

8/1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
профессионального образования



УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

Л. А. Боков

2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Уровень основной образовательной программы магистратура (академическая)

Направления подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль(и) «Твердотельная электроника»

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 1 Семестр 1

Учебный план набора 2015 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции	18								18	часов
2.	Лабораторные работы	-								-	часов
3.	Практические занятия	12								12	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)	-								-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)	30								30	часов
6.	Из них в интерактивной форме	12								12	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)	78								78	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)	108								108	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена	-								-	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)	108								108	часов
	(в зачетных единицах)	3								3	ЗЕ

Зачет 1 семестр

Томск 2015

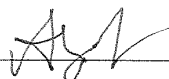
Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника» (квалификация (степень) магистр), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 октября 2014 г.

Рабочая программа учебной дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от « 2 » 07 2015 г., протокол № 57.


**Разработчик:**

Профессор кафедры ФЭ

 / \_\_\_\_\_ Г.И. Айзенштат


**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**

Углубленное знакомство с новейшей элементной базой современной электроники, в том числе с конструкциями и технологиями изготовления самых высокочастотных транзисторов и интегральных схем, а также современных приборов оптоэлектроники, созданных на гетероструктурах, а также подготовка к производственной деятельности или научно-исследовательской работе на предприятиях, специализирующихся в области современной микро- и нанoeлектроники.

Задача курса подготовить магистров к производственной деятельности или научно-исследовательской работе на предприятиях, специализирующихся в области современной микро- и нанoeлектроники.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Дисциплина относится к базовым дисциплинам программы подготовки по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» в соответствии с ФГОС ВО (Б1.В.ОД.3.1).

Изучение дисциплины базируется на следующих ранее изучаемых дисциплинах: физика полупроводников, материалы и элементы электронной техники, твердотельная электроника, процессы микро- и нанотехнологии, технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники.

На материалах, изучаемых в данной дисциплине, базируются следующие дисциплины учебного плана, изучаемые позднее: физические основы надежности изделий твердотельной электроники, моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС, приборно-технологическое моделирование.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у магистрантов следующих компетенций:**

- способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры (ОПК-2);
- способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области (ОПК-4);
- способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов (ПК-4).

### **3.2. В результате изучения дисциплины магистрант должен:**

**знать:** свойства полупроводниковых материалов группы АІІВV и особенности гетероструктур на их основе; типы приборных структур и интегральных схем на материалах группы; основные характеристики приборов и схем, отличающие их от приборов на других материалах; основные технологические маршруты, используемые в производстве приборов и ИС для конкретных материалов; основные тенденции развития приборов и схем на изучаемых материалах и тенденции развития технологий;

**уметь:** осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале;

**владеть:** навыками расчета основных характеристик гетеробиполярных транзисторов НВТ и полевых транзисторов на гетероструктурах (НЕМТ, РНЕМТ, МНЕМТ); навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
В том числе:	-	-
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	12	12
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>78</b>	<b>78</b>
В том числе:	-	-
Подготовка к опросам на лекциях	12	12
Подготовка к докладу-презентации	26	26
Подготовка к практическим занятиям	26	26
Подготовка к контрольной работе	14	14
Общая трудоемкость час	<b>108</b>	<b>108</b>
Зачетные Единицы	<b>3</b>	<b>3</b>

#### 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.	Полевые гетероструктурные транзисторы и МИС на их основе	6	4	30	40	ОПК-2,4, ПК-4
2.	Гетеробиполярные транзисторы и МИС на их основе	6	4	30	40	ОПК-2,4, ПК-4
3.	Оптоэлектронные приборы на гетероструктурах	6	4	18	28	ОПК-2,4, ПК-4
	<b>ИТОГО</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>78</b>	<b>108</b>	

##### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Полевые гетероструктурные транзисторы и МИС на их основе	Низкоразмерные структуры. Квантовые ямы, квантовые точки, квантовые нити. Понятие гетероперехода. Виды гетеропереходов. Их свойства и применение. Физика работы полевого гетероструктурного транзистора. Основные характеристики НЕМТ, рНЕМТ, мНЕМТ-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на рНЕМТ и мНЕМТ.	6	ОПК-2,4, ПК-4
2.	Гетеробиполярные транзисторы и МИС на их основе	Физика работы биполярного гетероструктурного транзистора. Основные характеристики НВТ-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на НВТ.	6	ОПК-2,4, ПК-4
3.	Оптоэлектронные приборы на гетероструктурах	Светодиоды на гетероструктурах на основе GaAs, GaN. Гетероструктурные лазеры. Солнечные батареи. Детекторы излучений. Конструкции светодиодов из разных материалов. Конструкции солнечных батарей и лазеров. Технологические маршруты создания, конструктивные и технологические особенности оптоэлектронных приборов из разных материалов.	6	ОПК-2,4, ПК-4

### 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 полупроводников	+	-	+
2.	материалы и элементы электронной техники	+	+	+
3.	твердотельная электроника	+	+	+
4.	процессы микро- и нанотехнологии	+	+	+
5.	технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники	+	+	+
<b>Последующие дисциплины</b>				
1	физические основы надежности изделий твердотельной электроники	+	+	+
2	проектирование и технология электронной компонентной базы	+	+	-
3	моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий			Формы контроля
	Л	Пр.	СРС	
ОПК-2	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольной работы. Выступление с докладом-презентацией.
ОПК-4	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольной работы. Выступление с докладом-презентацией.
ПК-4	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольной работы. Выступление с докладом-презентацией.

## 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

### Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы	Формы	Лекции (час)	ПЗ (час)	Всего
<i>Мультимедийные презентации с видеороликами и раздаточным материалом с последующим обсуждением</i>		8	2	10
<i>Доклад-презентация</i>			2	2
Итого интерактивных занятий		8	4	12

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

не предусмотрено

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	1	Зонные диаграммы изотропных и анизотропных гетеропереходов.	2	ОПК-2,4, ПК-4
2.	1	Распределение напряженности электрического поля в гетеропереходе.	2	ОПК-2,4, ПК-4
3.	1-2	Контактная резкость потенциалов в гетеропереходе.	2	ОПК-2,4, ПК-4
4.	1-2	Емкость гетеропереходов.	4	ОПК-2,4, ПК-4
5.	1-2	Вольтамперные характеристики гетеропереходов.	4	ОПК-2,4, ПК-4

6.	3	Лазеры на гетероструктурах.	2	ОПК-2,4, ПК-4
7.	1-3	КР. Расчет параметров гетероструктурных полупроводниковых приборов.	2	ОПК-2,4, ПК-4

Перечень тем и содержание практических занятий [12.3.1. стр.10–35].

### 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	1-3	Проработка лекционного материала.	12	ОПК-2,4, ПК-4	Опрос на лекциях.
2.	1-3	Проработка лекционного материала и дополнительной литературы при подготовке к докладу-презентации.	26	ОПК-2,4, ПК-4	Выступлением с докладом-презентацией.
3.	1-3	Проработка лекционного материала и дополнительной литературы при подготовке к практическим занятиям.	26	ОПК-2,4, ПК-4	Защита отчетов по практическим занятиям.
4.	1-3	Проработка лекционного материала и дополнительной литературы при подготовке к контрольной работе.	14	ОПК-2,4, ПК-4	Оценка за контрольную работу.

Организация самостоятельной работы [12.3.1. стр. 36–40].

#### Примерная тематика докладов-презентаций:

1. Методы получения затворов с размерами 50-нм в технологии создания полевых транзисторов на гетеропереходах.
2. Сравнительный анализ существующих гетероструктурных полевых транзисторов.
3. Методы измерения СВЧ-характеристик транзисторов.
4. Последние достижения в области создания полупроводниковых лазеров.
5. Мощные светодиоды на GaN.
6. Области применения СВЧ-транзисторов с предельными частотами до терагерц.

