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
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **1**
Семестр: **1**
Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	1 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Всего аудиторных занятий	36	36	часов
4	Из них в интерактивной форме	20	20	часов
5	Самостоятельная работа	72	72	часов
6	Всего (без экзамена)	108	108	часов
7	Общая трудоемкость	108	108	часов
		3.0	3.0	З.Е.

Зачет: 1 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 27927

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 30.10.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

доцент кафедры ФЭ	_____	И. А. Чистоедова
профессор кафедры ФЭ	_____	В. А. Кагадей

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)	_____	И. А. Чистоедова
Профессор кафедры физической электроники (ФЭ)	_____	Т. И. Данилина

Согласована на портале № 27927

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели 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.

1.2. Задачи дисциплины

– 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 ОПОП

Дисциплина «Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники» (Б1.В.ОД.3.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники, Гетероструктурные полупроводниковые приборы.

Последующими дисциплинами являются: Измерение СВЧ параметров элементов ИМС, Интегральные схемы СВЧ-диапазона, Испытание и контроль изделий электронной техники, Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС, Основы СВЧ-электроники, Преддипломная практика, Приборно-технологическое моделирование, Проектирование и технология электронной компонентной базы, Физические основы надежности изделий твердотельной электроники.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-1 готовностью формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач;

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

– ПСК-1 способностью проводить анализ мирового опыта применения материалов наногетероструктурной СВЧ-электроники;

В результате изучения дисциплины обучающийся 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.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры

Согласована на портале № 27927

		1 семестр
Аудиторные занятия (всего)	36	36
Лекции	18	18
Практические занятия	18	18
Из них в интерактивной форме	20	20
Самостоятельная работа (всего)	72	72
Подготовка к контрольным работам	12	12
Выполнение домашних заданий	23	23
Проработка лекционного материала	5	5
Написание рефератов	14	14
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	18	18
Всего (без экзамена)	108	108
Общая трудоемкость, ч	108	108
Зачетные Единицы	3.0	3.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр					
1 Введение в GaAs электронику	2	2	5	9	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
2 Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	4	4	21	29	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	4	6	22	32	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
4 Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	4	3	16	23	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
5 Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	4	3	8	15	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
Итого за семестр	18	18	72	108	
Итого	18	18	72	108	

Согласована на портале № 27927

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины по лекциям	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Введение в GaAs электронику	Параметры полупроводниковых материалов A3B5 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	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	2	
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	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	4	
3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	Формирование межэлементной изоляции элементов МИС. Формирование омических контактов. Формирование барьерных контактов. Пассивация поверхностиФормирование 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	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	4	
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. Прин-	4	ПК-1, ПК-4, ПСК-1

Согласована на портале № 27927

	ципы разработки новых технологических маршрутов.		
	Итого	4	
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. РСМ 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	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	4	
Итого за семестр		18	

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

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

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин				
	1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины					
1 Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники	+				
2 Гетероструктурные полупроводниковые приборы	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины					
1 Измерение СВЧ параметров элементов ИМС					+
2 Интегральные схемы СВЧ-диапазона	+	+	+	+	+
3 Испытание и контроль изделий электронной техники		+			+
4 Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС	+	+	+	+	+
5 Основы СВЧ-электроники	+	+			
6 Преддипломная практика	+	+	+	+	+
7 Приборно-технологическое моделирование	+		+	+	+
8 Проектирование и технология электронной компонентной базы	+			+	+
9 Физические основы надежности изде-	+	+	+		+

Согласована на портале № 27927

лий твердотельной электроники					

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

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

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий			Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Сам. раб.	
ПК-1	+	+	+	Контрольная работа, Домашнее задание, Выступление (доклад) на занятии, Тест, Реферат
ПК-4	+	+	+	Контрольная работа, Домашнее задание, Выступление (доклад) на занятии, Тест, Реферат
ПСК-1	+	+	+	Контрольная работа, Домашнее задание, Выступление (доклад) на занятии, Тест, Реферат

