

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

Документ подписан электронной подписью
Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Владелец: Троян Павел Ефимович
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Гетероструктурные полупроводниковые приборы

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 2018 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	1 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	часов
2	Практические занятия	12	12	часов
3	Всего аудиторных занятий	30	30	часов
4	Из них в интерактивной форме	10	10	часов
5	Самостоятельная работа	78	78	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

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 №_____.

Разработчик:

Доцент каф. ФЭ _____ Ю. В. Сахаров

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

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

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

1.2. Задачи дисциплины

- Изучить современное состояние, проблемы и тенденции развития гетероструктурной электроники.
- Изучить конструкцию, технологию изготовления и характеристики современных приборов гетероструктурной электроники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Гетероструктурные полупроводниковые приборы» (Б1.В.ОД.3.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники, История и методология науки и техники в области электроники, Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники.

Последующими дисциплинами являются: Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС, Приборно-технологическое моделирование, Технология кремниевой нанoeлектроники.

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 нанoeлектроники, 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;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** свойства полупроводниковых материалов группы АІІІВV и особенности гетероструктур на их основе; типы приборных структур и интегральных схем на материалах группы; основные характеристики приборов и схем, отличающие их от приборов на других материалах; основные технологические маршруты, используемые в производстве приборов и ИС для конкретных материалов; основные тенденции развития приборов и схем на изучаемых материалах и тенденции развития технологий;
- **уметь** осуществлять выбор последовательности технологических операций, необходимых для изготовления требуемого элемента или топологического слоя структуры на заданном материале
- **владеть** навыками расчета основных характеристик гетеробиполярных транзисторов НВТ и полевых транзисторов на гетероструктурах (HEMT, PHEMT, MHEMT); навыками разработки базовых технологических маршрутов для создания монолитных интегральных схем на разных приборах

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

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

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		1 семестр
Аудиторные занятия (всего)	30	30

Лекции	18	18
Практические занятия	12	12
Из них в интерактивной форме	10	10
Самостоятельная работа (всего)	78	78
Подготовка к контрольным работам	12	12
Выполнение индивидуальных заданий	24	24
Проработка лекционного материала	18	18
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	24	24
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 Полевые гетероструктурные транзисторы и МИС на их основе	6	2	26	34	ПК-1, ПК-4
2 Гетеробиполярные транзисторы и МИС на их основе	6	8	26	40	ПК-1, ПК-4
3 Оптоэлектронные приборы на гетероструктурах	6	2	26	34	ПК-1, ПК-4
Итого за семестр	18	12	78	108	
Итого	18	12	78	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 Полевые гетероструктурные транзисторы и МИС на их основе	Низкоразмерные структуры. Квантовые ямы, квантовые точки, квантовые нити. Понятие гетероперехода. Виды гетеропереходов. Их свойства и применение. Физика работы полевого гетероструктурного транзистора. Основные характеристики НЕМТ, рНЕМТ, mНЕМТ-транзисторов. Характе-	6	ПК-1, ПК-4

	ристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на pHEMT и mHEMT.		
	Итого	6	
2 Гетеробиполярные транзисторы и МИС на их основе	Физика работы биполярного гетероструктурного транзистора. Основные характеристики HBT-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на HBT.	6	ПК-1, ПК-4
	Итого	6	
3 Оптоэлектронные приборы на гетероструктурах	Светодиоды на гетероструктурах на основе GaAs, GaN. Гетероструктурные лазеры. Квантово - каскадные лазеры. ИК-фотоприемники на основе гетероструктур. Лавинные фотодиоды на основе гетероструктур. Солнечные батареи. Детекторы излучений. Конструкции светодиодов из разных материалов. Конструкции солнечных батарей и лазеров. Технологические маршруты создания, конструктивные и технологические особенности оптоэлектронных приборов из разных материалов.	6	ПК-1, ПК-4
	Итого	6	
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
Предшествующие дисциплины			
1 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	+	+	+
2 История и методология науки и техники в области электроники	+	+	+
3 Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники	+	+	+
Последующие дисциплины			
1 Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС	+	+	+
2 Приборно-технологическое моделирование	+	+	+
3 Технология кремниевой нанoeлектроники	+	+	+

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, Отчет по индивидуальному заданию, Опрос на занятиях, Выступление (доклад) на занятии, Тест
ПК-4	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Опрос на занятиях, Выступление (доклад) на занятии, Тест

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			
Выступление в роли обучающего		4	4
Приглашение специалистов		2	2
Выступление в роли обучающего	4		4
Итого за семестр:	4	6	10
Итого	4	6	10

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 Полевые гетероструктурные транзисторы и МИС на их основе	Зонные диаграммы изотропных и анизотропных гетеропереходов	2	ПК-1, ПК-4
	Итого	2	
2 Гетеробиполярные	Распределение напряженности электрического	2	ПК-1, ПК-