### 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

не предусмотрено

### 11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля дисциплины

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Практическое занятие 1	7			7
Практическое занятие 2	7			7
Практическое занятие 3		7		7
Практическое занятие 4		7		7
Практическое занятие 5			7	7
Практическое занятие 6			7	7
Контрольная работа			20	20
Доклад-презентация			20	20
Опрос на лекциях	4	4	4	12
Компонент своевременности	2	2	2	6
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>100</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>20</b>	<b>40</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)	63 – 70	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	58 – 62	B (очень хорошо)
	53 – 57	C (хорошо)
	49 – 52	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	46 – 48	E (посредственно)
	42 – 44	F (неудовлетворительно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	Ниже 42 баллов	F (неудовлетворительно)

## 12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 12.1 Основная литература

12.1.1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: учебн. пособие. – Томск, В-Спектр, 2011. – 262 с. (3)

12.1.2. Айзенштат Г.И. Гетероструктурные полупроводниковые приборы: учебн. пособие. – Ч. 1. – Томск: ТУСУР, 2013. – 53 с. – [Электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат\\_Гетероструктурные\\_полупроводниковые\\_приборы\\_УП\\_2013.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат_Гетероструктурные_полупроводниковые_приборы_УП_2013.pdf)

### 12.2 Дополнительная литература

12.2.1. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия: Пер. с нем. / Пер. С.Д. Барановский, Пер. Ю.Б. Кириллова, Пер. А.А. Кальфа, Пер. Г.С. Симин, Ред. пер. М.Е. Левинштейн, Ред. пер. В.Е. Челноков. – М.: Мир, 1991. – 632 с. (4)

12.2.2. Полевые транзисторы на арсениде галлия: Принципы работы и технология изготовления: Пер. с англ. / П.Ф. Линдквист, У.М. Форд, Л. Холлан и др.; Ред. Д.В. Ди Лоренцо, Ред. Д.Д. Канделуола, Ред. пер. Г.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1988. – 496 с. (23)

12.2.3. Арсенид галлия в микроэлектронике: пер. с англ. / У.Ф. Уиссмен [и др.]; ред. Н. Айнспрук, ред. У.Ф. Уиссмен, ред. пер. В.Н. Мордкович. – М.: Мир, 1988. – 555 с. (7)

12.2.4. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов. – М.: Физматкнига, 2006; М.: Логос, 2006; М.: Университетская книга, 2006. – 494 с. (31)

12.2.5. Процессы микро- и нанотехнологии: учеб. пособие / Данилина Т.И. [и др.]. – Томск: ТУСУР, 2005. – 316 с. (53)

12.2.6. Кейси, Х. Лазеры на гетероструктурах: в 2 т.: Пер. с англ. / Х. Кейси, М. Паниш. – М.: Мир, 1981 – Т.1: Основные принципы: монография / Пер. А.Е. Дракин, Ред. пер. П.Г. Елисеев. – М.: Мир, 1981. – 299 с. (2)

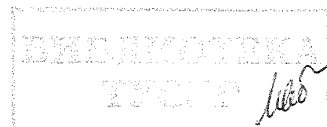
12.2.7. Кейси, Х. Лазеры на гетероструктурах: в 2 т.: Пер. с англ. / Х. Кейси, М. Паниш. – М.: Мир, 1981. – Т.2: Материалы. Рабочие характеристики: монография / Пер. Б.Н. Свердлов, Ред. пер. П.Г. Елисеев. – М.: Мир, 1981. – 366 с. (2)

12.2.8. Варизонные полупроводники и гетероструктуры: учебное пособие / В.И. Ильин, С.Ф. Мухомин, А.Я. Шик; ред.: А.Я. Шик, В.И. Ильин. – СПб.: Наука, 2000. – 104 с. (5)

### 12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. Айзенштат Г.И. Гетероструктурные полупроводниковые приборы: учебно-методическое пособие по аудиторным практическим и семинарским занятиям и самостоятельной работе для студентов, обучающихся по направлению 210100 «Электроника и наноэлектроника». – Томск: ТУСУР, 2013. – 44 с. – [Электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат\\_Г\\_И\\_Гетероструктурные\\_полупроводниковые\\_приборы\\_УМП\\_2013\\_cору.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат_Г_И_Гетероструктурные_полупроводниковые_приборы_УМП_2013_cору.pdf)

12.3.2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.