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные практические занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
1 семестр			
Поисковый метод		4	4
Презентации с использованием слайдов с обсуждением	8		8
Мозговой штурм		8	8
Итого за семестр:	8	12	20
Итого	8	12	20

7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Введение в GaAs электронику	Введение в GaAs электронику	2	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	2	

Согласована на портале № 27927

2 Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	Разработка технологического маршрута изготовления СВЧ МИС на GaAs	4	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	4	
3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	Разработка технологических блоков изготовления GaAs СВЧ МИС	6	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	6	
4 Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	Разработка технологических маршрутов производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	3	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	3	
5 Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	Контроль качества в процессе производства СВЧ МИС	3	ПК-1, ПК-4, ПСК-1
	Итого	3	
Итого за семестр		18	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
1 семестр				
1 Введение в GaAs электронику	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-4, ПСК-1	Домашнее задание, Контрольная работа, Реферат, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	5		
2 Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-1, ПК-4, ПСК-1	Домашнее задание, Контрольная работа, Реферат, Тест
	Написание рефератов	8		
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение домашних заданий	6		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	21		

Согласована на портале № 27927

3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-1, ПК-4, ПСК-1	Выступление (доклад) на занятии, Домашнее задание, Контрольная работа, Реферат, Тест
	Написание рефератов	6		
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение домашних заданий	7		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	22		
4 Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ПК-1, ПК-4, ПСК-1	Выступление (доклад) на занятии, Домашнее задание, Контрольная работа, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение домашних заданий	10		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	16		
5 Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ПК-1, ПК-4, ПСК-1	Домашнее задание, Контрольная работа, Реферат, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	8		
Итого за семестр		72		
Итого		72		

10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

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
1 семестр				
Выступление (доклад) на занятии	5	5	5	15
Домашнее задание			20	20

Согласована на портале № 27927

Контрольная работа	15	15		30
Реферат			25	25
Тест		5	5	10
Итого максимум за период	20	25	55	100
Нарастающим итогом	20	45	100	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

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

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. 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. (наличие в библиотеке ТУСУР - 23 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / Чистоедова И. А., Данилина Т. И. - 2011. 98 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/547, дата обращения: 07.06.2018.

2. 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. (наличие в библиотеке ТУСУР - 7 экз.)

Согласована на портале № 27927

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Интегральные устройства радиоэлектроники. Проектирование интегральных схем на арсениде галлия: Руководство к практическим занятиям / Романовский М. Н., Нефедцев Е. В. - 2010. 76 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/334, дата обращения: 07.06.2018.
2. Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе / Чистоедова И. А., Смирнов С. В. - 2018. 53 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7451, дата обращения: 07.06.2018.

12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru/ (свободный доступ)
2. http://www.ieeexplore.ieee.org/
3. http://nano.nature.com/ (свободный доступ)

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 117 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Установка совмещения и экспонирования ЩА-310;
- Установка для нанесения фоторезиста;
- Электронный микроскоп УЭМВ-100К;
- Дистиллятор воды;

Согласована на портале № 27927

- Лабораторное оборудование и приборы: микроскоп МБС-9, микроскоп стерео МС-1, микроинтерферометр МИИ-4, химическая посуда, реактивы;
- Учебная доска;
- Проектор;
- Ноутбук;
- Экран для проектора;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:
- LibreOffice
- PDF-XChange Viewer
- Windows XP

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:
- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:
- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

Согласована на портале № 27927

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

1. В какой области нашли наибольшее применение GaAs гетероструктурные монолитные интегральные схемы (МИС):

а) силовая электроника

б) цифровая электроника

в) электроника сверхвысоких частот

г) фотоника

2. Какие элементы являются активными элементами в GaAs монолитных интегральных схем (МИС):

а) диоды

б) конденсаторы

в) резисторы

г) конденсаторы и индуктивности

3. В каком тонкоплёночном элементе GaAs МИС в качестве функционального конструктивного элемента используется тонкая пленка диэлектрика:

