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

Физические и технологические основы микро- и наноэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **09.04.01 Информатика и вычислительная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Автоматизация проектирования микро- и наноэлектронных устройств для радиотехнических систем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФВС, Факультет вычислительных систем**
Кафедра: **КСУП, Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании**
Курс: **1**
Семестр: **1**
Учебный план набора 2018 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	1 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	10	10	часов
2	Практические занятия	8	8	часов
3	Лабораторные работы	18	18	часов
4	Всего аудиторных занятий	36	36	часов
5	Самостоятельная работа	72	72	часов
6	Всего (без экзамена)	108	108	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
8	Общая трудоемкость	144	144	часов
		4.0	4.0	З.Е.

Экзамен: 1 семестр

Томск 2018

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 20.12.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Согласована на портале № 35137

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 15 от «19» 6 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, утвержденного 30.10.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры КСУП «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

кандидат физико-математических наук, доцент каф. КСУП	_____	Н. А. Торхов
Заведующий обеспечивающей каф. КСУП	_____	Ю. А. Шурыгин

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФВС	_____	Л. А. Козлова
Заведующий выпускающей каф. КСУП	_____	Ю. А. Шурыгин

Эксперты:

Доцент кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)	_____	Н. Ю. Хабибулина
Профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)	_____	В. М. Зюзьков

Согласована на портале № 35137

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Основная цель данного курса состоит в изучении общих принципов кристаллографии полупроводников, статистики электронов и дырок, контактных и кинетических явлениях, физических механизмах токопереноса.

Сформировать у студентов знания основ конструкций полупроводниковых приборов, технологических операций создания приборов твердотельной СВЧ электроники, моделирования гетероэпитаксиальных структур и приборов на их основе.

Получение способности воспринимать математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания, умения самостоятельно приобретать, развивать и применять их для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте

Получение способности анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями

Получение умения разрабатывать схемы и топологии тестовых структур и СВЧ МИС, а также конструкторскую документацию для их производства

Получение навыка владения методиками испытаний, контроля и отбраковки СВЧ МИС

1.2. Задачи дисциплины

- изучить основы кристаллографии полупроводников
- изучить статистику электронов и дырок
- изучить контактные и кинетические явления в полупроводниках
- изучить физические механизмы токопереноса
- изучить основные конструкции полупроводниковых приборов
- изучить основные технологические нанооперации создания приборов твердотельной СВЧ электроники
- освоить моделирование гетероэпитаксиальных структур и приборов на их основе

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физические и технологические основы микро- и наноэлектроники» (Б1.В.ОД.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: СВЧ цепи, элементы и модели.

Последующими дисциплинами являются: Основы проектирования СВЧ полупроводниковых устройств, Профессиональный иностранный язык, Схемотехника СВЧ интегральных схем и систем на кристалле, Технология разработки программного обеспечения, Философия науки и техники, Философские основы естествознания.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 способностью воспринимать математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания, умением самостоятельно приобретать, развивать и применять их для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте;
- ОПК-6 способностью анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями;
- ПСК-4 умением разрабатывать схемы и топологии тестовых структур и СВЧ МИС, а также конструкторскую документацию для их производства;
- ПСК-5 владением методиками испытаний, контроля и отбраковки СВЧ МИС;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** Основы кристаллографии. Зонную теорию кристаллических полупроводников. Принципы формирования и функционирования гетеропереходов и гетероэпитаксиальных струк-

Согласована на портале № 35137

тур. Методы расчёта электрофизических характеристик гетероэпитаксиальных структур. Методы расчёта статических и СВЧ-характеристик приборов твердотельной электроники. способность применять электрофизические и математические модели HEMT; Конструктивные решения приборов твердотельной электроники. Технологию изготовления GaAs, InP, Si, SiGe, GaN приборов твердотельной электроники. Особенности основных технологических процессов нанолитографии. Физико-математические модели процессов нанолитографии. Алгоритмы и методы моделирования физических процессов нанолитографии.

