МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕХНОЛОГИЯ АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

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	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)	72								72	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 2016

Согласована на портале № 2323

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) по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» (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 «8» сентября 2016 г., протокол № 73.

Разработчик:

Профессор кафедры ФЭ _____ / В.А. Кагадей

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 № 2323

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Эффективное развитие твердотельной СВЧ микро- и наноэлектроники в настоящее время в значительной степени сдерживается технологическими возможностями создания реальных приборов и устройств. Магистр, подготовленный в рамках дисциплины «Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники», должен, с одной стороны, хорошо представлять явления и процессы, на которых основано приборное направление, а с другой стороны, свободно владеть методами и средствами технологии гетероструктурной микро- и наноэлектроники.

В задачи дисциплины входит формирование знаний об основных технологических процессах, с помощью которых в настоящее время создаются наногетероструктурные СВЧ транзисторы, а также монолитные интегральные схемы на их основе.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам вариативной части программы (Б1.В.ОД.3.2).

Изучение дисциплины базируется на следующих ранее изучаемых дисциплинах: «Физика твердого тела», «Материалы и элементы электронной техники», «Твердотельная электроника», «Процессы микро- и нанотехнологии».

На материалах, изучаемых в данной дисциплине, базируются следующие дисциплины учебного плана, изучаемые позднее: «Приборно-технологическое моделирование», «Физические основы надежности изделий твердотельной электроники», «Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС», «Гетероструктурные полупроводниковые приборы».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у магистрантов следующих *профессиональных* (ПК) *и общекультурных компетенций* (ОК):

– способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры (ОПК-2);

– способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов (ПК-4);

– способность проводить анализ мирового опыта применения материалов наногетероструктурной СВЧ-электроники (ПСК-1).

3.2. В результате изучения дисциплины магистрант должен:

знать:

– физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов арсенид-галлиевой наногетероструктурной электроники;

– базовые маршруты создания СВЧ активных и пассивных элементов, а также СВЧ монолитных интегральных схем наногетероструктурной электроники;

– принципы разработки технологических маршрутов наногетероструктурных монолитных интегральных схем;

уметь:

– разрабатывать наногетероструктурные арсенид-галлиевые СВЧ монолитные интегральные схемы и технологические маршруты их изготовления

- проводить анализ мирового опыта применения материалов и устройств наногетероструктурной СВЧ-электроники;

владеть:

– навыками разработки базовых технологических процессов;

- владеть навыками организации контроля качества в процессе производства СВЧ МИС;

– умением разрабатывать технологическую документацию на процессы и маршруты.

Согласована на портале № 2323

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___3_____ зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
Аудиторные занятия (всего)	**36**	**36**
В том числе:	-	
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа (всего)	**72**	**72**
В том числе:	-	
Реферат	10	10
Домашнее индивидуальное задание	28	28
Подготовка к контрольным работам и практическим занятиям	14	14
Подготовка к докладам на практических занятиях	20	20
Общая трудоемкость час	**108**	**108**
Зачетные Единицы	**3**	**3**

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практич. занятия.	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение в GaAs электронику	2	2	8	12	ОПК-2, ПК-4
2.	Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	4	4	10	18	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
3.	Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	4	6	16	26	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
4.	Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	4	3	20	27	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
5.	Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	4	3	18	25	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1