а) резистор

б) конденсатор

в) проводники межсоединений

г) индуктивность

4. Сквозные металлизированные отверстия как элемент GaAs МИС используются для:

а) облегчения конструкции МИС

б) заземления элементов МИС, расположенных на лицевой поверхности пластины GaAs

в) обеспечения возможности трехмерной сборки МИС

г) создания приемо-передающих антенн

5. Какой тип транзистора является базовым для GaAs гетероструктурных МИС:

а) полевой транзистор с барьером Шоттки (MESFET)

б) полевой транзистор с изолированным затвором (MOSFET)

в) биполярный транзистор

г) транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT)

6. Какие среды из перечисленных ниже являются технологическими средами при производстве GaAs гетероструктурных МИС:

а) вода, химикаты, газы, вакуум, плазма

б) воздух, химикаты, газы, вакуум, плазма

в) воздух, вода, химикаты, газы, плазма

г) воздух, вода, химикаты, газы, вакуум, плазма

7. Какие технологические блоки при производстве GaAs гетероструктурных МИС входят в стадию изготовления лицевой стороны пластины (frontside processing):

а) блок формирования межэлементной изоляции элементов МИС

б) блок формирования затворов

в) блок формирования омических контактов

г) все перечисленные

8. Какие технологические блоки при производстве GaAs гетероструктурных МИС входят в стадию изготовления обратной стороны пластины (backside processing):

а) блок утонения пластин GaAs

б) блок формирования межэлементной и межуровневой разводки

в) блок формирования воздушных мостов

г) блок формирования пассивных элементов

9. Для формирования межэлементной изоляции элементов GaAs гетероструктурных МИС можно использовать следующие технологические процессы:

Согласована на портале № 27927

а) жидкостное травление меза-структур

б) селективную ионную имплантацию

в) плазмохимическое или реактивно-ионное травление («сухое» травление) меза-структур

г) все перечисленные

10.Для формирования сплавного низкоомного омического контакта при производстве GaAs гетероструктурных МИС традиционно используют:

а) тонкопленочную композицию Au/Ge/Ni

б) тонкопленочную композицию Ti/Au

в) толстый слой Au

г) тонкий слой Ge

11.Для формирования субмикронного Т-образного затвора при производстве GaAs гетероструктурных МИС традиционно используют:

а) лазерную литографию

б) импринтинг

в) электронно-лучевую литографию

г) контактную литографию

12.Для формирования воздушных мостов при производстве GaAs гетероструктурных МИС используют:

а) напыление тонкоплёночной композиции Ti/Au

б) как напыление тонкоплёночной композиции Ti/Au, так и электрохимическое осаждение толстых слоев Au

в) электрохимическое осаждение толстых слоев Au

г) напыление толстых слоев Au

13.При утонении пластин GaAs методом шлифовки используют:

а) шлифовальные порошки с твердостью меньшей, чем твердость GaAs

б) шлифовальные порошки с твердостью равной твердости GaAs

в) шлифовальные порошки с твердостью большей, чем твердость GaAs

г) все перечисленные

14.Для формирования сквозных отверстий в GaAs пластине используют:

а) изотропное жидкостное травление

б) реактивно-ионное травление в хлорной плазме

в) плазмо-химическое травление во фторной плазме

г) все перечисленные

15. Для металлизации сквозных отверстий в GaAs пластине после нанесения затравочного проводящего слоя применяют:

а) электронно-лучевое напыление Au

б) электронно-лучевое напыление Ti/Au

в) электрохимическое осаждение Au

г) ни один из вышеперечисленных методов

16. Для межоперационного контроля параметров GaAs гетероструктурных МИС в процессе производства (при движении пластины по технологическому маршруту) используют:

а) специально сформированные на поверхности GaAs пластины тестовые структуры (PCM тесты)

