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

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

Согласована на портале № 33894

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

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

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

Согласована на портале № 33894

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 наноэлектроники.

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 наноэлектроники, 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 наноэлектроники.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

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

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

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** свойства полупроводниковых материалов группы AIIIBV 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 HBT и полевых транзисторов на гетероструктурах (HEMT, PHEMT, MHEMT); навыками разработки базовых тех-нологических 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

Согласована на портале № 33894

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 гетеро-структурах	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 HEMT, pHEMT, mHEMT-транзисторов. Характе-	6	ПК-1, ПК-4

Согласована на портале № 33894

	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 наноэлектроники	+	+	+
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 наноэлектроники	+	+	+

Согласована на портале № 33894

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-

Согласована на портале № 33894

транзисторы и МИС на их основе	поля в гетеропереходе		4
	Контактная резкость потенциалов в гетеропереходе	2	
	Электричекая 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		

Согласована на портале № 33894

	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)

Согласована на портале № 33894

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. 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;

Согласована на портале № 33894

– 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 Acer;
- 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.

Согласована на портале № 33894

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 HEMT:

а) увеличения подвижности носителей заряда

б) формирования выпрямляющегоконтакта Шоттки

в) формирования омического контакта

г) снижения паразитных емкостей

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

а) молекулярно – лучевая

Согласована на портале № 33894

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 HEMT используется сложный буферный слой:
а) HEMT
б) псевдоморфный (pHEMT)
в) метаморфный mHEMT
г) во всех вышеперчисленных

6. Какой из видов транзисторов с высокой подвижностью HEMT обладает более лучшими частотными свойствами:
а) HEMT
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:

Согласована на портале № 33894

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 HEMT 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 решеток?
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

Согласована на портале № 33894

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). атериалы 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.

Согласована на портале № 33894

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 InxGa1-xAs и InxAl1-xAs, 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-n+ -гомоперехода, сформированного на контакте двух кристаллов с уровнем легирования 5E+14 и 5E+16 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 HEMT, pHEMT, mHEMT-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры.
7. Конструктивные и технологические особенности транзисторов. СВЧ интегральные схемы на pHEMT и mHEMT.
8. Физика работы биполярного гетероструктурного транзистора.
9. Основные характеристики HBT-транзисторов. Характеристики транзисторов в зависимости от материалов гетероструктуры.
10. Конструктивные и технологические особенности транзисторов.
11. СВЧ интегральные схемы на HBT.
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.

Согласована на портале № 33894

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.

Согласована на портале № 33894

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

Согласована на портале № 33894