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

Полупроводниковая оптоэлектроника

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Квантовая и оптическая электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ЭП, Кафедра электронных приборов**
Курс: **1, 2**
Семестр: **1, 3**
Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	1 семестр	3 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	36	часов
2	Практические занятия	18	34	52	часов
3	Курсовой проект / курсовая работа	0	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	36	68	104	часов
5	Самостоятельная работа	36	40	76	часов
6	Всего (без экзамена)	72	108	180	часов
7	Общая трудоемкость	72	108	180	часов
		2.0	3.0	5.0	З.Е.

Зачет: 1 семестр
Дифференцированный зачет: 3 семестр
Курсовой проект / курсовая работа: 3 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 41823

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 66 от «20» 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 ЭП «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

профессор каф. ЭП	_____	В. Н. Давыдов
Заведующий обеспечивающей каф. ЭП	_____	С. М. Шандаров

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. ЭП	_____	С. М. Шандаров

Эксперты:

профессор тусур, кафедра ЭП	_____	Л. Н. Орликов
Доцент кафедры электронных приборов (ЭП)	_____	А. И. Аксенов

Согласована на портале № 41823

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является приобретение студентами знаний по физическим основам функционирования приборов квантовой электроники, оптической микро- и наноэлектроники, об их основных параметрах и характеристиках, условиях применения, а также приобретение навыков решения типовых задач по расчету параметров перечисленных приборов в приложении к научных и прикладным исследованиям и разработкам.

1.2. Задачи дисциплины

– изучение студентами знаний о физических процессах, происходящих в квантовых системах в условиях нарушения термодинамического равновесия, полупроводниковом материале и структурах на его основе, в том числе наноразмерных;

– изучение принципов работы современных приборов квантовой электроники, опто- и наноэлектроники по генерации, приему и преобразованию оптического излучения;

– изучение и освоение студентами современных методов описания и анализа электронных и оптических процессов в полупроводниковых гетероструктурах;

– освоение студентами подходов к решению типовых задач по расчету параметров приборов квантовой электроники и оптоэлектроники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Полупроводниковая оптоэлектроника» (Б1.В.ОД.3.4) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Интегральная оптоэлектроника, Фоторефрактивная и нелинейная оптика, Полупроводниковая оптоэлектроника.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к защите и процедуру защиты, Преддипломная практика, Полупроводниковая оптоэлектроника.

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** физическое содержание энергетического спектра квантовых систем и структур, основные параметры, описывающие состояние этих систем и структур, а также физические процессы, приводящие как к неравновесному их состоянию, так и процессы, направленные на достижение равновесного состояния; типы, архитектуру и физические принципы работы квантовых и оптоэлектронных полупроводниковых приборов для регистрации оптического излучения, его генерации и преобразования на основе кристаллических приборов и гетероструктур;

– **уметь** предвидеть возможности изменения электрических и оптических свойств квантовых и оптоэлектронных структур за счет введения в их архитектуру дополнительных микро-или наноэлементов, изменения топологии, геометрии или режимов работы; рассчитывать основные параметры и характеристики источников некогерентного и когерентного излучения, изготовленных из газообразных и твердотельных материалов, а также фотодекторов, и делать вывод о применимости их для решения инженерно-технической задачи; оценивать пригодность материала для изготовления эффективных светодиодов, лазеров и других приборов квантовой электроники и оптоэлектроники;

– **владеть** способностью к обобщению, анализу и восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения при решении задач создания приборов квантовой электроники

Согласована на портале № 41823

и оптоэлектроники; физическим и математическим аппаратом современной оптической наноэлектроники, ее основными технологическими методами изготовления приборов; навыками по организации и проведению экспериментальных исследований приборов квантовой оптики и оптоэлектроники; навыками и методами проектирования и компьютерного моделирования приборов квантовой электроники и оптоэлектроники в микро- или наноэлектронном исполнении.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры	
		1 семестр	3 семестр
Аудиторные занятия (всего)	104	36	68
Лекции	36	18	18
Практические занятия	52	18	34
Курсовой проект / курсовая работа	16	0	16
Самостоятельная работа (всего)	76	36	40
Выполнение курсового проекта / курсовой работы	12	0	12
Проработка лекционного материала	17	8	9
Написание рефератов	16	16	0
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	31	12	19
Всего (без экзамена)	180	72	108
Общая трудоемкость, ч	180	72	108
Зачетные Единицы	5.0	2.0	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	КП/КР, ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр						
1 Основные понятия теории наносистем	4	4	0	8	16	ПК-1, ПК-4
2 Элементы зонной теории квантовых наносистем	4	6	0	11	21	ПК-1, ПК-4
3 Полупроводниковые квантовые нанострукруры	5	6	0	8	19	ПК-1, ПК-4
4 Полупроводниковые квантовые сверхрешетки	5	2	0	9	16	ПК-1, ПК-4
Итого за семестр	18	18	0	36	72	

Согласована на портале № 41823

3 семестр						
5 Электрический ток в квантовых нано-структурах и сверхрешетках	3	2	16	6	11	ПК-1, ПК-4
6 Оптические свойства квантовых на-ноструктур	3	6		6	15	ПК-1, ПК-4
7 Электронные приборы на основе квантовых наноструктур.	2	10		9	21	ПК-1, ПК-4
8 Оптоэлектронные приборы на основе квантовых наноструктур	4	8		9	21	ПК-1, ПК-4
9 Методы получения квантовых нано-струк-тур и сверхрешеток	4	4		5	13	ПК-1, ПК-4
10 Перспективные наноматериалы по-лупроводниковой оптоэлектроники	2	4		5	11	ПК-1, ПК-4
Итого за семестр	18	34	16	40	108	
Итого	36	52	16	76	180	