б) изготавливаемые монолитные интегральные схемы, а также их элементы

в) ничего из выше перечисленного

г) всё выше перечисленное

17.Статистический межоперационный контроль параметров элементов GaAs гетероструктурных МИС позволяет:

а) получать информацию, необходимую для поддержания процесса производства GaAs МИС в рамках заданных параметров

б) обнаруживать и устранять отклонения процесса производства GaAs МИС от заданных параметров

в) иметь статистические данные по комплексу параметров процесса производства GaAs МИС за длительный промежуток времени

Согласована на портале № 27927

г) всё выше перечисленное

18.Процедура финального тестирования параметров GaAs гетероструктурных МИС (разбраковка МИС) включает в себя:

а) измерение СВЧ параметров МИС

б) визуальное тестирование

в) ничего из выше перечисленного

г) всё выше перечисленное

19. Визуальное тестирование GaAs гетероструктурных МИС производится с помощью:

а) оптического микроскопа

б) атомно-силового микроскопа

в) сканирующего туннельного микроскопа

г) ионного микроскопа

20. Процент выхода годных GaAs гетероструктурных МИС рассчитывается:

а) как отношение количества годных МИС (МИС, прошедших процедуру визуального тестирования и удовлетворяющих требованиям к их внешнему виду), ко всему объёму произведённых МИС данного типа

б) как отношение количества годных МИС (МИС, прошедших процедуры тестирования по СВЧ параметрам, а также визуального тестирования и удовлетворяющих комплексу контролируемых параметров) ко всему объёму произведённых МИС данного типа

в) как отношение количества годных МИС (МИС, прошедших процедуру тестирования по СВЧ параметрам и удовлетворяющих требованиям к контролируемым параметрам), ко всему объёму произведённых МИС данного типа

г) как отношение количества годных МИС (МИС, прошедших процедуру статистического межоперационного контроля и удовлетворяющих требованиям к контролируемым параметрам), ко всему объёму произведённых МИС данного типа

14.1.2. Темы докладов

- 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?

14.1.3. Темы домашних заданий

Творческое задание: форсайт-проект

1. Цель форсайт-проекта

Генерация перспективных продуктов, содержащих гетероструктурные СВЧ МИС на основе полупроводников А3В5, а также разработка конструкторских решений и технологий производства как продуктов, так и СВЧ МИС на временном горизонте 7–20 лет;

2. Исходные посылки

• современная цивилизация в рамках сложившихся моделей находится на уровне близком к пределу своих возможностей и нуждается в новых глобальных идеях для сохранения стабильности и дальнейшего развития;

• в форсайт-проекте исходим из перспективных, сегодня малоизученных и, следовательно, пока неудовлетворённых потребностей индивидуумов и общества в целом;

• рассматриваем перспективные рыночные ниши, в которых имеется достаточный уровень знаний для генерации перспективных продуктов;

• учитываем тенденции активной минитюаризации устройств и роста их вычислительных возможностей.

Согласована на портале № 27927

3. Концепция форсайт-проекта

• в качестве перспективных потребностей общества рассматриваем:

о воспитание и формирование индивидуумов, обладающих существенными когнитивными преимуществами, а также другими этическими и ценностными установками по отношению к человеку сегодняшнего дня («новый» человек – источник формирования «новой» цивилизации);

о формирование среды комфортного существования «нового» человека и «новой» цивилизации;

о создание принципиально новых сфер и качества информационного обмена и общения;

о оригинальную «технологию», создающую новый тип спроса и эффективные стимулы для скачкообразного развития цивилизации.