– **уметь** Разбираться в основах кристаллографии полупроводниов, металлов и диэлектриков. Владеть теоретическим аппаратом зонной теории кристаллических полупроводников. Разбираться в принципах формирования и функционирования гетеропереходов и гетероэпитаксиальных структур. Рассчитывать электрофизические характеристики гетероэпитаксиальных структур. Рассчитывать статические и СВЧ-характеристики приборов твердотельной электроники. Конструировать приборы твердотельной электроники. Составлять технологический маршрут изготовления GaAs, InP, Si, SiGe, GaN приборов твердотельной электроники. осуществлять физическое моделирование основных технологических процессов.

– **владеть** Основами теории кристаллографии. Зонной теорией кристаллических полупроводников. Принципами формирования и функционирования гетеропереходов и гетероэпитаксиальных структур. Физико-математическими моделями приборов твердотельной электроники. Методами и алгоритмами расчёта электрофизических характеристик гетероэпитаксиальных структур. Методами и алгоритмами расчёта статических и СВЧ-характеристик приборов твердотельной электроники. Методами конструирования приборов твердотельной электроники. Технологией изготовления GaAs, InP, Si, SiGe, GaN приборов твердотельной электроники.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		1 семестр
Аудиторные занятия (всего)	36	36
Лекции	10	10
Практические занятия	8	8
Лабораторные работы	18	18
Самостоятельная работа (всего)	72	72
Оформление отчетов по лабораторным работам	14	14
Проработка лекционного материала	29	29
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	29	29
Всего (без экзамена)	108	108
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	144	144
Зачетные Единицы	4.0	4.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Согласована на портале № 35137

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр						
1 Зонные характеристики гетероструктур	3	3	6	26	38	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники	4	3	6	18	31	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
3 Технология изготовления приборов твердотельной электроники	3	2	6	28	39	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
Итого за семестр	10	8	18	72	108	
Итого	10	8	18	72	108	

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 Зонные характеристики гетероструктур	1. Понимание зонной теории кристаллических полупроводников, 1.1. знание трансляционной симметрии кристаллических решеток.1.2. знание электронные орбитали1.3. знание энергетический спектр электронов в изолированном атоме1.4. знание решетки Бравэ1.5. знание индексов Миллера1.6. знание обратной решетки1.7. умение решать уравнения Шредингера для электронов в изолированном атоме1.8. умение решать уравнения Шредингера для электронов в кристалле1.9. знание функции Блоха1.10. знание зон разрешенных значений энергии1.11. знание зоны Бриллюэна1.12. знание понятия эффективной массы носителей заряда1.13. знание плотности квантовых состояний в разрешенных зонах энергий1.14. знание функции распределения Ферми-Дирака1.15. умение составлять выражения для концентрации равновесных электронов и дырок в зоне проводимости1.16. умение решать уравнение электронейтральности1.17. знание неравновесные носители заряда2. Контактные явления в полупроводниках2.1. Контакты металл-полупроводник2.2. p-n -переходы2.3. Омиче-	3	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5

Согласована на портале № 35137

	ские контакты3. Понимание принципов формирования и функционирования гетеропереходов и гетероэпитаксиальными структурами3.1. знание основных условий для формирования гетеропереходов3.2. знание типов гетеропереходов3.3. знание типов гетероэпитаксиальных структур3.4. знание принципов формирования 2DEG-электронного газа3.5. умение составлять основные уравнения для описания зонной диаграммы HEMT-структур3.6. знание соотношения Эйнштейна4. Владение методами расчёта гетероэпитаксиальных структур4.1. умение расчета зонных характеристик гетероэпитаксиальных HEMT структур в стационарном случае4.2. навыки использования численных методов решения систем линейных дифференциальных уравнений в частных производных.		
	Итого	3	
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники	1. Представление о технологических аспектах основных конструкции FET, HEMT, pHEMT и mHEMT1.1. умение дать классификацию транзисторы по материалу1.2. умение дать классификацию транзисторов по структуре1.3. умение дать классификацию транзисторов по мощности1.4. умение дать классификацию транзисторов по исполнению1.5. умение дать классификацию транзисторов по материалу и конструкции корпуса1.6. знание основных характеристик барьера Шотки1.7. умение определить крутизну транзистора1.8. умение определить дифференциального сопротивления канала1.9. умение определить статический коэффициент усиления по напряжению1.10. умение определить входное сопротивление1.11. умение определить статическое сопротивление по постоянной составляющей тока1.12. умение определить напряжение отсечки1.13. умение определить напряжение пробоя1.14. знание видов и основных характеристик омических контактов. Виды и основные характеристки1.15. знание основных конструкций FET, HEMT, pHEMT и mHEMT1.16. знание отличительные особенности гетероэпитаксиальных материалов FET, HEMT, pHEMT и mHEMT.1.17. знание технологии производства HEMT2. Способность применять электрофизические и математические модели HEMT2.1. навыки работы со статическими приборными характеристиками HEMT2.2. навыки работы с СВЧ-приборными характеристиками HEMT2.3. знание связи приборных характеристик с конструктивными особенностями HEMT.2.4. знание размерного эффекта2.5. знание связи приборных характеристик с технологическими особенностями производства HEMT2.6. умение использовать дрейфово-диффузионную модель переноса электрических	4	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5

