцип действия функциональных и электрических моделей приборов 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: контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, самостоятельная работа, зачет.

3.1 Контрольные работы

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

3.2 Индивидуальные задания

1. Расчет параметров диодов Шоттки.
2. Расчет параметров электронно-дырочного перехода.

3.3 Темы для самостоятельной работы

1. Физические основы твердотельной электроники.
2. Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки.
3. Электронно-дырочный переход.

3.4 Зачет

1. Элементы зонной теории полупроводников.

Согласована на портале № 10702

2. Параметры, характеризующие свойства полупроводниковых материалов .
3. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
4. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники.
5. Диапазон рабочих температур полупроводниковых приборов.
6. Равновесные и неравновесные носители зарядов в полупроводниках. Основные и неосновные носители. Закон действующих масс.
7. Полупроводники в электрическом поле.
8. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках.
9. Уравнение электронейтральности.
10. Явления на поверхности полупроводников.
11. Энергетическая диаграмма выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
12. Принцип выпрямления тока на контакте металл-полупроводник по энергетическим диаграммам.
13. Вольтамперная характеристика выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
14. Диод Шоттки: структура, эквивалентная схема, параметры эквивалентной схемы. Модель диода Шоттки.
15. Эффект Шоттки.
16. Достоинства и недостатки диода Шоттки.
17. Омические контакты и их параметры.
18. Механизм образования электронно-дырочного перехода. Определение ЭДП.
19. Контактная разность потенциалов. Зависимость от температуры, ширины запрещенной зоны, концентрации легирующей примеси.
20. Потоки носителей зарядов в электронно-дырочном переходе по энергетическим диаграммам. Односторонняя проводимость p-n перехода.
21. Методы получения электронно-дырочного перехода.
22. Вольтамперная характеристика реального электронно-дырочного перехода.
23. Диффузионная и барьерная емкости электронно-дырочного перехода.
24. Эквивалентная схема электронного дырочного перехода. Параметры эквивалентной схемы.
25. Переходные процессы в электронно-дырочном переходе.
26. Пробой электронно-дырочного перехода.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

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

4.1 Основная литература

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 560 с. – [электронный ресурс]. – http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=937

4.2 Дополнительная литература

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

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. **(47)**

Согласована на портале № 10702

4.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/

2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/

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

4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

Согласована на портале № 10702

Согласована на портале № 10702