Согласована на портале № 2323

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1.	Введение в GaAs электронику	Параметры полупроводниковых материалов A^3B^5 и особенности их применения. История развития GaAs микроэлектроники: от гомо- к гетероструктурным транзисторам и СВЧ МИС, от GaAs к InP и к GaN МИС. Классификация GaAs, InP и GaN приборов и СВЧ МИС, их характеристики. Дорожная карта СВЧ МИС, тенденции развития отрасли. Области применения СВЧ МИС, перспективные рынки.	2	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
2.	Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	Активные и пассивные элементы GaAs МИС, их конструкции, типы технологий. Гетероструктуры и их базовые конструкции. Требования к технологическим средам. Топологические нормы и принципы, лежащие в основе технологии производства МИС. Построение технологического маршрута, организация запусков и движения пластин по маршруту. Понятия frontside и backside processing, технологических блоков. Межоперационный контроль и PCM тесты.	4	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
3.	Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	Формирование межэлементной изоляции элементов МИС. Формирование омических контактов. Формирование барьерных контактов. Пассивация поверхности Формирование пассивных элементов. Формирование воздушных мостов. Формирование межэлементной и межуровневой разводки, low-k диэлектрики. Формирование капсулирующего покрытия. Утонение пластин GaAs. Формирование сквозных отверстий. Формирование металлизации обратной стороны и “street”. СВЧ тестирование МИС. Резка пластин. Визуальный контроль СВЧ МИС. Корпусирование СВЧ МИС.	4	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
4.	Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	Маршрут производства коммутационных и усилительных МИС на основе pHEMT. Маршрут производства МИС на основе E/D pHEMT. Маршрут производства МИС на основе mHEMT. Маршрут производства МИС на основе HBT. Маршрут производства МИС на основе BiHEMT. Маршрут производства МИС на основе GaN HEMT. Принципы разработки новых технологических маршрутов.	4	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
5.	Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	Технологическая дорожная карта. Устойчивость технологических процессов и маршрута, отклонения в процессе производства: типы и происхождение. Контроль параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов. Статистический межоперационный контроль параметров элементов СВЧ МИС. PCM тестирование. Визуальный контроль критических размеров, межоперационный и финишный визуальный контроль. Финишный контроль СВЧ параметров МИС. Процент выхода годных. Надёжность СВЧ МИС. Радиационная стойкость СВЧ МИС.	4	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1

Согласована на портале № 2323

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин				
		1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины						
1.	Физика твердого тела	+	+	+		
2.	Материалы и элементы электронной техники		+	+	+	
3.	Твердотельная электроника	+	+	+	+	
4.	Процессы микро- и нанотехнологии			+	+	+
Последующие дисциплины						
1.	Приборно-технологическое моделирование	+		+	+	+
2.	Физические основы надежности изделий твердотельной электроники	+	+	+	+	
3.	Проектирование и технология электронной компонентной базы	+			+	+
4.	Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС	+		+	+	
5.	Гетероструктурные полупроводниковые приборы	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий			Формы контроля
	Л	Пр.	СРС	
ОПК-2	+	+	+	Выступление с докладом-презентацией
ПК-4	+	+	+	Отчет по практической работе, защита реферата
ПСК-1	+	+	+	Отчет по практической работе, выполнение и защита реферата, выступление с докладом-презентацией

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы / Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Всего
«Мозговой штурм» (атака)	4	-	4
Мультимедийные презентации с последующим обсуждением		10	10
Итого интерактивных занятий	4	10	14

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

не предусмотрено

Согласована на портале № 2323

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК
1.	**1**	Введение в GaAs электронику	2	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
2.	**2**	Разработка технологического маршрута изготовления СВЧ МИС на GaAs	4	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
3.	**3**	Разработка технологических блоков изготовления GaAs СВЧ МИС	6	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
4.	**4**	Разработка технологических маршрутов производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	3	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1
5.	**5**	Контроль качества в процессе производства СВЧ МИС	3	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Виды самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК	Контроль выполнения работы
1	**1-5**	Проработка теоретического материала и подготовка к практическим занятиям	10	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1	Решение задач на практических занятиях
2	**2-3, 4-5**	Подготовка к контрольным работам	4	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1	Контрольная работа
3	**4-5**	Написание реферата по следующим темам (на выбор): - GaAs гетероструктрные транзисторы с высокой подвижностью электронов: pHEMT; - GaAs гетероструктрные транзисторы с высокой подвижностью электронов: mHEMT; - GaN гетероструктрные транзисторы с высокой подвижностью электронов и их применение в СВЧ- электронике - GaN гетероструктрные транзисторы с высокой подвижностью электронов и их применение в силовой электронике; - Терагерцовая электроника: генерация, распространение, прием; - Терагерцовая электроника: применения; - Графен – основа электроники будущего?	10	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1	Реферат
4	**4-5**	Выполнение домашнего индивидуального задания по следующим темам (на выбор): - Мобильные и фиксированные сети передачи данных на различные расстояния; - Беспроводные устройства, в том числе «internet-thing»; - Радиолокация и радиовидение;	30	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1	Защита индивидуального задания

Согласована на портале № 2323

		- Терагерцовая электроника; - RFID технологии			
5	**2-5**	Подготовка мини-сообщения в виде доклада-презентации	18	ОПК-2, ПК-4, ПСК-1	Доклад-презентация

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 семест-ра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Контрольная работа №1	15			**15**
Контрольная работа №2		15		**15**
Реферат			20	**20**
Практические занятия	10	10	10	**30**
Выполнение домашнего индиви-дуального задания			20	**20**
Итого максимум за период:	**25**	**25**	**50**	**100**
Нарастающим итогом	**25**	**50**	**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

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**	
	42 – 44	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	**Ниже 42 баллов**	F (неудовлетворительно)

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1. Основная литература

12.1.1. К.И.Смирнова. Процессы микро- и нанотехнологии. Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 180 с. [электронный ресурс] http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=240

12.1.2. **Технология кремниевой наноэлектроники** [Текст] : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с : рис., цв. ил., табл. - Библиогр.: с. 317-318. - **ISBN** 978-5-

Согласована на портале № 2323

86889-713-9 (**30**).