Согласована на портале № 35137

	зарядов2.7. умение использовать гидродинамическую модель переноса электрических зарядов2.8. умение использовать баллистическую модель переноса электрических зарядов2.9. навыки построения и использования математических моделей HEMT3. Владение методами расчета приборных характеристик HEMT, малосигнальная модель3.1. умение использовать системы дифференциальных уравнений для расчета зонных характеристик гетероэпитаксиальных структур в нестационарном случае3.2. навыки использования численных методов решения систем линейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных3.3. знание линейной (малосигнальной) модели полевого транзистора3.4. знание условия малого сигнала3.5. знание эквивалентной схемы		
	Итого	4	
3 Технология изготовления приборов твердотельной электроники	1. Знание особенностей основных технологических процессов нанолитографии1.1. знание основных видов нанолитографии1.2. знание принципов иммерсионной оптической литографии КУФ диапазона. 1.3. знание принципов экстремальной и next-generation литографии.1.4. знание принципов литографии без шаблонов1.5. знание принципов импринтинга (imprinting).1.6. знание принципов контактной КУФ литографии1.7. знание принципов литографии по высокому рельефу (spray-coating)1.8. знание принципов экстремальной ультрафиолетовая литография.1.9. знание принципов сканирующей электронно-лучевой литографии1.10. знание принципов электронной проекционной литографии1.11. знание принципов ионной проекционной литографии1.12. знание связи длины волны освещения с топологической нормой.1.13. знание источников экспонирующего излучения для нанолитографии.1.14. знание сферической и хроматической аберрации1.15. знание способов нанесения резистов1.16. знание видов резистивных масок, их оптических и физико-химические параметров1.17. знание способов формирования профилей резистивных масок1.18. знание способов проявления резистов1.19. знание принципов литография на гравировку1.20. знание принципов литографии на травление1.21. знание принципов литографии на взрыв2. Владение физико-математическими моделями процессов нанолитографии2.1. знание основные физико-химические процессы проведения нанолитографии2.2. умение составить систему основных дифференциальных уравнений для расчета физико-химических процессов проведения нанолитографии2.3. умение составить систему основных дифференциальных	3	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5

Согласована на портале № 35137

	уравнений для расчета оптических процессов проведения нанолитографии3. Владение алгоритмами и методами моделирования физических процессов нанолитографии3.1. навыки использования численных методов решения систем линейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных.		
	Итого	3	
Итого за семестр		10	

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
Предшествующие дисциплины			
1 СВЧ цепи, элементы и модели		+	
Последующие дисциплины			
1 Основы проектирования СВЧ полупроводниковых устройств	+	+	+
2 Профессиональный иностранный язык	+	+	+
3 Схемотехника СВЧ интегральных схем и систем на кристалле		+	
4 Технология разработки программного обеспечения		+	+
5 Философия науки и техники	+		
6 Философские основы естествознания	+		

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.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-1	+	+	+	+	Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Выступление (доклад) на занятии, Тест, Отчет по практическому занятию