### **13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации программы учебной дисциплины требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором; для реализации практических занятий – компьютерный класс.

### **14. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **14.1. Лекционные занятия**

Все лекции читаются с использованием *мультимедийных презентаций* с необходимым раздаточным и демонстрационным материалом и обязательным обсуждением. Также отдельные лекции будут сопровождаться показом видеороликов и их дальнейшим обсуждением.

#### **14.2. Практические занятия**

Организация и проведение практических занятий осуществляются следующим образом:

– *практики* проводятся в классической форме – решение заданий, сдача отчета во время текущего или в начале следующего занятия;

– *доклады-презентации студентов*: для успешного формирования профессиональной компетенции студентам предлагается подготовить сообщения по определенной тематике (до 20 минут) в виде докладов-презентаций и выступить с ними во время практических занятий. При необходимости преподаватель дополняет сделанное студентом сообщение.



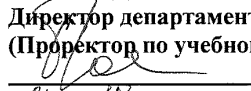
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

« 21 » 10 2016 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ**

Уровень основной образовательной программы магистратура

Направления подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль «Твердотельная электроника»

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 1 Семестр 1

Учебный план набора 2015 года и последующих лет.

Экзамен 1 семестр

**Разработчик:**

Ассистент кафедры ФЭ

\_\_\_\_\_ / И.В. Кулинич

Томск 2016

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «дисциплины «Гетероструктурные полупроводниковые приборы» 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 «дисциплины «Гетероструктурные полупроводниковые приборы» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «дисциплины «Гетероструктурные полупроводниковые приборы» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-2	способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры	<i>знать</i> основные тенденции развития приборов и схем на изучаемых материалах и тенденции развития технологий; <i>уметь</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале <i>владеть</i> навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах
ОПК-4	способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области	<i>знать</i> свойства полупроводниковых материалов группы A <sup>III</sup> B <sup>V</sup> и особенности гетероструктур на их основе; <i>знать</i> типы приборных структур и интегральных схем на материалах группы; <i>уметь</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале <i>владеть</i> навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах
ПК-4	способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	<i>знать</i> основные характеристики приборов и схем, отличающие их от приборов на других материалах; <i>знать</i> основные технологические маршруты, используемые в производстве приборов и ИС для конкретных материалов; <i>уметь</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале <i>владеть</i> навыками расчета основных характеристик гетеробиполярных транзисторов НВТ и полевых транзисторов на гетероструктурах (НЕМТ, РНЕМТ, МНЕМТ)

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 2.1 Компетенция ОПК-2

**ОПК-2 способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры**

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>знать</i> основные тенденции развития приборов и схем на изучаемых материалах и тенденции развития технологий;	<i>уметь</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеть</i> навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах

<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Самостоятельная работа	Практические занятия;
<b>Используемые средства оценивания</b>	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Зачет	Практическое 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

<b>Показатели и критерии</b>	<b>Знать</b>	<b>Уметь</b>	<b>Владеть</b>
<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

<b>Показатели и критерии</b>	<b>Знать</b>	<b>Уметь</b>	<b>Владеть</b>
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	<i>знает</i> тенденции развития приборов и схем на изучаемых материалах и тенденции развития технологий	<i>осуществляет</i> выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеет</i> навыками разработки технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	<i>знает</i> основные тенденции развития приборов и схем на изучаемых материалах и тенденции развития технологий	<i>умеет</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеет</i> навыками разработки основными технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	<i>знает</i> базовые тенденции развития приборов и схем на изучаемых материалах и тенденции развития технологий	<i>умеет</i> выбирать последовательность технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры	<i>владеет</i> навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах

		на заданном материале при наблюдении руководителя	
--	--	---	--

## 2.2 Компетенция ОПК-2

**ОПК-2 способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области**

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>знать</i> свойства полупроводниковых материалов группы $A^{III}B^V$ и особенности гетероструктур на их основе; <i>знать</i> типы приборных структур и интегральных схем на материалах группы;	<i>уметь</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеть</i> навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах
<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Самостоятельная работа	Практические занятия;
<b>Используемые средства оценивания</b>	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Зачет	Практическое 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 2.5.

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	<i>знать</i> свойства полупроводниковых материалов группы $A^{III}B^V$ и особенности гетероструктур на их основе; <i>знать</i> типы приборных структур и интегральных схем на материалах группы	<i>осуществляет</i> выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеет</i> навыками разработки технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	<i>знает</i> свойства полупроводниковых материалов группы $A^{III}B^V$ и особенности гетероструктур на их основе; <i>знает</i> типы полупроводниковых структур	<i>умеет</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеет</i> навыками разработки основными технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	<i>знает</i> свойства полупроводниковых материалов группы $A^{III}B^V$ и особенности гетероструктур на их основе	<i>умеет</i> выбирать последовательность технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или тополо-	<i>владеет</i> навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных

		гического слоя структуры на заданном материале при наблюдении руководителя	приборах
--	--	--	----------

### 2.3 Компетенция ПК-4

#### ПК-4 способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов

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>знать</i> основные характеристики приборов и схем, отличающие их от приборов на других материалах; <i>знать</i> основные технологические маршруты, используемые в производстве приборов и ИС для конкретных материалов;	<i>уметь</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеть</i> навыками расчета основных характеристик гетеробиполярных транзисторов НВТ и полевых транзисторов на гетероструктурах (НЕМТ, РНЕМТ, МНЕМТ)
<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Самостоятельная работа	Практические занятия;
<b>Используемые средства оценивания</b>	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Зачет	Практическое 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>знает</i> характеристики приборов и схем, отличающие их от приборов на других материалах; <i>знает</i> основные технологические маршруты, используемые в производстве приборов и ИС для конкретных материалов;	<i>осуществляет</i> выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеет</i> навыками расчета характеристик гетеробиполярных транзисторов НВТ и полевых транзисторов на гетероструктурах (НЕМТ, РНЕМТ, МНЕМТ)
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	<i>знает</i> основные характеристики приборов и схем, отличающие их от приборов на других материалах;	<i>умеет</i> осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале	<i>владеет</i> навыками расчета основных характеристик гетеробиполярных транзисторов НВТ и полевых транзисторов на гетероструктурах (НЕМТ, РНЕМТ, МНЕМТ)
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	<i>знает</i> базовые характеристики приборов и схем,	<i>умеет</i> выбирать последовательность технологических	<i>владеет</i> навыками расчета базовых характеристик ге-

	отличающие их от приборов на других материалах;	операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале при наблюдении руководителя	гетеробиполярных транзисторов НВТ и полевых транзисторов на гетероструктурах (НЕМТ, РНЕМТ, МНЕМТ)
--	---	---	---

### 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: практические задания, контрольные работы, самостоятельная работа, экзамен.

#### 3.1 Темы для практических занятий

1. Зонные диаграммы изотропных и анизотропных гетеропереходов.
2. Распределение напряженности электрического поля в гетеропереходе.
3. Контактная резкость потенциалов в гетеропереходе.
4. Емкость гетеропереходов.
5. Вольтамперные характеристики гетеропереходов.
6. Лазеры на гетероструктурах.

#### 3.2 Тема контрольной работы

Расчет параметров гетероструктурных полупроводниковых приборов.

#### 3.3 Темы для самостоятельной работы

1. Полевые гетероструктурные транзисторы и МИС на их основе.
2. Гетеробиполярные транзисторы и МИС на их основе.
3. Оптоэлектронные приборы на гетероструктурах.