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**)

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 53 с. (47)

12.3.2. Проектирование интегральных схем на **арсениде галлия** : Руководство к практическим занятиям для студентов специальности 210201 / М. Н. Романовский, Е. В. Нефедцев ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА. - Томск : ТУСУР, 2007. - 76 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 66. (93)

12.3.3. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

12.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

При обучении используются базы данных периодических изданий и ресурсы Интернета.

Согласована на портале № 2323

Приложение к рабочей программе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИО-ЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ФЭ
_____ **П. Е. Троян**
«___» _____ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ *ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ*

Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники
(полное наименование учебной дисциплины или практики)

Уровень основной образовательной программы **магистратура**

Направление(я) подготовки (специальность) **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
(полное наименование направления подготовки (специальности))

Профиль(и) **Твердотельная электроника**
(полное наименование профиля направления подготовки (специальности))

Форма обучения **очная**

Факультет **электронной техники (ФЭТ)**
(сокращенное и полное наименование факультета)

Кафедра **физической электроники (ФЭ)**
(сокращенное и полное наименование кафедры)

Курс **1** **Семестр** **1**

Учебный план набора 2015 года.

Зачет **1** **семестр** **Диф. зачет** _____ **семестр**
Экзамен _____ **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 2323

1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины (практики) и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной (практикой) 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	Должен знать физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов арсенид-галлиевой наногетероструктурной электроники. Должен знать базовые маршруты создания СВЧ активных и пассивных элементов, а также СВЧ монолитных интегральных схем наногетероструктурной электроники. Должен уметь разрабатывать технологические блоки изготовления арсенид-галлиевых СВЧ МИС. Должен владеть навыками разработки базовых технологических процессов.
ПК-4	способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	Должен знать методы контроля параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов. Должен уметь проводить экспериментальные исследования параметров и характеристик СВЧ МИС. Должен владеть навыками организации контроля качества в процессе производства СВЧ МИС
ПСК-1	способность проводить анализ мирового опыта применения материалов наногетероструктурной СВЧ-электроники	Должен знать принципы разработки технологических маршрутов наногетероструктурных монолитных интегральных схем. Должен уметь проводить анализ мирового опыта применения материалов и устройств наногетероструктурной СВЧ-электроники. Должен уметь разрабатывать технологические маршруты изготовления наногетероструктурных арсенид-

Согласована на портале № 2323

		галлиевых СВЧ монолитных интегральных схем. Должен владеть умением разрабатывать технологическую документацию на процессы и маршруты.

2 Реализация компетенций

1 *Компетенция ОПК-2*

ОПК-2: способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

Таблица 2– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

1. Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Знает физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов арсенид-галлиевой наногетероструктурной электроники. Знает базовые маршруты создания СВЧ активных и пассивных элементов, а также СВЧ монолитных интегральных схем наногетероструктурной электроники	Умеет разрабатывать технологические блоки изготовления арсенид-галлиевых СВЧ МИС.	Владеет навыками разработки базовых технологических процессов
Виды занятий	• Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания • Реферат	• Практические занятия; • Индивидуальные задания • Реферат • Зачет	• Практические занятия • Реферат • Зачет
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Защита индивидуального задания; • Выполнение практических	• Оформление и защита индивидуального задания; • Контрольные работы; • Реферат	• Реферат • Защита индивидуального задания • Зачет

Согласована на портале № 2323

	заданий • Реферат • Зачет	• Выполнение практических заданий • Зачет	

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Таблица 3 – 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 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• *знает физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов арсенид-галлиевой наногетероструктурн*	• *умеет оценить влияние технологических режимов на выходные параметры СВЧ активных и*	• *способен самостоятельно выбрать и разработать базовые технологические процессы*

