

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования

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



УТВЕРЖДАЮ

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-ae0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

«30» \_\_\_\_\_ 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 2013 года.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции				18					18	часов
2.	Лабораторные работы				-					-	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



### 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

Ассистент кафедры ФЭ

 / П.Е. Троян  
 / В.В. Каранский

**Заведующий кафедрой**

Профессор кафедры ФЭ

 / П.Е. Троян

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

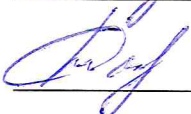
Декан ФЭТ

 / А.И. Воронин

Зав. профилирующей  
кафедрой ФЭ


 / П.Е. Троян

Зав. выпускающей  
кафедрой ФЭ

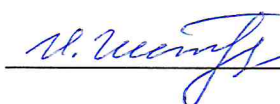
 / П.Е. Троян

**Эксперты:**

Председатель методической  
комиссии факультета ФЭТ

 / И.А. Чистоедова

Председатель методической  
комиссии кафедры ФЭ

 / И.А. Чистоедова

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью изучения дисциплины «Физические основы микро- и нанoeлектроники» 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 нанoeлектроники» 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 профессионального цикла (Б1.В.ДВ.10.1).

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, нанoeлектроника, физика полупроводников, элементы и приборы нанoeлектроники.

## **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 нанoeлектроники 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.

#### 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
<b>ИТОГО</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	

##### 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. Нанoeлектроника. Основные разделы курса лекций, диалектика развития дисциплины. Вклад отечественных ученых в развитие полупроводниковой техники, электроники и нанoeлектроники. 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

		<p>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.</p> <p>Квантовые эффекты, лежащие в основе устройств нанoeлектроники, энергетический спектр в квантовых ямах, проволоках, точках.</p> <p>Генерация и рекомбинация носителей заряда. Виды генерации и рекомбинации: термогенерация, фотогенерация, полевая ионизация; рекомбинация зона-зона, рекомбинация через рекомбинационные уровни, излучательная и безизлучательная рекомбинация.</p> <p>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.</p>		
3.	Физика твердотельных структур	<p>Контакты металл-диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник с различным типом проводимости (р-п переход).</p> <p>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.</p> <p>МДП-структура: режим обеднения, режим инверсии, емкость. Применение МДП-структур. Двумерный электронный газ.</p> <p>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.</p> <p>Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.</p>	9	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3

### 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
<b>Предшествующие дисциплины</b>				
1.	физика	+	+	+
2.	теоретические основы электротехники	+	+	+
3.	физика конденсированного состояния	+	+	+
4.	материалы электронной техники			
<b>Последующие дисциплины</b>				
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
<i>Мультимедийные презентации с видеороликами и раздаточным материалом с последующим обсуждением</i>		4	4	8
<i>Работа в команде</i>		-	6	6
Итого интерактивных занятий		4	10	14

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

не предусмотрено

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (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)	Трудо-емкость (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
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>100</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>30</b>	<b>70</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

**Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
65 – 69		
3 (удовлетворительно) (зачтено)	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. Поток 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?p11\\_cid=68&p11\\_id=937](http://lanbook.com/books/element.php?p11_cid=68&p11_id=937)



## **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.



8/4

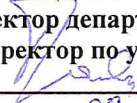
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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	<u>бакалавриат</u>
Направления подготовки	<u>28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»</u>
Профиль	<u>Нанотехнологии в электронике и микросистемной техник</u>
Форма обучения	<u>очная</u>
Факультет	<u>электронной техники (ФЭТ)</u>
Кафедра	<u>физической электроники (ФЭ)</u>
Курс <u>2</u>	Семестр <u>4</u>

Учебный план набора 2013 года.

Зачет 4 семестр

Разработчики:  
Профессор кафедры ФЭ  
Ассистент кафедры ФЭ

 / \_\_\_\_\_ П.Е. Троян  
 / \_\_\_\_\_ В.В. Каранский

Томск 2016

## 1. ВВЕДЕНИЕ

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

Перечень закрепленных за дисциплиной «Физические основы микро- и нанoeлектроники» 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	<i>знать</i> методы анализа переходных процессов; <i>знать</i> основные параметры, характеризующие свойства твердых тел, в том числе наноматериалов, используемых для создания твердотельных структур; <i>уметь</i> анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда; <i>владеть</i> 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	<i>знать</i> эквивалентные схемы приборов, методы расчета параметров эквивалентных схем; <i>знать</i> устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов; <i>уметь</i> производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; <i>уметь</i> экспериментально определять параметры твердотельных приборов и элементов микросистемной техники; <i>владеть</i> 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 нанoeлектроники и микросистемной техники	<i>знать</i> функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей; <i>уметь</i> правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем; <i>владеть</i> 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	<i>знает</i> методы анализа переходных процессов; <i>знает</i> основные параметры, характеризующие свойства твердых тел, в том числе наноматериалов, используемых	<i>умеет</i> анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда;	<i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элемента-