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 Основные понятия теории наносистем	Корпускулярно-волновой дуализм и принцип Гей-зенберга. Размерные эффекты в твердых телах. Понятие наносистем. Харакерные длины в мезо-скопических системах: длина волны де Бройля, длина свободного пробега, длина экрани-рования, длина локализации, длина квантово-механической когерентности. Понятия квантовой ямы, квантовой проволоки, квантовой точки.	4	ПК-1, ПК-4
	Итого	4	
2 Элементы зонной теории квантовых наносистем	Зонная теория Блоха для трехмерных систем. Зон-ная модель квантовой ямы различной формы: пря-моугольной, параболической, треугольной. Плот-ность состояний в квантовой яме. Зонная модель квантовой проволоки. Плотность состояний в квантовой проволоке. Зонная модель квантовой точки. Плотность состояний в квантовой точке.	4	ПК-1, ПК-4
	Итого	4	
3 Полупроводниковые квантовые наноструккуры	Структуры полевых МОП-транзисторов. Гетеропе-реходы с модулированным легированием. Напря-женные гетероструктуры на снове SiGe. Модули-рованно-легированные квантовые ямы. Множе-ственные квантовые ямы. Роль упругих напряже-ний в спектре квантовых объектов. Экситонные	5	ПК-1, ПК-4

Согласована на портале № 41823

	эффекты в квантовых ямах.		
	Итого	5	
4 Полупроводниковые квантовые сверхрешетки	Концепция сверхрешеток. Зонная модель сверхрешетки: модель Кронига-Пенни, приближение сильной связи, зонный спектр и плотность состояний в сверхрешетке. Типы сверхрешеток, особенности структры и свойств.	5	ПК-1, ПК-4
	Итого	5	
Итого за семестр		18	
3 семестр			
5 Электрический ток в квантовых наноструктурах и сверхрешетках	Продольный и поперечный перенос электронов в наноструктурах: механизмы рассеяния, отличия от трехмерных систем. Продольный перенос горячих носителей. Поперечный перенос: резонансное туннелирование, квантовая проводимость, формула Ландауэра, кулоновская блокада.	3	ПК-1, ПК-4
	Итого	3	
6 Оптические свойства квантовых наноструктур	Оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток. Оптические свойства квантовых точек и нанокристаллов: уширение запрещенной зоны, оптические переходы, повышение силы осцилляторов, уширение спектров. Квантово-размерный эффект Штарка. Лестницы Штарка и осцилляции Блоха в сверхрешетках	3	ПК-1, ПК-4
	Итого	3	
7 Электронные приборы на основе квантовых наноструктур.	Модуляционно-легированные полевые транзисторы. Биполярные транзисторы на гетеропереходах. Диоды с резонансным туннелированием. Транзисторы на горячих электронах. Транзисторы с резонансным туннелированием. Одноэлектронные транзисторы.	2	ПК-1, ПК-4
	Итого	2	
8 Оптоэлектронные приборы на основе квантовых наноструктур	Светодиоды на основе гетероструктур с множственными квантовыми ямами. Лазеры на гетероструктурах и на квантовых точках. Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором. Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами. Фотодиоды на подзонах квантовых ям. Лавинные фотодетекторы на MQW и сверхрешетках. Модуляторы на квантовых ямах	4	ПК-1
	Итого	4	
9 Методы получения квантовых наноструктур и сверхрешеток	Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Локальное окисление металлов и полупроводников. Нанокристаллы на стекле. Синтез в коллоидных системах. Газофазный метод. Самоорганизация квантовых точек. Нанолитографические методы.	4	ПК-1, ПК-4
	Итого	4	
10 Перспективные	Углеродные нанотрубки, фуллерены, пористый	2	ПК-1, ПК-

Согласована на портале № 41823

наноматериалы полупроводниковой оптоэлектроники	кремний, пористый оксид алюминия, биологические наноматериалы: строение, свойства, применение.		4
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		36	

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

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

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Предшествующие дисциплины										
1 Интегральная оптоэлектроника			+	+						
2 Фоторефрактивная и нелинейная оптика	+	+			+					
3 Полупроводниковая оптоэлектроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины										
1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к защите и процедуру защиты		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Преддипломная практика		+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Полупроводниковая оптоэлектроника					+	+	+	+	+	+

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.	КП/КР	Сам. раб.	
ПК-1	+	+	+	+	Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Зачет, Тест, Реферат, Дифференцированный зачет

Согласована на портале № 41823

ПК-4	+	+	+	+	Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Зачет, Тест, Реферат, Дифференцированный зачет

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

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 Основные понятия теории наносистем	Копускулярно-волновой дуализм. Решение задач на определение длины волны де Бройля, длины экранирования, длины свободного пробе-га, длины квантово-механической когерент-ности. Обсуждение понятия квантовой ямы, квантовой проволоки, квантовой точки.	4	ПК-1, ПК-4
	Итого	4	
2 Элементы зонной теории квантовых наносистем	Квантово-механический расчет Блоха энергетического спектра 3D полупроводника. Решение задач на определение энергетического спектра квантовой ямы различной формы (прямоугольной, параболической, треугольной) и его заполнения свободными носителями заряда. Решение задач на определение энергетического спектра квантовой проволоки и его заполнения носителями заряда. Решение задач на вычисление энергетического спектра квантовой точки и его заполнения свободными носителями заряда.	6	ПК-1, ПК-4
	Итого	6	
3 Полупроводниковые квантовые наноструктуры	Решение задач на определение параметров потенциальных барьеров в полевых МОП-транзисторах (Si, GaAs), гетеропереходах с модулированным легированием. Расчет величин тензоров упругих напряжений и деформаций в гетероструктурах SiGe. Расчет потенциального барьера и энергетического спектра в модулиро-ванно-легированных квантовых ямах.	6	ПК-1, ПК-4
	Итого	6	
4 Полупроводниковые квантовые сверхрешетки	Расчет зонного спектра сверхрешеток из AlGaAs/GaAs и InGaN в приближении Кронига-Пенни и сильной связи для различных толщин	2	ПК-1, ПК-4