Согласована на портале № 2323

	ой электроники, • *знает базовые маршруты создания СВЧ активных и пассивных элементов, а также СВЧ монолитных интегральных схем наногетероструктурной электроники*	*пассивных элементов;* • *умеет рассчитать физико-технологические режимы для получения СВЧ активных и пассивных элементов с требуемыми конструктивными и электрофизическими параметрами* • *разрабатывать технологические блоки изготовления арсенид-галлиевых СВЧ МИС*	
Хорошо (базовый уровень)	• *знает физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов арсенид-галлиевой наногетероструктурной электроники,* • *знает базовые маршруты создания СВЧ активных и пассивных элементов, а также СВЧ монолитных интегральных схем наногетероструктурной электроники*	• *умеет разрабатывать технологические блоки изготовления арсенид-галлиевых СВЧ МИС*	• *владеет навыками разработки базовых технологических процессов*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *имеет представление о физических и химических принципах, лежащих в основе технологических процессов арсенид-галлиевой наногетероструктурной электроники,* • *ознакомлен с базовыми маршрутами создания СВЧ активных и*	• *применяет технологические блоки изготовления арсенид-галлиевых СВЧ МИС*	• *способен выбрать технологический процесс для создания МИС СВЧ*

Согласована на портале № 2323

	пассивных элементов, а также СВЧ монолитных интегральных схем наногетероструктурной электроники		

2 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. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 5.

Таблица 5– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

2. Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Знает методы контроля параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов.	Умеет проводить экспериментальные исследования параметров и характеристик СВЧ МИС.	Владеет навыками организации контроля качества в процессе производства СВЧ МИС
Виды занятий	• Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания • Реферат	• Практические занятия; • Индивидуальные задания • Реферат • Зачет	• Практические занятия • Реферат • Зачет
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Защита индивидуального задания; • Выполнение практических заданий • Реферат • Зачет	• Оформление и защита индивидуального задания; • Контрольные работы; • Реферат • Выполнение практических заданий • Зачет	• Реферат • Защита индивидуального задания • Зачет

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 6.

Согласована на портале № 2323

Таблица 6 – 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 7.

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• *знает методы контроля параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов;* • *понимает области конкретного применения технологических сред, материалов, оборудования и*	• *умеет выбирать методы исследования параметров и характеристик СВЧ МИС* • *умеет проводить экспериментальные исследования параметров и характеристик СВЧ МИС*	• *владеет навыками организации контроля качества в процессе производства СВЧ МИС* • *владеет методами обработки экспериментальных данных*

Согласована на портале № 2323

	процессов		
Хорошо (базовый уровень)	• *знает методы контроля параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов;*	• *умеет проводить экспериментальные исследования параметров и характеристик СВЧ МИС*	• *владеет навыками организации контроля качества в процессе производства СВЧ МИС* • *владеет методами обработки экспериментальных данных*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *имеет представление о методах контроля параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов;*	• *умеет проводить экспериментальные исследования параметров и характеристик СВЧ МИС*	• *может осуществлять контроль качества в процессе производства СВЧ МИС при помощи инженера-технолога*

3 Компетенция ПСК-1

ПСК-1: способность проводить анализ мирового опыта применения материалов наногетероструктурной СВЧ-электроники

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 8.

Таблица 8– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Знает принципы разработки технологических маршрутов наногетероструктурных монолитных интегральных схем.	Умеет проводить анализ мирового опыта применения материалов и устройств наногетероструктурной СВЧ-электроники. Умеет разрабатывать технологические маршруты изготовления наногетероструктурных арсенид-галлиевых	Владеет навыками разработки технологической документации на процессы и маршруты

Согласована на портале № 2323

		СВЧ монолитных интегральных схем.	
Виды занятий	• Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания • Реферат	• Практические занятия; • Индивидуальные задания • Реферат • Зачет	• Практические занятия • Реферат • Зачет
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Защита индивидуального задания; • Выполнение практических заданий • Реферат • Зачет	• Оформление и защита индивидуального задания; • Контрольные работы; • Реферат • Выполнение практических заданий • Зачет	• Реферат • Защита индивидуальног о задания • Зачет

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 9.