Согласована на портале № 35137

ОПК-6	+	+	+	+	Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Выступление (доклад) на занятии, Тест, Отчет по практическому занятию
ПСК-4	+	+	+	+	Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Выступление (доклад) на занятии, Тест, Отчет по практическому занятию
ПСК-5	+	+	+	+	Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Выступление (доклад) на занятии, Тест, Отчет по практическому занятию

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Зонные характеристики гетероструктур	Определить кристаллографическую ориентацию конкретной полупроводниковой гетероэпитаксиальной структуры.	6	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
	Итого	6	
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники	Моделирование статических и СВЧ-характеристик HEMT	6	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
	Итого	6	
3 Технология изготовления приборов твердотельной электроники	Моделирование технологических процессов.	6	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
	Итого	6	
Итого за семестр		18	

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Согласована на портале № 35137

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Зонные характеристики гетероструктур	Определение типа гетероперехода	3	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
	Итого	3	
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники	Проектирование HEMT-транзистора	3	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
	Итого	3	
3 Технология изготовления приборов твердотельной электроники	Моделирование технологического процесса	2	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5
	Итого	2	
Итого за семестр		8	

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 Зонные характеристики гетероструктур	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	10	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5	Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Проработка лекционного материала	10		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	6		
	Итого	26		
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	9	ОПК-1, ОПК-6, ПСК-4, ПСК-5	Конспект самоподготовки, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	9		
	Итого	18		
3 Технология изготовления приборов	Подготовка к практическим занятиям, семина-	10	ОПК-1, ОПК-6,	Выступление (доклад) на занятии, Опрос на заня-

Согласована на портале № 35137

твердотельной электроники	рам		ПСК-4, ПСК-5	тиях, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	10		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	8		
	Итого	28		
Итого за семестр		72		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		108		

10. Курсовой проект / курсовая работа

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	3	3	3	9
Конспект самоподготовки	3	3	3	9
Опрос на занятиях	1	1	2	4
Отчет по лабораторной работе	5	5	5	15
Отчет по практическому занятию	5	5	5	15
Тест	6	6	6	18
Итого максимум за период	23	23	24	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	23	46	70	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

Согласована на портале № 35137

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. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И. Ансельм. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 624 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71742. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71742 (дата обращения: 04.07.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Пул, Чарлз. Нанотехнологии : учебное пособие. - М. : Техносфера , 2005. - 336 с. (19 экз.) (наличие в библиотеке ТУСУР - 19 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Черкашин М. В.. Интегральные схемы СВЧ диапазона (Методические указания по практическим занятиям и самостоятельной работе)[Электронный ресурс] : учебно-метод. пособие /М. В . Черкашин ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск), кафедра КСУП. - Электрон. текстовые дан. - Томск : 2018, ТУСУР, 2018.-37 стр. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://new.kcup.tusur.ru/library/integralnye-shemy-svch-diapazona (дата обращения: 04.07.2018).

2. Зыков Д.Д. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Лабораторный практикум. Томск: ТУСУР, 2012. — 13 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://yadi.sk/i/wJZryDor3YZxj4 (дата обращения: 04.07.2018).

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;

Согласована на портале № 35137

– в печатной форме.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. 1. https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh
2. 2. http://protect.gost.ru/
3. 3. https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh/uis-rossiya
4. 4. https://elibrary.ru/defaultx.asp
5. 5. http://www.tehnorma.ru

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;
- 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 лабораторных работ

Лаборатория информационных технологий

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для самостоятельной работы

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 323 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- ПТК На базе IBM PC/AT (4 шт.);
- ПЭВМ DURON SWS 40;
- ПЭВМ IBM PC-XT;

Согласована на портале № 35137

- ПЭВМ IBM/PC-386;
- ПЭВМ VIVO D 133 (2 шт.);
- КомпьютерP WS2;
- ПЭВМ "AMSTRAD";
- Доска маркерная;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:
- Far Manager
- MatLab&SimulinkR2006b
- Microsoft EXCEL Viewer
- Microsoft PowerPoint Viewer
- Microsoft Visual Studio 2013 Professional
- OpenOffice 4

13.1.4. 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 № 35137

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. Трансляционная симметрия это

а) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы не изменяются при сдвиге на определённый вектор, который называется вектором трансляции.

б) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы не изменяются при повороте на определённый угол.

в) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы не изменяются при сдвиге на любой вектор, который называется вектором сдвига.

г) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы изменяются при сдвиге на определённый вектор, который называется вектором трансляции.

2. Решеткой Браве называют

а) Параллелепипед, построенный на основных векторах трансляции.

б) Параллелепипед, построенный на трех любых векторах трансляции.

в) Трансляционную группу, ограниченной кристаллической решётки.

г) Набор элементарных трансляций или трансляционную группу, которыми может быть получена вся бесконечная кристаллическая решётка.

3. Элементарная ячейка решётки Браве

а) Параллелепипед, построенный на трех любых векторах трансляции.

б) Параллелепипед, построенный на основных векторах трансляции.

в) Набор элементарных трансляций или трансляционную группу, которыми может быть получена вся бесконечная кристаллическая решётка.

г) Трансляционную группу, ограниченной кристаллической решётки.

4. Индексы Миллера

а) Характеризуют вектор определяемый координатами пересечения атомных плоскостей с осями координат.

б) Характеризуют вектор построенный на любых векторах трансляции.

в) Кристаллографические индексы (h,k,l), характеризующие расположение атомных плоскостей в кристалле.

г) Характеризуют ориентацию кристалла.

5. Какая статистика используется для описания электронов и дырок в полупроводнике?

а) Классическая

б) Максвелла-Больцмана

в) Бозе-Эйнштейна

г) Ферми-Ирака

6. Чему равна концентрация равновесных носителей электрического заряда в собственном невырожденном полупроводнике.

а) ni=p0=n0

б) Nd+Na

в) Nd+n+Na+p

г) n0+p0

7. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике

а) Вблизи дна зоны проводимости

Согласована на портале № 35137

б) В середине запрещенной зоны
в) Вблизи потолка валентной зоны
г) Вне зоны проводимости
8. Положение уровня Ферми в полупроводнике электронного типа проводимости.

а) Вблизи дна зоны проводимости
б) В середине запрещенной зоны
в) Вблизи потолка валентной зоны
г) Вне зоны проводимости
9. Положение уровня Ферми в полупроводнике дырочного типа проводимости.

а) Вблизи дна зоны проводимости
б) В середине запрещенной зоны
в) Вблизи потолка валентной зоны
г) Вне зоны проводимости
10. Электрофизические характеристики p-n -перехода

а) Высота барьера fib.
б) Протяженность области пространственного заряда (ОПЗ) W.
в) Электрический заряд ОПЗ Q.
г) Резкость p-n -перерхода.
д) Все вышеперечисленное
11. Статические приборные характеристики контактов металл-полупроводник с барьером Шоттки

а) Ток насыщения Is, показатель идеальности (неидеальности) n.
б) Последовательное сопротивление Rs, пробивное напряжение Uп
в) Емкость контакта C
г) Все вышеперечисленное.
12. Какой кривой описывается вольт-амперная характеристика омического контакта

а) Нелинейной
б) Периодической
в) Линейной
г) Любой из вышеперечисленных
13. Энергетические характеристики гетероперехода

а) Разрыв зон dE, концентрация подвижных носителей электрических зарядов, концентрация легирующей примеси.
б) Ширины запрещенных зон Eg1 и Eg2, положение уровней Ферми EF1 и EF2, электронное сродство X1 и X2.
в) Теплоемкость, тепловое сопротивление, энтальпия.
г) Механические напряжения и теплота образования гетероперехода
14. Понятие модели

а) Модель – это искусственная упрощенная система, отражающая ограниченный набор выбранных свойств изучаемого объекта.
б) Модель – это существующая независимо от внешнего наблюдателя система, отражающая ограниченный набор выбранных свойств изучаемого объекта.
в) Модель – это максимально полный набор выбранных свойств изучаемого объекта.
г) Модель – это система с набором выбранных свойств изучаемого объекта.
15. Основные виды моделей применяемых при описании работы полупроводниковых приборов и устройств.