Согласована на портале № 41823

	квантовых ям и барьеров. Сравнение зонных спектров различных свехрешеток.		
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
3 семестр			
5 Электрический ток в квантовых наноструктурах и сверхрешетках	Решение квантово-механических задач на поперечный перенос горячих носителей заряда в множественных квантовых ямах и сверхрешетках при условиях: надбарьерный перенос, перенос с участием глубокой примеси и резонансного туннелирования.Решение задач на определение величины квантовой проводимости квантовых проволок.Решение задач на вычисление условий реализации кулоновской блокады в квантовой точке.	2	ПК-1, ПК-4
	Итого	2	
6 Оптические свойства квантовых наноструктур	Решение задач на оптические свойства квантовых ям, сверхрешеток, квантовых точек и нанокристаллов: определение оптических переходов в спектре, определение уширения запрещенной зоны. Задачи на квантово-размерный эффект Штарка, лестниц Штарка и на определение параметров осцилляций Блоха в сверхрешетках.	6	ПК-1, ПК-4
	Итого	6	
7 Электронные приборы на основе квантовых наноструктур.	Решение задач на определение параметров модуляционно-легированных полевых транзис-торов, биполярных трапнзисторовы на гетеро-переходах, диодов с резонансным туннелиро-ванием, транзисторов на горячих электронах, транзисторов с резонансным туннелированием, одноэлектронных транзисторов.	10	ПК-1, ПК-4
	Итого	10	
8 Оптоэлектронные приборы на основе квантовых наноструктур	Решение задач на определение параметров лазеров на полупроводниковых гетероструктурах, лазеров на полупроводниковых квантовых точках, поверхностных лазеров с вертикальным резонатором, лазеров на напряженных структурах с квантовыми ямами, лазеров на квантовых точках, фотодиодов на подзонах квантовых ям, лавинных фотодетекторов на MQW, сверхрешетках, модуляторов на квантовых ямах.	8	ПК-1, ПК-4
	Итого	8	
9 Методы получения квантовых наноструктур и сверхрешеток	Рассмотрение конструкций и возможностей различных технологических приемов изготовления квантовых наноструккктур и сверхрешеток. Сравнение различных методов по параметрам изделий.	4	ПК-1, ПК-4
	Итого	4	
10 Перспективные наноматериалы	Детальное рассмотрение строения и сравнение свойств других наноматериалов: углеродные нано-	4	ПК-1, ПК-4

Согласована на портале № 41823

полупроводниковой оптоэлектроники	трубки, фуллерены, пористый кремний, пористый оксид алюминия, биологические наноматериалы.		
	Итого	4	
Итого за семестр		34	
Итого		52	

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 Основные понятия теории наносистем	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-4	Опрос на занятиях, Реферат, Тест
	Написание рефератов	4		
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	8		
2 Элементы зонной теории квантовых наносистем	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-1, ПК-4	Опрос на занятиях, Реферат, Тест
	Написание рефератов	3		
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	11		
3 Полупроводниковые квантовые наноструктуры	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-4	Опрос на занятиях, Реферат, Тест
	Написание рефератов	4		
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	8		
4 Полупроводниковые квантовые сверхрешетки	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-4	Опрос на занятиях, Реферат, Тест
	Написание рефератов	5		
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	9		
Итого за семестр		36		

Согласована на портале № 41823

3 семестр				
5 Электрический ток в квантовых наноструктурах и сверхрешетках	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-4	Дифференцированный зачет, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	2		
	Итого	6		
6 Оптические свойства квантовых наноструктур	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ПК-1, ПК-4	Дифференцированный зачет, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	2		
	Итого	6		
7 Электронные приборы на основе квантовых наноструктур.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	5	ПК-1, ПК-4	Дифференцированный зачет, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	2		
	Итого	9		
8 Оптоэлектронные приборы на основе квантовых наноструктур	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	5	ПК-1, ПК-4	Дифференцированный зачет, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	2		
	Итого	9		
9 Методы получения квантовых наноструктур и сверхрешеток	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-4	Дифференцированный зачет, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	2		
	Итого	5		

Согласована на портале № 41823

10 Перспективные наноматериалы полупроводниковой оптоэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-4	Дифференцированный зачет, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	2		
	Итого	5		
Итого за семестр		40		
Итого		76		

10. Курсовой проект / курсовая работа

Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсового проекта / курсовой работы представлены таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсового проекта / курсовой работы

Наименование аудиторных занятий	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр		
Получение задания на курсовую работу, знакомство с литературой	2	ПК-1, ПК-4
Составление плана выполнения курсовой работы, изучение литературы	2	
Выполнение курсовой работы	8	
Представление списка используемой литературы, рабочих материалов, наброска содержания курсовой работы	1	
Представление чистового варианта курсовой работы	1	
Защита курсовой работы: доклад презентация, оформление отчета, ответы на вопросы	2	
Итого за семестр	16	

10.1. Темы курсовых проектов / курсовых работ

Примерная тематика курсовых проектов / курсовых работ:

– Исследование профиля квантовой ямы в приборах оптоэлектроники и его восстановление.

– Исследование излучательной способности наноструктур с варьируемым числом квантовых ям.

– Исследование детектирующих свойств множественных квантовых ям и сверхрешеток.

– Исследование фононного спектра светоизлучающей наноструктуры и его связи с оптическими свойствами квантовых ям.