• в качестве рыночной ниши выбираем нишу массовых продуктов, предназначенных для индивидуального потребления;

• основным объектом форсайт-проекта выбираем концепты перспективных Продуктов для организации сетей передачи данных на малые расстояния типа WPAN, WBBN, WBAN, WiNoC;

• дополнительными объектами форсайт-проекта выбираем оригинальные конструкторские решения перспективных Продуктов, а также новые технологии их производства;

• в качестве возможного ядра сетей передачи данных на малые расстояния выбираем мобильное устройство «Имярек», типа сотового телефона, часов или имплантированного в тело чипа, которое у каждого индивидуума всегда будет находиться при себе;

• в качестве возможного способа управления устройством «Имярек» выбираем прямое управление сигналами, поступающих от центральной нервной системы человека, в устройство «Имярек» беспроводным способом.

4. Поле форсайт-проекта

• беспроводные сети передачи данных на расстояние от 10 мкм до 100 м;

• конфигурация системы: точка-точка, точка - много точек, точка - много точек – точка;

• типы рассматриваемых беспроводных сетей и стандарты связи:

о wireless personal area network (WPAN, до 100 м, standard IEEE 802.15)

о near-me area network (NAN)

о wireless body to body networks (WBBN, до 100 м) и Wi-Fi direct device-to-device;

о wireless body area networks or wireless body sensor network (WBAN, WBSN, до 5 м, standard IEEE 802.15.6TM-2012, три физических уровня:

- узкополосный (Narrowband – NB);
- сверхширокополосный (Ultra wideband – UWB) и
- связь по телу человека (Human Body Communication – HBC или Connected Me)).

о near field communication (NFC, до 4 см, interface ISO/IEC 18000-3)

о wireless network-on-chip или chip to chip networks (WiNoC, до 20 мм).

• технологии:

о brain-computer interface (BCI) или mind-machine interface (MMI);

о ultra-wide band (UWB);

о распределённые вычисления (distributed computing);

о облачные вычисления (cloud computing).

• рабочие частоты:

о от 3 Гц до 3 КГц (обмен данными с центральной нервной системой человека);

о от 1 ГГц до 10 ТГц (обмен данными между «неживыми» устройствами).

5. Примеры перспективных Продуктов

• В области WBBN:

о бесплатная, добровольно созданная локальная или глобальная сеть, состоящая из мобильных устройств «Имярек», использующая технологии распределённых вычислений (без выхода в сеть Интернет) или облачных вычислений (с выходом в сеть Интернет);

о бесплатная, добровольно созданная локальная или глобальная сеть, состоящая из мобильных устройств «Имярек», имеющих координатную привязку и формирующих распределённую антенную АФАРовскую решётку для посылки направленного сигнала на большие расстояния –

Согласована на портале № 27927

например, на спутник и, например, из самолёта.

• В области WBAN:

о устройство, позволяющее осуществлять «молчаливый разговор» (silent talk) между двумя людьми с посредством считывания, обработки и последующей передачи сигналов (энцефалограммы) мозга одного человека в мозг другого человека; устройство ввода-вывода информации в мозг может быть основано как на системе имплантированных био-сенсоров, имеющих беспроводную связь и электропитание, так и на полностью беспроводном (ELF/SLF/ULF радиосигналы) вводе-выводе информации в центральную нервную систему человека;

о устройство для улучшения когнитивных способностей детей с помощью устройств прямого (имплантированные био-сенсоры) или удалённого (ELF/SLF/ULF радиосигналы) ввода-вывода сигналов мозга;

о система датчиков и актюаторов, расположенных на теле человека, или система био-сенсоров и актюаторов, имплантированных в тело человека, плюс мобильное устройство «Имярек», объединённые в сеть с целью диагностики, слежения и воздействия на состояние человека;

о устройство управление внешними объектами с помощью аппаратуры прямого или удалённого считывания сигналов мозга человека;

о громкоговоритель устройства «Имярек», вживлённый в ухо и получающий сигнал, а также электропитание по беспроводной связи;

о устройство передачи данных из медиаплеера или смартфона в беспроводные наушники через проводящую одежду и по телу человека.

• В области WiNoC:

о беспроводная передача данных между GaAs чипами;

о беспроводная передача данных между электронными модулями в радиоаппаратуре.

