МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
_____Сенченко П.В.
«22» _____02_____ 2023 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: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра физической электроники (ФЭ)**
Курс: **1**
Семестр: **1**
Учебный план набора 2023 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	1 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	18	18	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	18	18	часов
Практические занятия	18	18	часов
Самостоятельная работа	72	72	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	108	108	часов
	3	3	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Зачет	1

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 22.02.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 72682

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Развитие у магистрантов представления о твердотельной СВЧ микро- и наноэлектроники и об явлениях и процессах, на которых основано приборное направление.

1.2. Задачи дисциплины

1. 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

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль профессиональной подготовки (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.01.02.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
-	-	-
Профессиональные компетенции		
ПК-5. Способен проводить анализ мирового опыта применения материалов наногетероструктурной СВЧ-электроники	ПК-5.1. Знает основы материаловедения полупроводников и гетероструктур	Знает физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов арсенид-галлиевой наногетероструктурной электроники
	ПК-5.2. Умеет делать обзоры по отечественным и иностранным источникам информации	Умеет проводить анализ мирового опыта применения материалов и устройств наногетероструктурной СВЧ-электроники
	ПК-5.3. Владеет методиками анализа применения материалов в интегральной электронике СВЧ, основанной на гетероэпитаксиальных структурах	Владеет методиками анализа применения материалов в арсенид-галлиевой гетероструктурной электронике

Согласована на портале № 72682

ПК-7. Готов 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-7.1. Знает современное состояние и перспективы развития электронной компонентной базы и рынка	Знает современное состояние и перспективы развития арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники
	ПК-7.2. Умеет формулировать цели и задачи научных исследований	Умеет выбирать теоретические и экспериментальные методы исследования материалов и устройств наногетероструктурной СВЧ-электроники
	ПК-7.3. Владеет методиками теоретического и экспериментального анализа для решения сформулированных задач	Владеет методиками теоретического и экспериментального анализа материалов и устройств наногетероструктурной СВЧ-электроники
ПК-9. Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПК-9.1. Знает методы и оборудование при выполнении экспериментальных работ	Знает принципы разработки технологических маршрутов наногетероструктурных монолитных интегральных схем
	ПК-9.2. Умеет планировать экспериментальные работы с применением современных средств и методов	Умеет разрабатывать наногетероструктурные арсенид-галлиевые СВЧ монолитные интегральные схемы и технологические маршруты их изготовления
	ПК-9.3. Владеет навыками организации и постановки экспериментальных работ	Владеет навыками разработки базовых технологических процессов

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		1 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	36	36
Лекционные занятия	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	72	72
Подготовка к зачету	25	25
Подготовка к тестированию	10	10
Выполнение кейс-задания / проекта	22	22
Написание реферата	15	15

Согласована на портале № 72682

Общая трудоемкость (в часах)	108	108
Общая трудоемкость (в з.е.)	3	3

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр					
1 Введение в GaAs электронику	2	2	12	16	ПК-5, ПК-7, ПК-9
2 Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	4	4	14	22	ПК-5, ПК-7, ПК-9
3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	4	6	14	24	ПК-5, ПК-7, ПК-9
4 Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	4	3	16	23	ПК-5, ПК-7, ПК-9
5 Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	4	3	16	23	ПК-5, ПК-7, ПК-9
Итого за семестр	18	18	72	108	
Итого	18	18	72	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), 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-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	2	

Согласована на портале № 72682

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-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	4	
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	ПК-5, ПК-7, ПК-9
	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. Принципы разработки новых технологических маршрутов.	4	ПК-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	4	

Согласована на портале № 72682

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	ПК-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	4	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Введение в GaAs электронику	Параметры полупроводниковых материалов A3B5 и особенности их применения	2	ПК-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	2	
2 Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	Разработка технологического маршрута изготовления СВЧ МИС на GaAs	4	ПК-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	4	
3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	Разработка технологических блоков изготовления GaAs СВЧ МИС	6	ПК-5, ПК-7, ПК-9
	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-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	3	
5 Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	Контроль качества в процессе производства СВЧ МИС	3	ПК-5, ПК-7, ПК-9
	Итого	3	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Согласована на портале № 72682