– Исследование флуктуационных свойств квантовых наноструктур и их связь с деградационными свойствами.

– Исследование структуры квантовых ям в приборах оптоэлектроники методом вольтамперных характеристик.

Согласована на портале № 41823

– Экспериментальное исследование вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик гетероструктун квантовыми ямами различных производителей.

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				
Зачет			10	10
Опрос на занятиях	8	8	8	24
Реферат	15	15	15	45
Тест	7	7	7	21
Итого максимум за период	30	30	40	100
Нарастающим итогом	30	60	100	100
3 семестр				
Дифференцированный зачет			10	10
Защита курсовых проектов / курсовых работ			30	30
Опрос на занятиях	13	13	13	39
Тест	7	7	7	21
Итого максимум за период	20	20	60	100
Нарастающим итогом	20	40	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 № 41823

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. Физические основы оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Давыдов В. Н. - 2016. 139 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5963 (дата обращения: 02.08.2018).
2. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/537 (дата обращения: 02.08.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Борисенко, Виктор Евгеньевич. Наноэлектроника [Текст] : учебное пособие для вузов / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 224 с. : ил. - (Нанотехнологии). - Библиогр. в конце частей. - ISBN 978-5-94774-914-4 : УДК 621.382-022.532(075.8) (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)
2. Игнатов, Александр Николаевич. Оптоэлектроника и нанофотоника [Текст] : учебное пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - СПб. : Лань, 2011. - 539, [5] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 526-530. - ISBN 978-5-8114-1136-8 : УДК 621.383(075.8) 621.383-022.532(075.8) (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Давыдов В.Н. Физические основы оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов направлений подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства» / Давыдов В. Н. - 2016. 92 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5964 (дата обращения: 02.08.2018).
2. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства [Электронный ресурс]: Методические указания к практическим занятиям / Мягков А. С. - 2012. 53 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2495 (дата обращения: 02.08.2018).
3. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства [Электронный ресурс]: Методические указания по самостоятельной работе / Мягков А. С. - 2012. 15 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2496 (дата обращения: 02.08.2018).
4. Полупроводниковая оптоэлектроника [Электронный ресурс]: Методические указания к выполнению курсовой работы для магистров направления подготовки 210100.68 «Электроника и наноэлектроника» / Давыдов В. Н. - 2013. 54 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/3563 (дата обращения: 02.08.2018).

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:

Согласована на портале № 41823

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

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 лаборатория

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 110 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные стенды (6 шт.);
- Измерительные приборы;
- Доска магнитно-маркерная;
- Оптическая скамья ОСК-4;
- Помещение для хранения учебного оборудования;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

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;

Согласована на портале № 41823

- 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. Что такое квантовая яма?

а) Это слой узкозонного полупроводника толщиною мень-ше длины волны де Бройля, который находится между широкозонными полупроводниками большой толщины;

б) Это слой широкозонного полупроводника толщиною больше длины волны де Бройля, который находится между узкозонными полупроводниками большой толщины;

в) Это слой узкозонного полупроводника толщиною больше длины волны де Бройля, который находится между широкозонными полупроводниками очень малой толщины;

г) Это слой узкозонного полупроводника толщиною меньше длины волны де Бройля, который находится между широкозонными полупроводниками очень малой толщины.

2. Что такое квантовая точка?

а) Квантовая точка представляет собой объем широкозонного материала, окруженного узкозонным материалом и проявляющего волновые свойства. Размеры квантовой точки по всем трем направлениям меньше длины волны де Бройля;

б) Квантовая точка представляет собой объем узкозонного материала, окруженного высокопроводящим материалом и проявляющий корпускулярные свойства. Размеры квантовой точки по всем трем направлениям больше длины волны де Бройля;

в) Квантовая точка представляет собой объем узкозонного материала, окруженного широкозонным материалом и проявляющая волновые свойства. Размеры квантовой точки по всем трем направлениям меньше длины волны де Бройля;

г) Квантовая точка представляет собой объем широкозонного материала, окруженного широкозонным материалом и проявляющая волновые свойства. Размеры квантовой точки по всем трем направлениям больше длины волны де Бройля.

3. Что такое квантовая проволока?

а) Это тонкая и узкая полоска узкозонного полупроводника, поперечные размеры которой больше длины волны де Бройля, а длина больше длины свободного пробега электронов в объем-

Согласована на портале № 41823

ном материале;

б) Это тонкая и узкая полоска узкозонного полупроводника, окруженного проводящим материалом. При этом поперечные размеры полоски меньше длины волны де Бройля, а длина больше длины свободного пробега электронов в объемном материале;

в) Это тонкая и узкая полоска узкозонного полупроводника, окруженного широкозонным материалом, причем поперечные размеры полоски меньше длины волны де Бройля, а ее длина меньше длины свободного пробега электронов в объемном материале;

г) Это тонкая и узкая полоска широкозонного полупроводника, окруженного узкозонным материалом, причем поперечные размеры полоски меньше длины волны де Бройля, а ее длина меньше длины свободного пробега электронов в объемном материале.

4. Каков физический смысл длины волны де Бройля для электрона в твердом теле?

а) Длина волны де Бройля – это расстояние, которое пробегает электрон между соседними соударениями со структурными дефектами решетки твердого тела;

б) Длина волны де Бройля – это минимальный размер твердого тела, в пределах которого электрон в равной степени проявляет свои свойств корпускулы и волны;

в) Длина волны де Бройля – это максимальный размер твердого тела, в котором электрон может двигаться как корпускуляный объект с соударениями;

г) Длина волны де Бройля – это минимальный размер твердого тела, в пределах которого электрон может двигаться как корпускулярный объект без соударений.