#### 3.4 Зачет

1. Методы получения затворов с размерами 50-нм в технологии создания полевых транзисторов на гетеропереходах.
2. Сравнительный анализ существующих гетероструктурных полевых транзисторов.
3. Методы измерения СВЧ-характеристик транзисторов.
4. Последние достижения в области создания полупроводниковых лазеров.
5. Мощные светодиоды на GaN.
6. Области применения СВЧ-транзисторов с предельными частотами до терагерц.

### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

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

#### 4.1 Основная литература

1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой нанoeлектроники: учебн. пособие. – Томск, В-Спектр, 2011. – 262 с. (3)
2. Айзенштат Г.И. Гетероструктурные полупроводниковые приборы: учебн. пособие. – Ч. 1. – Томск: ТУСУР, 2013. – 53 с. – [Электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат\\_Гетероструктурные\\_полупроводниковые\\_приборы\\_УП\\_2013.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат_Гетероструктурные_полупроводниковые_приборы_УП_2013.pdf)

#### 4.2 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия: Пер. с нем. / Пер. С.Д. Барановский, Пер. Ю.Б. Кириллова, Пер. А.А. Кальфа, Пер. Г.С. Симин, Ред. пер. М.Е. Левинштейн, Ред. пер. В.Е. Челноков. – М.: Мир, 1991. – 632 с. (4)
2. Полевые транзисторы на арсениде галлия: Принципы работы и технология изготовления: Пер. с англ. / П.Ф. Линдквист, У.М. Форд, Л. Холлан и др.; Ред. Д.В. Ди Лоренцо, Ред. Д.Д. Канделуола, Ред. пер. Г.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1988. – 496 с. (23)
3. Арсенид галлия в микроэлектронике: пер. с англ. / У.Ф. Уиссмен [и др.]; ред. Н. Айнспрук, ред.

У.Ф. Уиссмен, ред. пер. В.Н. Мордкович. – М.: Мир, 1988. – 555 с. (7)

4. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов. – М.: Физматкнига, 2006; М.: Логос, 2006; М.: Университетская книга, 2006. – 494 с. (31)

5. Процессы микро- и нанотехнологии: учеб. пособие / Данилина Т.И. [и др.]. – Томск: ТУСУР, 2005. – 316 с. (53)

6. Кейси, Х. Лазеры на гетероструктурах: в 2 т.: Пер. с англ. / Х. Кейси, М. Паниш. – М.: Мир, 1981 – Т.1: Основные принципы: монография / Пер. А.Е. Дракин, Ред. пер. П.Г. Елисеев. – М.: Мир, 1981. – 299 с. (2)

7. Кейси, Х. Лазеры на гетероструктурах: в 2 т.: Пер. с англ. / Х. Кейси, М. Паниш. – М.: Мир, 1981. – Т.2: Материалы. Рабочие характеристики: монография / Пер. Б.Н. Свердлов, Ред. пер. П.Г. Елисеев. – М.: Мир, 1981. – 366 с. (2)

8. Варизонные полупроводники и гетероструктуры: учебное пособие / В.И. Ильин, С.Ф. Мусихин, А.Я. Шик; ред.: А.Я. Шик, В.И. Ильин. – СПб.: Наука, 2000. – 104 с. (5)

#### **4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

1. Айзенштат Г.И. Гетероструктурные полупроводниковые приборы: учебно-методическое пособие по аудиторным практическим и семинарским занятиям и самостоятельной работе для студентов, обучающихся по направлению 210100 «Электроника и наноэлектроника». – Томск: ТУСУР, 2013. – 44 с. – [Электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат\\_Г\\_И\\_Гетероструктурные\\_полупроводниковые\\_приборы\\_УМП\\_2013\\_copy.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Айзенштат_Г_И_Гетероструктурные_полупроводниковые_приборы_УМП_2013_copy.pdf)

2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.