транзисторы и МИС на их основе	поля в гетеропереходе		4
	Контактная резкость потенциалов в гетеропереходе	2	
	Электрическая емкость гетеропереходов	2	
	Вольтамперные характеристики гетеропереходов	2	
	Итого	8	
3 Оптоэлектронные приборы на гетероструктурах	Светодиоды и лазеры на гетероструктурах	2	ПК-1, ПК-4
	Итого	2	
Итого за семестр		12	

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 Полевые гетероструктурные транзисторы и МИС на их основе	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	8	ПК-1, ПК-4	Выступление (доклад) на занятии, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	6		
	Выполнение индивидуальных заданий	8		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	26		
2 Гетеробиполярные транзисторы и МИС на их основе	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	8	ПК-1, ПК-4	Выступление (доклад) на занятии, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	6		
	Выполнение индивидуальных заданий	8		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	26		
3 Оптоэлектронные приборы на гетероструктурах	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	8	ПК-1, ПК-4	Выступление (доклад) на занятии, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	6		

	Выполнение индивидуальных заданий	8		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	26		
Итого за семестр		78		
Итого		78		

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	5	5	5	15
Контрольная работа	10	10	10	30
Опрос на занятиях	5	5	5	15
Отчет по индивидуальному заданию			20	20
Тест		10	10	20
Итого максимум за период	20	30	50	100
Нарастающим итогом	20	50	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	В (очень хорошо)
	75 - 84	С (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	Е (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Технология кремниевой наноэлектроники [Текст] : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)
2. Айзенштат Г.И. Гетероструктурные полупроводниковые приборы: учебн. пособие. – Ч. 1. – Томск: ТУСУР, 2013. – 53 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Aizenshtat/GPP_lec.pdf (дата обращения: 26.06.2018).
3. Наноэлектроника: учебное пособие для вузов / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 224 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Наноэлектроника: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/537> (дата обращения: 26.06.2018).
2. Полевые транзисторы на арсениде галлия: Принципы работы и технология изготовления : Пер. с англ. / П. Ф. Линдквист, У. М. Форд, Л. Холлан и др.; Ред. Д. В. Ди Лоренцо, Ред. Д. Д. Канделуола, Ред. пер. Г. В. Петров. - М. : Радио и связь, 1988. - 494 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 23 экз.)
3. Основы наноэлектроники : учебное пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М. : Физматкнига ; М. : Логос ; М. : Университетская книга, 2006. - 494 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Айзенштат Г.И. Гетероструктурные полупроводниковые приборы: учебно-методическое пособие по аудиторным практическим и семинарским занятиям и самостоятельной работе для студентов, обучающихся по направлению 210100 «Электроника и наноэлектроника». – Томск: ТУСУР, 2013. – 44 с [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Aizenshtat/GPP_pract.pdf (дата обращения: 26.06.2018).

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. <https://elibrary.ru> - научная электронная библиотека
2. <https://edu.tusur.ru> - научно - образовательный портал ТУСУРа
3. <https://materials.springer.com> - это самая полная база данных, описывающая свойства и характеристики материалов. Она аккумулирует информацию из таких дисциплин, как материаловедение, физика, физическая и неорганическая химия, машиностроение и др

12.5. Периодические издания

1. Нано-и микросистемная техника : междисциплинарный теоретический и прикладной научно-технический журнал/ Российская Академия Наук (М.), Отделение нанотехнологий и информационных технологий ; Российская Академия Наук (М.), Отделение нанотехнологий и информационных технологий.
2. Российские нанотехнологии / Федеральное агентство по науке и инновациям РФ (М.), Парк-медиа ; Федеральное агентство по науке и инновациям РФ (М.), Парк-медиа. - М.

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

Компьютерный класс

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 227 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер в сборке №2 (26 шт);
- Проектор Асер;
- Экран для проектора настенный;
- Ноутбук;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Free Pascal
- Google Chrome
- Mathworks Matlab
- PTC Mathcad13, 14
- PascalABC

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.

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. Задачей буферного слоя в приборах гетероструктурной электроники является:

- а) обеспечение структурного перехода от полуизолирующей подложки к совершенной структуре канального слоя.
- б) необходимостью уменьшения центров рассеяния носителей заряда
- в) необходимостью получения выпрямляющего контакта Шоттки
- г) уменьшение величины рассогласования постоянных решеток

2. Высоколегированный полупроводниковый слой на поверхности полупроводниковой структуры транзисторов с высокой подвижностью НЕМТ:

- а) увеличения подвижности носителей заряда
- б) формирования выпрямляющего контакта Шоттки
- в) формирования омического контакта
- г) снижения паразитных емкостей

3. Какой из методов эпитаксии может быть использован при изготовлении транзисторов с высокой подвижностью НЕМТ:

- а) молекулярно – лучевая

- б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD)
- в) жидкостная
- г) газовая

4. Какой квантовый эффект лежит в основе работы оптических модуляторов на основе гетероструктур?