5. Как изменится поведение электрона, если он ограничен в движении в одном или нескольких направлениях размерами потенциального ящика, меньшими длины волны де Бройля?

а) Он будет двигаться в тех направлениях, вдоль которых ограничений нет, ч сохранением всех свойств, присущих свободному движению. В направлениях с ограничением движения не будет и свойства электрона не проявятся;

б) Он не будет двигаться свободно ни по одному направлению, даже свободному и будет проявлять только волновые свойства;

в) Он будет двигаться свободно в направлениях без ограничений и проявлять корпускулярные свойства, характерные для 3D полупроводников. В направлении с ограничением движения электрон будет проявлять волновые свойства с дискретизацией энергии по принципу «целых длин полуволн»;

г) Он будет двигаться свободно в направлениях без ограничений и проявлять корпускулярные свойства, характерные для 3D полупроводников. В направлении с ограничением движения электрон будет проявлять волновые свойства с образованием новых зон развешенных значений энергии.

6. Как изменится движение свободного электрона в электрическом поле, если размеры твердого тела меньше длины свободного пробега?

а) Он будет вести себя как волна и иметь разрешенные значения энергии в виде дискретных уровней;

б) Он будет двигаться, ускоряясь, без соударений со скоростью, определяемой величиной электрического поля и временем взаимодействия. Такое движение называют баллистическим;

в) Он будет двигаться без соударений со скоростью, определяемой величиной приложенного электрического поля и временем рассеяния энергии за счет излучения электромагнитной волны;

г) Он будет двигаться со скоростью, определяемой подвижностью и внутрикристаллическим полем решетки кристалла.

7. Как выглядит функция плотности состояний для электронов, находящихся в квантовой яме?

а) Она не отличается от функции плотности состояний в объемном полупроводнике;

б) Она будет представлять собой ступенчатую функцию с высотой ступеньки, равной 1/2 h ;

в) Она будет представлять собой ступенчатую функцию с высотой ступеньки, равной 1/4 h;

г) Она будет представлять собой ступенчатую функцию с высотой ступеньки, равной .1/8 h.

8. От чего зависит и как изменяется расстояние между разрешенными уровнями энергии электрона в прямоугольной квантовой яме с ростом номера состояния?

а) Оно определяется только фундаментальными параметрами полупроводникового материала, уменьшаясь с увеличением номера состояния по гиперболическому закону;

Согласована на портале № 41823

б) Оно определяется фундаментальными параметрами полупроводникового материала и толщиной квантовой ямы, увеличиваясь с номером состояния по параболическому закону;

в) Оно определяется только толщиной квантовой ямы, увеличиваясь с номером состояния по экспоненциальному закону;

г) Оно определяется только толщиной квантовой ямы, уменьшаясь с номером состояния по линейному закону.

9. Как выглядит функция плотности состояний для электронов, находящихся в квантовой проволоке?

а) Функция плотности состояний электронов в квантовой проволоке имеет вид набора пиков бесконечной высоты, которые имеют место при энергиях, равных энергии уровней размерного квантования по сечению проволоки, и далее с ростом энергии электрона спад плотности;

б) Функция плотности состояний электронов в квантовой проволоке имеет вид пика конечной высоты при нулевой энергии и далее линейный спад с ростом энергии состояния;

в) Функция плотности состояний электронов в квантовой проволоке имеет вид пика конечной высоты при нулевой энергии и далее экспоненциальный спад плотности с ростом энергии состояния;

г) Функция плотности состояний электронов в квантовой проволоке имеет вид системы пиков конечной высоты с плавным спадом до очередного пика.

10. Как изменяется расстояние между разрешенными уровнями энергии электрона в квантовой проволоке с ростом номера состояния?

а) Расстояние между разрешенными уровнями энергии в квантовой проволоке определяется формой поперечного сечения проволоки. В случае прямоугольного сечения расстояния между соседними уровнями увеличивается по параболическому закону с ростом номера состояния;

б) Расстояние между разрешенными уровнями энергии в квантовой проволоке определяется формой поперечного сечения проволоки. В случае прямоугольного сечения расстояние между соседними уровнями энергии увеличивается по линейному закону с ростом номера состояния;

в) Расстояние между разрешенными уровнями энергии в квантовой проволоке определяется формой поперечного сечения проволоки. В случае прямоугольного сечения расстояние между соседними уровнями энергии увеличивается по экспоненциальному закону с ростом номера состояния;

г) Расстояние между разрешенными уровнями энергии в квантовой проволоке определяется формой поперечного сечения проволоки. В случае прямоугольного сечения расстояние между соседними уровнями энергии уменьшается по гиперболическому закону с ростом номера состояния.

11. Как выглядит функция плотности состояний электронов, находящихся в квантовой точке?

а) Функция плотности состояний для электронов в квантовой точке аналогичная функции плотности в объемном полупроводнике;

б) Функция плотности состояний для электронов в квантовой точке аналогичная функции плотности в атоме и представляет собой совокупность моноуровней предельно узкой ширины;

в) Функция плотности состояний для электронов в квантовой точке аналогичная функции плотности в квантовой точке предельно малых размеров;

г) Функция плотности состояний для электронов в квантовой точке аналогичная функции плотности в атоме и представляет собой совокупность уровней размерного квантования с гиперболическим спадом плотности между соседними уровнями.

12. Как изменяется расстояние между разрешенными уровнями энергии электрона в квантовой точке прямоугольной формы с ростом номера состояния?