	для создания твердотельных структур;		ми электронных схем
<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа
<b>Используемые средства оценивания</b>	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
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	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
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	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
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	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
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	<i>понимает</i> связь между основными параметрами, характеризующие свойства твердых тел; <i>понимает</i> связь между переходными процессами и полупроводниковыми приборами; <i>аргументирует</i> выбор метода анализа переходных процессов; <i>физически аргументирует</i> выбор и план решения задачи; <i>графически иллюстрирует</i> задачу	<i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> физически анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах с использованием метода заряда; <i>умеет</i> математически описывать переходные процессы в полупроводниковых приборах с использованием метода заряда; <i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование;	<i>свободно владеет</i> разными способами представления физической информации в графической и математической форме; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе

<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	<i>понимает</i> связь между основными параметрами, характеризующие свойства твердых тел; <i>знает</i> переходные процессы в полупроводниковых приборах; <i>имеет</i> представление о методах анализа переходных процессов; <i>аргументирует</i> выбор решения задачи; <i>составляет</i> план решения задачи	<i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование; <i>применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах	<i>владеет</i> разными способами представлениями информации; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>способен классифицировать</i> полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	<i>знает</i> основные параметры, характеризующие свойства твердых тел; <i>дает</i> определения основных понятий; <i>распознает</i> переходные процессы в полупроводниковых приборах; <i>знает</i> основные методы анализа переходных процессов; <i>знает</i> основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике	<i>умеет</i> работать со справочной литературой; <i>использует</i> приборы, указанные в описании лабораторной работы; <i>умеет</i> представлять результаты своей работы	<i>владеет</i> терминологией в предметной области знания; <i>владеет</i> 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
<b>Содержание этапов</b>	<i>знает</i> эквивалентные схемы приборов, методы расчета параметров эквивалентных схем; <i>знает</i> устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов;	<i>умеет</i> производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; <i>умеет</i> экспериментально определять параметры твердотельных приборов и элементов микросистемной техники;	<i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа
<b>Используемые средства оценивания</b>	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита);	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление);	Зачет

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

	микросистемной техники		
--	------------------------	--	--

### 2.3 Компетенция ПСК-3

**ПСК-3** готовность к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области производства изделий нанoeлектроники 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
<b>Содержание этапов</b>	<i>знает</i> функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей;	<i>умеет</i> правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем;	<i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа
<b>Используемые средства оценивания</b>	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
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	<i>понимает</i> разницу между функциональными и электрическими моделями приборов нанoeлектроники и микросистемной техники; <i>аргументирует</i> выбор метода определения параметров функциональных и электрических моделей приборов нанoeлектроники и микросистемной техники; <i>физически аргументирует</i> выбор и план решения по определению параметров моделей приборов нанoeлектроники и микросистемной техники; <i>графически иллюстрирует</i> основные зависимости	<i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> математически описывать связь между параметрами электронной схемы; <i>умеет выбирать</i> метод расчета основных параметров электронной схемы, обеспечивая при этом высокую надежность электрических схем	<i>свободно владеет</i> разными способами представления физической информации в графической и математической форме; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе <i>проводит</i> опытно-конструкторские работы в области производства изделий нанoeлектроники и микросистемной техники



	функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники		
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	<i>распознает</i> функциональные и электрические модели приборов наноэлектроники и микросистемной техники; <i>знает</i> принцип действия функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; <i>определяет</i> методы расчета параметров функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; <i>составляет</i> план решения задачи	<i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование; <i>применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет рассчитывать</i> основные параметры электронных схем, обеспечивая при этом высокую надежность схем	<i>владеет</i> разными способами представлениями информации; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>способен классифицировать</i> полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	<i>дает</i> определения основных понятий; <i>распознает</i> функциональные и электрические модели приборов наноэлектроники и микросистемной техники; <i>знает</i> принцип действия функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники	<i>умеет</i> работать со справочной литературой; <i>использует</i> приборы, указанные в описании лабораторной работы; <i>умеет</i> представлять результаты своей работы	<i>владеет</i> терминологией в предметной области знания; <i>владеет</i> 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.

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](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)

#### **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/>