- а) эффект Зеемана
- б) эффект Джозефсона
- в) эффект Холла
- г) эффект Штарка

5. В каком из видов транзисторов с высокой подвижностью НЕМТ используется сложный буферный слой:

- а) НЕМТ
- б) псевдоморфный (pHEMT)
- в) метаморфный mHEMT
- г) во всех вышеперечисленных

6. Какой из видов транзисторов с высокой подвижностью НЕМТ обладает более лучшими частотными свойствами:

- а) НЕМТ
- б) псевдоморфный (pHEMT)
- в) метаморфный mHEMT
- г) имеют одинаковые частотные свойства

7. При каком из типов начальной стадии роста, возникающих при осаждении атомов на подложку из газовой фазы, происходит формирование квантовых точек:

- а) Франка- Ван дер Мерве (слоевой рост)
- б) Странского – Крастанова (промежуточный тип)
- в) Фольмера – Вебера (островковый рост)
- г) При всех перечисленных

8. Как изменится поверхностная плотность квантовых точек при увеличении температуры подложки в процессе осаждения:

- а) увеличится
- б) уменьшится
- в) останется постоянной
- г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от осаждаемых материалов.

9. Как измениться длина волны излучения светодиода, изготовленного на основе гетероструктуры с квантовыми ямами, при уменьшении их толщины:

- а) уменьшится
- б) увеличится
- в) останется постоянной
- г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от материалов гетероструктуры.

10. Максимальное различие постоянных решеток для материалов входящих в гетероструктуру не должно превышать:

- а) 1 %
- б) 0,1 %
- в) 5 %
- г) 8 %

11. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых точках:

- а) только по направлению X
- б) только по направлению Y
- в) только по направлению Z
- г) по направлениям XYZ

12. Максимальная толщина квантовой ямы двойной гетероструктуры не должна превышать:

- а) 100 нм
- б) длину волны Де Бройля для электрона в квантовой яме
- в) длину когерентности
- г) 10 нм

13. Какое минимальное количество энергетических уровней должно быть в квантовой яме двойной гетероструктуры:

- а) 0
- б) 1
- в) 4
- г) 9

14. Нормально закрытый транзистор с высокой подвижностью НЕМТ характеризуется:

- а) протеканием тока стока при нулевом напряжении на затворе
- б) отсутствием тока стока при нулевом напряжении на затворе
- в) отсутствием тока через затвор при приложении напряжения между стоком и истоком
- г) малыми токами утечки

15. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых пленках:

- а) по направлениям X и Y
- б) только по направлению Y
- в) только по направлению Z
- г) по направлениям X и Z

16. В какой гетероструктуре наблюдается наименьшее рассогласование постоянных решетки?

- а) GaAs/AlAs
- б) AlN/InN
- в) InP/GaP
- г) GaAs/InAs

17. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых нитях (шнурах):

- а) по направлениям X и Y
- б) по направлению Y и Z
- в) только по направлению Z
- г) по направлениям X и Z

18. Излучение квантового каскадного лазера лежит в диапазоне:

- а) 0,4 – 0,8 мкм
- б) 0,1 – 0,4 мкм
- в) 2,5 – 13 мкм
- г) 0,8 -1,1 мкм

19. Достоинство светодиодов и лазеров на основе квантовых точек (в сравнении с квантовыми ямами):

- а) меньшая пороговая плотность тока
- б) возможность плавного изменения длины волны излучения

- в) меньший температурный диапазон работы
- г) все вышеперечисленные

20. Какой из методов эпитаксии может быть использован при изготовлении квантовых каскадных лазеров:

- а) молекулярно – лучевая
- б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD)
- в) жидкостная
- г) газовая

14.1.2. Темы докладов

1. Конструкции современных pHEMT транзисторов. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
2. Конструкции современных mHEMT транзисторов. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
3. Оптические модуляторы на эффекте Штарка. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
4. Квантовые каскадные лазеры на основе гетероструктур. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
5. Светодиоды и лазеры на основе гетероструктур ИК-диапазона. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
6. Светодиоды и лазеры на основе гетероструктур УФ-диапазона. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
7. Светодиоды и лазеры на основе GaN. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
8. Светодиоды белого света. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические и оптические параметры. Применение.
9. ИК-фотоприемники на основе гетероструктур. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
10. Биполярного гетероструктурный транзистор (HBT). Материалы и технологии, применяемые при изготовлении. Технология изготовления. Электрические параметры. Применение.
11. Методы получения затворов с размерами 50-нм в технологии создания полевых транзисторов на гетеропереходах.
12. Сравнительный анализ существующих гетероструктурных полевых транзисторов.
13. Методы измерения СВЧ-характеристик транзисторов.
14. Последние достижения в области создания полупроводниковых лазеров.
15. Мощные светодиоды на GaN.
16. Области применения СВЧ-транзисторов с предельными частотами до терагерц.