а) Энергетическое расстояние между уровнями размерного квантования в прямоугольной квантовой точке уменьшается с ростом номера состояния по параболическому закону;

б) Энергетическое расстояние между уровнями размерного квантования в прямоугольной квантовой точке уменьшается с ростом номера состояния по линейному закону;

в) Энергетическое расстояние между уровнями размерного квантования в прямоугольной квантовой точке увеличивается с ростом номера состояния по параболическому закону;

г) Энергетическое расстояние между уровнями размерного квантования в прямоугольной квантовой точке увеличивается с ростом номера состояния по линейному закону.

Согласована на портале № 41823

13. Как изменяется расстояние между разрешенными уровнями энергии электрона в квантовой яме треугольной и параболической формы с ростом номера состояния?

а) Энергетическое расстояние между уровнями размерного квантования в параболической и треугольной ямах уменьшается с ростом номера состояния по параболическому закону в обоих случаях;

б) Энергетическое расстояние между уровнями размерного квантования в параболической и треугольной ямах уменьшается с ростом номера состояния по параболическому закону в обоих случаях;

в) Ранг данного псевдотензора определяется точечной группой симметрии кристалла и может быть равен от 1 до 4;

г) Ранг данного аксиально-полярного тензора не является постоянным при распространении электромагнитной волны через кристалл: на входе в кристалл ранг тензора равен единице, а на выходе из кристалла он может принимать значение до четырех включительно.

14. Что такое сверхрешетка и чем она отличается от множественных квантовых ям?

а) Сверхрешетка представляет собой регулярную структуру расположения атомов примеси в матрице полупроводника по всем трем координатам;

б) Сверхрешетка представляет собой регулярную структуру расположения атомов примеси в матрице полупроводника по двум координатам;

в) Сверхрешетка представляет собой совокупность множественных квантовых ям, взаимодействующих между собой по туннельному механизму через тонкие барьерные слои;

г) Сверхрешетка представляет собой совокупность множественных квантовых ям, взаимодействующих между собой путем надбарьерного перехода электронов через толстые барьерные слои.

15. Чем отличается функция плотности состояний электронов в сверхрешетке из прямоугольных квантовых ям от функции состояний в изолирован-ной прямоугольной квантовой яме?

а) Наличием излома зависимости состояний от энергии при энергиях, соответствующих уровням размерного квантования прямоугольных квантовых ям;

б) Наличием пика плотности состояний при энергиях, соответствующих уровням размерного квантования прямоугольных квантовых ям;

в) Наличием глубокого минимума плотности состояний при энергиях, соответствующих уровням размерного квантования прямоугольных квантовых ям;

г) Эти функции плотности абсолютно одинаковы.

16. Что такое блоховские осцилляции в сверхрешетке, под действием электрического поля?

а) Блоховские осцилляции представляют собой генерацию высокочастотных колебаний в гетероструктуре со сверхрешеткой за счет циклического движения электронов в параболической долине;

б) Блоховские осцилляции представляют собой генерацию высокочастотных колебаний в любой гетероструктуре за счет циклического движения электронов в энергетической долине;

в) Блоховские осцилляции представляют собой низкочастотные колебания в квантовой яме за счет циклического движения электронов от стенки к стенке ямы;

г) Блоховские осцилляции вызваны импульсообразным движением электронов в квантовой точке за счет периодического движения электронов от стенки к стенке точки.

17. За счет чего возникают упругие напряжения на границах раздела слоев в гетероструктурах?

а) Упругие напряжения в гетероструктурах возникают за счет различия в значениях длин трансляции решеток соединяемых материалов;

б) Упругие напряжения в гетероструктурах возникают за счет различия в значениях коэффициентов температурного расширения решеток соединяемых материалов;

в) Упругие напряжения в гетероструктурах возникают за счет различия в значениях плотности поверхностных состояний решеток соединяемых материалов;

г) Упругие напряжения в гетероструктурах возникают за счет различия в значениях удельной плотности соединяемых материалов.

18. Что такое квант проводимости в квантовых проволоках?

а) Квант проводимости в квантовых проволоках представляет собой значение проводимости

Согласована на портале № 41823

в квантовой проволоке при переносе одного электрона в результате действия электрического поля;

б) Квант проводимости в квантовых проволоках представляет собой максимальное значение проводимости в квантовой проволоке при действии постоянного напряжения;

в) Квант проводимости в квантовых проволоках представляет собой значение проводимости в квантовой проволоке при переносе электронов в результате действия кванта теплового колебания решетки;

г) Квант проводимости в квантовых проволоках представляет собой значение проводимости в квантовой проволоке при переносе одного электрона результате поглощения кванта света.

19. Что такое кулоновская блокада в квантовых точках?

а) Кулоновская блокада – это эффект блокировки поставки электронов в квантовую точку за счет ее дебаевского экранирования, который на вольтамперной характеристике дает всплеск сопротивления квантовой точки;

б) Кулоновская блокада – это эффект блокировки поставки электронов в квантовую точку за счет их кулоновского расталкивания на начальном участке вольтамперной характеристики;

в) Кулоновская блокада – это эффект невозможности электронам проникнуть в квантовую яму из-за потенциального барьера на границе «квантовая яма – барьерный слой»;

г) Кулоновская блокада – это эффект невозможности электронам покинуть квантовую яму из-за потенциального барьера на границе «квантовая яма – барьерный слой».

20. Чем отличается дрейфовая проводимость квантовой ямы вдоль границы с барьером и перпендикулярно ему?

а) В квантовой яме проводимость вдоль границы с барьером описывается классической моделью дрейфа электронов и дырок по зонам разрешенных значений энергии, а перпендикулярно границе раздела ток течет по прыжковому механизму;

б) В квантовой яме проводимость вдоль границы с барьером описывается прыжковым механизмом, а перпендикулярно границе раздела ток создается дрейфом электронов и дырок по зонам разрешенных значений энергии;

в) В квантовой яме проводимость вдоль границы с барьером описывается классической моделью дрейфа электронов и дырок по зонам разрешенных значений энергии, а перпендикулярно границе раздела может течь только туннельный ток сквозь барьерные слои;

г) В квантовой яме проводимость вдоль границы с барьером перпендикулярно границе раздела описывается моделью прыжкового дрейфа электронов и дырок по зонам разрешенных значений энергии.