Не предусмотрено учебным планом

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
1 семестр				
1 Введение в GaAs электронику	Подготовка к зачету	5	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт
	Подготовка к тестированию	2	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Тестирование
	Выполнение кейс-задания / проекта	2	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Кейс-задание / проект
	Написание реферата	3	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Реферат
	Итого	12		
2 Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	Подготовка к зачету	5	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт
	Подготовка к тестированию	2	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Тестирование
	Выполнение кейс-задания / проекта	4	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Кейс-задание / проект
	Написание реферата	3	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Реферат
	Итого	14		
3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	Подготовка к зачету	5	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт
	Подготовка к тестированию	2	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Тестирование
	Выполнение кейс-задания / проекта	4	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Кейс-задание / проект
	Написание реферата	3	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Реферат
	Итого	14		
4 Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	Подготовка к зачету	5	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт
	Подготовка к тестированию	2	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Тестирование
	Выполнение кейс-задания / проекта	6	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Кейс-задание / проект
	Написание реферата	3	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Реферат
	Итого	16		
5 Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	Подготовка к зачету	5	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт
	Подготовка к тестированию	2	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Тестирование
	Выполнение кейс-задания / проекта	6	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Кейс-задание / проект
	Написание реферата	3	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Реферат
	Итого	16		

Согласована на портале № 72682

Итого за семестр	72	
Итого	72	

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности			Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Сам. раб.	
ПК-5	+	+	+	Зачёт, Кейс-задание / проект, Реферат, Тестирование
ПК-7	+	+	+	Зачёт, Кейс-задание / проект, Реферат, Тестирование
ПК-9	+	+	+	Зачёт, Кейс-задание / проект, Реферат, Тестирование

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	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				
Зачёт	0	0	30	30
Реферат	5	5	5	15
Тестирование	5	5	5	15
Кейс-задание / проект	5	5	30	40
Итого максимум за период	15	15	70	100
Нарастающим итогом	15	30	100	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Согласована на портале № 72682

Оценка	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)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. 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 - 18 экз.).

7.2. Дополнительная литература

1. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / И. А. Чистоедова, Т. И. Данилина - 2011. 98 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/547.
2. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие / Е. В. Анищенко, Т. И. Данилина, В. А. Кагадей - 2011. 263 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/552.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Интегральные устройства радиоэлектроники. Проектирование интегральных схем на арсениде галлия: Руководство к практическим занятиям / М. Н. Романовский, Е. В. Нефедцев - 2010. 76 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/334.

7.3.2. 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.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

Согласована на портале № 72682

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. 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 достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. 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;
- Лабораторное оборудование и приборы: микроскоп МБС-9, микроскоп стерео МС-1, микроинтерферометр МИИ-4, химическая посуда, реактивы;
- Учебная доска;
- Проектор Benq;
- Ноутбук ASUS;
- Экран для проектора;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. 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, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.4. 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

Согласована на портале № 72682

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 зрения** 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.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Введение в GaAs электронику	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Реферат	Примерный перечень тем для рефератов
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Кейс-задание / проект	Примерный перечень тематик кейс-заданий / проектов
2 Основы технологии производства GaAs СВЧ МИС	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Реферат	Примерный перечень тем для рефератов
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Кейс-задание / проект	Примерный перечень тематик кейс-заданий / проектов
3 Базовые технологические блоки изготовления GaAs СВЧ МИС	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Реферат	Примерный перечень тем для рефератов
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Кейс-задание / проект	Примерный перечень тематик кейс-заданий / проектов

Согласована на портале № 72682

4 Технологические маршруты производства СВЧ МИС на основе pHEMT, E/D pHEMT, mHEMT, HBT, BiHEMT и GaN HEMT	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Реферат	Примерный перечень тем для рефератов
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Кейс-задание / проект	Примерный перечень тематик кейс-заданий / проектов
5 Организация контроля качества в процессе производства СВЧ МИС	ПК-5, ПК-7, ПК-9	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Реферат	Примерный перечень тем для рефератов
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Кейс-задание / проект	Примерный перечень тематик кейс-заданий / проектов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции

Согласована на портале № 72682

2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

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;

Согласована на портале № 72682

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 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.
10. 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.

9.1.2. Перечень вопросов для зачета

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.

Согласована на портале № 72682

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.

9.1.3. Примерный перечень тем для 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?

9.1.4. Примерный перечень тематик кейс-заданий / проектов

1. О воспитании и формировании индивидуумов, обладающих существенными когнитивными преимуществами, а также другими этическими и ценностными установками по отношению к человеку сегодняшнего дня («новый» человек – источник формирования «новой» цивилизации)
2. О формировании среды комфортного существования «нового» человека.
3. О создании принципиально новых сфер и качества информационного обмена и общения.
4. О оригинальной «технологии», создающий новый тип спроса и эффективные стимулы для скачкообразного развития цивилизации.
5. О формировании среды комфортного существования «новой» цивилизации.

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими

Согласована на портале № 72682

научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

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

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – 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, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. 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;

Согласована на портале № 72682

– 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 № 72682

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 140 от «31» 1 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
И.О. начальника учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Согласовано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8
Заведующий кафедрой, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ФЭ	В.А. Кагадей	Разработано, 59164e44-7e2b-44b8-81d4-06fbda0db607

Согласована на портале № 72682