14.1.3. Темы опросов на занятиях

Низкоразмерные структуры. Квантовые ямы, квантовые точки, квантовые нити. Понятие гетероперехода. Виды гетеропереходов. Их свойства и применение. Физика работы полевого гетероструктурного транзистора. Основные характеристики HEMT, pHEMT, mHEMT-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на pHEMT и mHEMT.

Физика работы биполярного гетероструктурного транзистора. Основные характеристики HBT-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на HBT.

Светодиоды на гетероструктурах на основе GaAs, GaN. Гетероструктурные лазеры. Квантово - каскадные лазеры. ИК-фотоприемники на основе гетероструктур. Лавинные фотодиоды на основе гетероструктур. Солнечные батареи. Детекторы излучений. Конструкции светодиодов из разных материалов. Конструкции солнечных батарей и лазеров. Технологические маршруты создания, конструктивные и технологические особенности оптоэлектронных приборов из разных материалов.

14.1.4. Темы индивидуальных заданий

Тема индивидуального задания (пример). Полный список вариантов, а также текст заданий приведен в учебно- методическом пособии.

Вариант №1

Светодиод синего спектра с длиной волны 450 нм.

Содержание индивидуального задания:

1. Выбор материалов кристалла и контактов.
2. Расчет конструкции светодиода, выбор конструкции контактов и корпуса.
3. Расчет электрических и оптических характеристик светодиода.
4. Разработка технологического маршрута изготовления.

14.1.5. Темы контрольных работ

Тема контрольной работы №1 (пример). Полный список вариантов, а также текст заданий приведен в учебно- методическом пособии.

1. Используя данные из приложения, определите по обобщенному правилу Вегарда составы $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, которые без напряжений могут быть выращены на подложке InP .

2. Используя правило Андерсона вычислите разрывы зоны проводимости и валентной зоны для гетероперехода а) GaAs-AlAs и б) InAs-GaSb

3. Рассчитайте контактную разность потенциалов $n\text{-}n^+$ -гомоперехода, сформированного на контакте двух кристаллов с уровнем легирования $5\text{E}+14$ и $5\text{E}+16 \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре

Тема контрольной работы №2 (пример). Полный список вариантов, а также текст заданий приведен в учебно- методическом пособии.

1. Определить длину волны излучения для светодиода на основе ДГС AlAs/AlGaAs/AlAs . Толщина барьеров составляет 10 нм, толщина квантовой ямы составляет 6 нм.

2. Определить толщину квантовой ямы для сверхрешетки на основе GaAs/GaInAs/GaAs при которой она может быть использована для модуляции излучения Nd:YAG лазера с длиной волны 1,064 мкм.

3. Рассчитайте выходные ВАХ гетеробиполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ, для значений базового тока в диапазоне от 1 до 11 мкА с шагом 2 мкА.

14.1.6. Зачёт

1. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение.

2. Низкоразмерные структуры. Квантовые ямы, квантовые точки, квантовые нити.

3. Понятие гетероперехода. Виды гетеропереходов. Их свойства и применение. Технологии изготовления.

4. Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны.

5. Физика работы полевого гетероструктурного транзистора.

6. Основные характеристики НЕМТ, рНЕМТ, mНЕМТ-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры.

7. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на рНЕМТ и mНЕМТ.

8. Физика работы биполярного гетероструктурного транзистора.

9. Основные характеристики НВТ-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры.

10. Конструктивные и технологические особенности транзисторов.

11. СВЧ интегральные схемы на НВТ.

12. Светодиоды на гетероструктурах на основе GaAs , GaN . Конструкции светодиодов из разных материалов.

13. Гетероструктурные лазеры. Квантово - каскадные лазеры.

14. ИК-фотоприемники на основе гетероструктур.

15. Лавинные фотодиоды на основе гетероструктур.

16. Солнечные батареи. Конструкции солнечных батарей.

17. Детекторы излучений. Конструкции солнечных батарей и лазеров.

18. Технологические маршруты создания, конструктивные и технологические особенности оптоэлектронных приборов из разных материалов.

19. Оптические модуляторы на эффекте Штарка. Конструкция. Энергетическая диаграмма.

Принцип работы.

20. Резонансно туннельный транзистор. Конструкция. Принцип работы. ВАХ.

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;
- 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.