14.1.2. Темы опросов на занятиях

Корпускулярно-волновой дуализм и принцип Гейзенберга. Размерные эффекты в твердых телах. Понятие наносистем. Харакерные длины в мезоскопических системах: длина волны де Бройля, длина свободного пробега, длина экрани-рования, длина локализации, длина квантово-механической когерентности. Понятия квантовой ямы, квантовой проволоки, квантовой точки.

Зонная теория Блоха для трехмерных систем. Зонная модель квантовой ямы различной формы: прямоугольной, параболической, треугольной. Плотность состояний в квантовой яме. Зонная модель квантовой проволоки. Плотность состояний в квантовой проволоке. Зонная модель квантовой точки. Плотность состояний в квантовой точке.

Структуры полевых МОП-транзисторов. Гетеропе-реходы с модулированным легированием. Напря-женные гетероструктуры на снове SiGe. Модулированно-легированные квантовые ямы. Множественные квантовые ямы. Роль упругих напряжений в спектре квантовых объектов. Экситонные эффекты в квантовых ямах.

Продольный и поперечный перенос электронов в наноструктурах: механизмы рассеяния, отличия от трехмерных систем. Продольный перенос горячих носителей. Поперечный перенос: резонансное туннелирование, квантовая проводимость, формула Ландауэра, кулоновская блокада.

Концепция сверхрешеток. Зонная модель сверхре-шетки: модель Кронига-Пенни, приближение сильной связи, зонный спектр и плотность состояний в сверхрешетке. Типы сверхрешеток, особенности структры и свойств.

Оптические свойства квантовых ям и сверхреше-ток. Оптические свойства квантовых точек и нанокристаллов: уширение запрещенной зоны, оптические переходы, повышение силы осцилляторов, уширение спектров. Квантово-размерный эффект Штарка. Лестницы Штарка и осцилляции

Согласована на портале № 41823

Блоха в сверхрешетках

Модуляционно-легированные полевые транзисторы. Биполярные транзисторы на гетеропереходах. Диоды с резонансным туннелированием. Транзисторы на горячих электронах. Транзисторы с резонансным туннелированием. Одноэлектронные транзисторы.

Светодиоды на основе гетероструктур с множственными квантовыми ямами. Лазеры на гетероструктурах и на квантовых точках. Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором. Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами. Фотодиоды на подзонах квантовых ям. Лавинные фотодетекторы на MQW и сверхрешетках. Модуляторы на квантовых ямах

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Локальное окисление металлов и полупроводников. Нанокристаллы на стекле. Синтез в коллоидных системах. Газофазный метод. Самоорганизация квантовых точек. Нанолитографические методы.

Углеродные нанотрубки, фуллерены, пористый кремний, пористый оксид алюминия, биологические наноматериалы: строение, свойства, применение.

14.1.3. Зачёт

1. Оптические свойства низкоразмерных наноструктур: квантовых ям и сверхрешеток.
2. Электрооптические эффекты в квантовых точках.
3. Квантово-размерный эффект Штарка.
4. Электрооптические эффекты в сверх решетках.
5. Лестницы Штарка и осцилляции Блоха.
6. Принципы работы лазеров на полупроводниковых гетероструктурах и их преимущества перед инжекционными лазерами.
7. Лазеры на полупроводниковых квантовых ямах.
8. Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором.
9. Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами.
10. Лазеры на квантовых точках.
11. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешетках.
12. Фотодетекторы на подзонах квантовых ям.
13. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешетках.
14. Фотодетекторы на сверхрешетках.
15. Модуляторы на основе квантовых ям.
16. Применение нематических жидких кристаллов для отображения информации: конструкция оптической ячейки, назначение элементов и принцип работы.
17. Применение нематических жидких кристаллов для модуляции оптического излучения
18. Конструкция оптического транспаранта с электрическим и оптическим управлением.
19. Светодиодные гетероструктуры с множественными квантовыми ямами: конструкция, назначение элементов и принцип работы.
20. Принципы управления спектральными и энергетическими характеристиками источников когерентного и некогерентного излучения гетероструктурами с наноэлементами.

14.1.4. Темы рефератов

1. Определение концентраций легирующих примесей для получения полупроводника с собственным типом проводимости.
2. Фотопроводимость полупроводника: ее типы и механизмы возникновения, основные параметры. Расчет коэффициента усиления фотопроводимости и методы управления им.
3. Фотоэдс в полупроводниках: механизмы ее возникновения, основные типы, методы расчета, базовые параметры.
4. Сравнение спектральных характеристик резонаторов закрытого и открытого типов.
5. Прохождение оптического излучения через границу раздела двух сред: основные явления, характеристики и параметры.
6. Спонтанное и вынужденное излучение атома, коэффициенты Эйнштейна, их физический смысл и природа связи между собой, возможность управления численными значениями параметрами вынужденного излучения и вынужденного поглощения.
7. Идеология создания генератора оптического излучения на основе усилителя электромагнитного излучения.
8. Виды накачки, свойства накачки в трех- и четырехуровневой схемах. Сравнение их воз-

Согласована на портале № 41823

можностей.

9. Принцип работы и и типичные значения параметров генерируемого излучения молекулярных лазеров.

10. Принцип работы и типичные значения параметров генерируемого излучения ионных лазеров.