• Другое:

о стетоскоп, состоящий из качественного миниатюрного микрофона (может быть уже вделанного в мобильное устройство «Имярек»), мобильного устройства «Имярек» и наушников мобильного устройства «Имярек», соединённых беспроводной связью;

о беспилотные устройства в водно-воздушной среде с различным типом и уменьшающимся размером носителя: от живых объектов (насекомые, планктон) до искусственных объектов (пассивно-, активно движущиеся «разумные» Si кристаллы), от жука до бактерии для сбора и передачи информации, а также активного воздействия на объекты.

Примеры:

1. Бесплатная сеть, созданная на базе персональных сотовых телефонов добровольных участников (исходная посылка – сотовый телефон – это сегодня полноценный компьютер + распределённые вычисления стали повседневностью)

2. Сеть передачи данных chip to chip (потребность – проводная передача данных внутри чипов и между чипами ограничивает скорость развития микроэлектроники)

14.1.4. Темы рефератов

1.GaAs гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов: pHEMT

2. GaAs гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов: mHEMT

3. GaN гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов и их применение в СВЧ электронике

4. GaN гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов и их применение в силовой электронике

5. Терагерцовая электроника: генерация, распространение, приём

6. Терагерцовая электроника: применения

7. Графен – основа электроники будущего?

8. Wireless world – мечта или недалёкое будущее?

14.1.5. Темы контрольных работ

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

Согласована на портале № 27927

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

14.1.6. Зачёт

1. Параметры полупроводниковых материалов A3B5 и особенности их применения
2. История развития GaAs микроэлектроники: от гомо- к гетероструктурным транзисторам и СВЧ МИС, от GaAs к InP и к GaN МИС
3. Классификация GaAs, InP и GaN приборов и СВЧ МИС, их характеристики
4. Дорожная карта СВЧ МИС, тенденции развития отрасли
5. Области применения СВЧ МИС, перспективные рынки, технология форсайт
6. Активные и пассивные элементы GaAs МИС, их конструкции, типы технологий
7. Гетероструктуры и их базовые конструкции
8. Требования к технологическим средам
9. Топологические нормы и принципы, лежащие в основе производства МИС
10. Построение технологического маршрута, организация запусков и движения пластин по маршруту
11. Понятия frontside и backside processing, технологических блоков
12. Межоперационный контроль и PCM тесты
13. Формирование межэлементной изоляции элементов МИС
14. Формирование омических контактов
15. Формирование барьерных контактов
16. Пассивация поверхности
17. Формирование пассивных элементов
18. Формирование воздушных мостов
19. Формирование межэлементной и межуровневой разводки, low-k диэлектрики
20. Формирование капсулирующего покрытия
21. Утонение пластин GaAs
22. Формирование сквозных отверстий
23. Формирование металлизации обратной стороны и “street”
24. СВЧ тестирование МИС
25. Маркировка бракованных чипов
26. Резка пластин
27. Визуальный контроль СВЧ МИС
28. Корпусирование СВЧ МИС
29. Маршрут производства коммутационных и усилительных МИС на основе pHEMT
30. Маршрут производства МИС на основе E/D pHEMT
31. Маршрут производства МИС на основе mHEMT
32. Маршрут производства МИС на основе HBT
33. Маршрут производства МИС на основе BiHEMT
34. Маршрут производства МИС на основе GaN HEMT
35. Принципы разработки новых технологических маршрутов
36. Технологическая дорожная карта
37. Устойчивость технологических процессов и маршрута, отклонения в процессе производства: типы и происхождение
38. Контроль параметров технологических сред, материалов, оборудования и процессов
39. Статистический межоперационный контроль параметров элементов СВЧ МИС
40. PCM тестирование
41. Визуальный контроль критических размеров, межоперационный и финишный визуальный контроль
42. Финишный контроль СВЧ параметров МИС
43. Процент выхода годных
44. Надёжность СВЧ МИС

14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополни-

Согласована на портале № 27927

тельные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 27927