Согласована на портале № 35137

а) Физические, компактные, поведенческие и аппаратные
б) Термополевая модель
в) Физико0математические модели
г) Баллистическая модель
16. Первая часть теоремы Бэкингема

а) Любое уравнение можно преобразовать к соотношению, содержащему набор безразмерных комбинаций величин.
б) Если существует однозначное соотношение f(A1, A2, …, An)=0 между n – физическими величинами, для описания которых используется k основных единиц, то существует также соотношение f(П1, П2, …, Пn–k)=0 между (n – k) безразмерными комбинациями, составленными из этих физических величин.
в) Если какое–либо уравнение однородно относительно размерностей, то его можно преобразовать к соотношению, содержащему набор безразмерных комбинаций величин.
г) Если какое–либо уравнение однородно относительно размерностей, то его можно преобразовать к соотношению, содержащему только набор размерных комбинаций величин.
17. Основные модели переноса электрических зарядов в полупроводниковых гетероструктурах

а) Термодинамическая.
б) Дрейфово-диффузионная.
в) Гидродинамическая.
г) Баллистическая.
д) Все вышеперечисленные
18. Основные конструкции полевых транзисторов

а) С изолированным затвором
б) МДП-транзисторы
в) управляемых p-n-переходом
г) Транзисторы с затвором Шоттки
д) Все вышеперечисленные
19. Методы моделирования технологических процессов

а) материальные и идеальные
б) физические
в) математические
г) имитационные и аналитические
20. Соотношение Эйнштейна-Молуховского.

а) D=a^2/t
б) <r^2>=D*t
в) <r>=0
г) n*p=ni^2

14.1.2. Экзаменационные вопросы

Трансляционная симметрия
Решетки Браве
Индексы Миллера
Энергетический спектр электронов в изолированном атоме
Энергетический спектр электронов в кристалле
Функция Блоха
Эффективная масса носителей электрического заряда в кристаллических полупроводниках
Плотность квантовых состояний
Функции распредедения Ферми-Дирака и Максвела-Больцмана
Концентрация равновесных носителей электрического заряда

Согласована на портале № 35137

Уравнение электронейтральности
Уровень Ферми в собственном полупроводнике
Квазиуровни Ферми
Условия для формирования гетеропереходов
Типы гетеропереходов
Гетероэпитаксиальные структуры. Поляризационные эффекты
Зонная диаграмма
Типы гетероэпитаксиальных (ГЭС) структур
Основные уравнения. Стационарный и нестационарный случаи
Численные методы расчета зонных характеристик
Основные модели переноса электрических зарядов
Классификация полевых транзисторов (ПТ)
Физические основы технологических процессов изготовления ПТ
Конструктивные особенности ПТ
Статические электрические характеристики ПТ. Параметры.
Температурные свойства ПТ
Классификация моделей ПТ
Физическая модель HEMT.
Численные методы решения систем линейных нестационарных уравнений в частных производных.
Основные положения теории дифракции
Виды литографии и способы формирования изображений
Основные технологические процессы нанолитографии
Понятие модели
Основные виды моделей
Теорема Бэкигнгема
Модель случайных блужданий
Моделирование распределения вещества в реальных объектах при наличии внешнего воздействия
Примеры моделирования реальных технологических процессов.

14.1.3. Темы докладов

Технология нанолитографии

Физико-математические модели технологических процессов

Алгоритмы и методы физического моделирования технологических процессов

14.1.4. Темы опросов на занятиях

Зонная теория кристаллических полупроводников

Статистика электронов и дырок

Гетеропереходы и гетероэпитаксиальные структуры

14.1.5. Вопросы на самоподготовку

Энергетические характеристики гетероэпитаксиальных структур

Основные конструкции полевых транзисторов

Модели HEMT

Методы расчета электрических характеристик HEMT

14.1.6. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Определение типа гетероперехода
Проектирование HEMT-транзистора

Согласована на портале № 35137

Моделирование технологического процесса

14.1.7. Темы лабораторных работ

Определить кристаллографическую ориентацию конкретной полупроводниковой гетероэпитаксиальной структуры.

Моделирование статических и СВЧ-характеристик HEMT

Моделирование технологических процессов.

14.2. 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 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;

Согласована на портале № 35137

– 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 № 35137