11. Принцип работы и типичные значения параметров генерируемого излучения полупроводниковых лазеров

14.1.5. Вопросы дифференцированного зачета

Основные понятия теории наносистем: Корпускулярно-волновой дуализм в современной физике. Длина волны де Бройля, пакет волн квантовой частицы.

Элементы зонной теории квантовых наносистем: Физическая модель Блоха полупроводникового кристалла. Вывод его энергетической диаграммы в приближении Опенгеймера и Хартри-Фока.

Полупроводниковые квантовые наноструктуры: Энергетический спектр частицы в потенциальной яме, эффект туннелирования. Коэффициент прозрачности и коэффициент отражения от барьера.

Полупроводниковые квантовые сверхрешетки: Прохождение частицы через многослойные квантовые системы. Интерференция волн. Энергетический спектр сверхрешеток.

Электрический ток в квантовых наноструктурах и сверхрешетках: Подвижность электронов в 3D системах. Баллистическое движение частиц, горячие электроны. Формула Ландауэра для многоканальных 1D систем.

Оптические свойства квантовых наноструктур: Составление энергетического спектра для квантовых ям, квантовых проволок и квантовых точек. Особенности межзонных переходов.

Электронные приборы на основе квантовых наноструктур:.Физические принципы работы приборов на основе квантовых наноструктур. Их отличия от мезоструктур.

Оптоэлектронные приборы на основе квантовых наноструктур: Физические принципы работы оптоэлектронных приборов на основе квантовых наноструктур. Фотонные кристаллы.

Методы получения квантовых наноструктур и сверхрешеток: Основы технологий получения наноструктур и сверхрешеток различными методами. Их преимущества и недостатки.

Перспективные наноматериалы полупроводниковой оптоэлектроники: Графены, фуллерены, углеродные нанотрубки. Их свойства и применение в электронном приборостроении.

14.1.6. Темы курсовых проектов / курсовых работ

1. ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ РАСЧЕТНОГО ХАРАКТЕРА

1.1. Численный расчет вольтамперной характеристики гетероструктуры с множественными квантовыми ямами на основе барьера (табулирование теоретических выражений с подгонкой численных значений

параметров энергетического спектра гетероструктуры Пуассона).

1.2. Расчет энергетического спектра множественных квантовых ям гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры, числом квантовых ям. Форма квантовой ямы:

прямоугольная, параболическая.

1.3. Расчет энергетического спектра сверхрешетки на основе гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой ямы: прямоугольная,

параболическая.

1.4. Расчет энергетического спектра квантовой точки гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой точки: кубическая квантовая точка;

прямоугольная; сферическая.

2. ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА

2.1. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-амперных характеристик (метод токового дифференцирования).

2.2. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-фарадных ха-

Согласована на портале № 41823

рактеристик (метод емкостного профилирования).

2.3. Исследование токовых свойств квантовых наноструктур и их связь с деградационными свойствами (исследование вольтамперной характеристики гетероструктуры и сравнение с ее излучательной характеристикой до и после термополевых испытаний).

2.4. Исследование излучательной способности наноструктур с варьируемым числом квантовых ям (сравнение излучения диффузионного p-n перехода и гетероструктуры с множественными квантовыми ямами).

3. ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ РЕФЕРАТИВНОГО ХАРАКТЕРА

3.1. Полупроводниковые экраны отображения информации на основе наноструктур: принцип работы, состав и топология, электрические и оптические свойства, основные преимущества и параметры, примеры практического применения

3.2. Полупроводниковые модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе наноструктур: физические основы работы, состав и топология, принцип работы с учетом каждого элемента, электрические и оптические свойства и их применение

3.3. Полупроводниковые фотоприемники и источники когерентного излучения на основе квантовых точек и матриц: физические основы работы, состав и топология, принцип работы с учетом каждого элемента, электрические и оптические свойства и их сравнение с 3D аналогами

3.4. Полупроводниковые светодиоды на основе гетероструктур с множественными квантовыми ямами: физические основы работы, состав и топология, принцип работы с учетом каждого элемента, электрические и оптические свойства и их сравнение с 3D аналогами

3.5. Полупроводниковые лазеры на основе гетероструктур с множественными квантовыми ямами и сверхрешетками: физические основы работы, состав и топология, принцип работы с учетом каждого элемента, электрические и оптические свойства и их сравнение с 3D аналогами

14.1.7. Методические рекомендации

Основные методические рекомендации касаются организации и контроля выполнения самостоятельных заданий.

Структура подачи лекционного материала. После выдачи самостоятельных заданий (на лекции) со студентами планируется тема следующей лекции. Среди разнообразия методов подачи материала наибольшая активность студентов наблюдается при применении технологии «интенсивной педагогики» в виде «продвинутой конферентной обзорной лекции», совмещенной с семинаром. Важно на фоне общих учебных заданий найти «изюминку» в каждом задании студента и показать актуальность и перспективы применения решения. Важно показать достижения конкретных выпускников по предложенной тематике.

Практические занятия. Интерес у студента проявляется тогда, когда у него получаются решения предложенных заданий. Их выполнение учитывает возможности и наклонности студента и позволяет предложить творческое развитие отдельных фрагментов задания.

Защита самостоятельной работы. Наибольший импульс к развитию дает научно-техническая конференция, где каждый студент обязан выступить с сообщением о своей работе. При подготовке к нему у студента происходит переоценка деятельности, прирост команды энтузиастов для участия в развитии работ. Это способствует развитию общекультурных профессиональных компетенций, вырабатывает навыки грамотного изложения результатов работы и их защиты перед комиссией.

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,	Преимущественно письменная проверка

Согласована на портале № 41823

	контрольные работы	
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

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

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

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

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

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

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

Для лиц с нарушениями зрения:

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

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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

Согласована на портале № 41823