Таблица 9 – 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

Согласована на портале № 2323

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	**Знать**	**Уметь**	**Владеть**
Отлично (высокий уровень)	• *принципы разработки технологических маршрутов наногетероструктурных монолитных интегральных схем* • *нормативные требования к оформлению технологической документации*	• *умеет проводить анализ мирового опыта применения материалов и устройств наногетероструктурной СВЧ-электроники.* • *умеет разрабатывать технологические маршруты изготовления наногетероструктурных арсенид-галлиевых СВЧ монолитных интегральных схем*	• *владеет навыками разработки технологической документации и на процессы и маршруты*
Хорошо (базовый уровень)	• *принципы разработки технологических маршрутов наногетероструктурных монолитных интегральных схем*	• *умеет проводить экспериментальные исследования параметров и характеристик СВЧ МИС*	• *владеет навыками разработки технологической документации и на процессы и маршруты*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *имеет представление о методах контроля параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов;*	• *способен проводить экспериментальные исследования параметров и характеристик СВЧ МИС при наблюдении оператора*	• *имеет представление об основных этапах разработки технологической документации*

Согласована на портале № 2323

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: тесты, контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, экзамен.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

3.1. **Контрольные работы:**

Тема контрольной работы № 1: Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС.

Тема контрольной работы № 2: Контроль параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов..

3.2 Выполнение домашних индивидуальных заданий:

Выполнение домашнего индивидуального задания по следующим темам (на выбор):

- Мобильные и фиксированные сети передачи данных на различные расстояния;
- Беспроводные устройства, в том числе «internet-thing»;
- Радиолокация и радиовидение;
- Терагерцовая электроника;
- RFID технологии

3.3 Темы рефератов

Написание реферата по следующим темам (на выбор):

- GaAs гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов: pHEMT;
- GaAs гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов: mHEMT;
- GaN гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов и их применение в СВЧ- электронике
- GaN гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов и их применение в силовой электронике;
- Терагерцовая электроника: генерация, распространение, прием;
- Терагерцовая электроника: применения;
- Графен – основа электроники будущего?

3.4 Темы практических занятий:

1). Введение в GaAs электронику.

2). Разработка технологического маршрута изготовления СВЧ МИС на GaAs.

3). Разработка технологических блоков изготовления GaAs СВЧ МИС.

4). Разработка технологических маршрутов производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT.

Согласована на портале № 2323

5). Контроль качества в процессе производства СВЧ МИС.

3.5 Вопросы для зачета:

1 Дорожная карта СВЧ МИС, тенденции развития отрасли.

2 Активные и пассивные элементы GaAs МИС, их конструкции, типы технологий.

3 Требования к технологическим средам.

4 Топологические нормы и принципы, лежащие в основе технологии производства МИС. Построение технологического маршрута, организация запусков и движения пластин по маршруту.

5 Понятия frontside и backside processing, технологических блоков. Межоперационный контроль и PCM тесты.

6 Формирование межэлементной изоляции элементов МИС. Формирование омических контактов. Формирование барьерных контактов. Пассивация поверхности.

7 Формирование пассивных элементов. Формирование воздушных мостов. Формирование межэлементной и межуровневой разводки, low-k диэлектрики.

8 Формирование капсулирующего покрытия.

9 Утонение пластин GaAs. Формирование сквозных отверстий. Формирование металлизации обратной стороны и “street”.

10 СВЧ тестирование МИС. Резка пластин. Визуальный контроль СВЧ МИС. Корпусирование СВЧ МИС.

11 Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT

12 Технологическая дорожная карта. Устойчивость технологических процессов и маршрута, отклонения в процессе производства: типы и происхождение.

13 Контроль параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов.

14 Статистический межоперационный контроль параметров элементов СВЧ МИС. PCM тестирование.

15 Визуальный контроль критических размеров, межоперационный и финишный визуальный контроль.

16 Финишный контроль СВЧ параметров МИС. Процент выхода годных. Надёжность СВЧ МИС. Радиационная стойкость СВЧ МИС.

4 Методические материалы

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

Согласована на портале № 2323

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, в составе:

4.1. Основная литература

4.1.1. К.И.Смирнова. Процессы микро- и нанотехнологии. Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 180 с. [электронный ресурс] http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=240

4.1.2. **Технологи**я **кремниев**ой **наноэлектроник**и [Текст] : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с : рис., цв. ил., табл. - Библиогр.: с. 317-318. - **ISBN** 978-5-86889-713-9 (**30**)

4.2. Дополнительная литература

4.2.1. 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**)

4.2.2. 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**)

4.2.3. 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**)

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

4.3.1. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 53 с. (47)

4.3.2. Проектирование интегральных схем на **арсениде галлия** : Руководство к практическим занятиям для студентов специальности 210201 / М. Н. Романовский, Е. В. Нефедцев ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА. - Томск : ТУСУР, 2007. - 76 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 66. (93)

Согласована на портале № 2323