МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____П.В. Сенченко
«23» _____12_____ 2020 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: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра электронных приборов (ЭП)**
Курс: **1**
Семестр: **2**
Учебный план набора 2021 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	2 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
Практические занятия	52	52	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	20	20	часов
Курсовая работа	18	18	часов
Самостоятельная работа	38	38	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	180	180	часов
	5	5	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Экзамен	2
Курсовая работа	2

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 23.12.2020
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 54129

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. 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.

2. приобретение навыков решения типовых задач по расчету параметров перечисленных приборов в приложении к научно-прикладным исследованиям и разработкам.

1.2. Задачи дисциплины

1. 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 структурах.

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

3. изучение и освоение студентами современных методов описания и анализа электронных и оптических процессов в полупроводниковых гетероструктурах.

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

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Модуль дисциплин: Модуль направленности (профиля) (major).

Индекс дисциплины: Б1.В.01.01.04.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
-	-	-
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 54129

ПКР-7. Способен разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	ПКР-7.1. Знает методы отработки и внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники.	Знание методов отработки и внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники.
	ПКР-7.2. Умеет разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники.	Умение разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники.
	ПКР-7.3. Владеет навыками организации проведения работ по подготовке производства.	Владение навыками организации проведения работ по подготовке производства.
ПКР-10. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПКР-10.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники.	Знание принципов построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники.
	ПКР-10.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники.	Умение рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники.
	ПКР-10.3. Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники.	Владение навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники.
ПКР-13. Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПКР-13.1. Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований.	Знание способов организации и проведения экспериментальных исследований.
	ПКР-13.2. Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования.	Умение самостоятельно проводить экспериментальные исследования.
	ПКР-13.3. Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.	Владение навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов,

Согласована на портале № 54129

выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 академических часов.

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

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		2 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	106	106
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия	52	52
Курсовая работа	18	18
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	38	38
Написание отчета по курсовой работе	31	31
Подготовка к тестированию	7	7
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	180	180
Общая трудоемкость (в з.е.)	5	5

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

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

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

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Курс. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
2 семестр						
1 История развития оптоэлектроники	1	4	18	3	26	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
2 Основные понятия физики наносистем	4	4		6	14	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
3 Физика систем пониженной размерности	9	16		6	31	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
4 Наноструктуры и сверхрешетки	4	6		5	15	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	6	4		6	16	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	6	4		6	16	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	6	14		6	26	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
Итого за семестр	36	52	18	38	144	
Итого	36	52	18	38	144	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Согласована на портале № 54129

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

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
2 семестр			
1 История развития оптоэлектроники	Описана диалектика становления и развития оптоэлектроники 3D полупроводников и оптоэлектроника, использующая элементы наноэлектроники.	1	ПКР-10
	Итого	1	
2 Основные понятия физики наносистем	Характерные длины в мезоскопических системах и основные объекты наноэлектроники.	4	ПКР-10
	Итого	4	
3 Физика систем пониженной размерности	3 Физика полупроводников пониженной размерности Двумерные квантовые наноструктуры. Одномерные квантовые наноструктуры. Нульмерные квантовые структуры. Поляризационные эффекты в наноструктурных объектах.	9	ПКР-10
	Итого	9	
4 Наноструктуры и сверхрешетки	4 Наноструктуры и сверхрешётки Гетероструктуры и гетеропереходы и их свойства Одиночные и множественные квантовые ямы и их свойства Сверхрешетки: типы сверхрешеток и их свойства 4	4	ПКР-10
	Итого	4	
5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле Продольный механизм переноса в квантовых ямах. Поперечный перенос в наноструктурах и сверхрешетках. Квантовый перенос в квантовых ямахяяяя. евантовых проволоках, квантовых точках 6	6	ПКР-10
	Итого	6	
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур Особенности люминесценции в квантовых ямах. Оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток. Оптические свойства квантовых точек	6	ПКР-10
	Итого	6	

Согласована на портале № 54129

7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением Общие сведения об электрооптических эффектах в квантовых ямах и сверхрешетках. Эффект Франца-Келдыша в оптоэлектронике. Эффект двулучепреломления в 3D кристаллах и жидких кристаллах для оптоэлектроники. Квантово-размерный эффект Штарка в оптоэлектронике.	6	ПКР-10
	Итого	6	
Итого за семестр		36	
Итого		36	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
2 семестр			
1 История развития оптоэлектроники	Задачи на вычисление излучающих и токопроводящих свойств элементов 3D оптоэлектроники	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
2 Основные понятия физики наносистем	Задачи на вычисление длины волны де Бройля, длины экранирования в различных полупроводниковых материалах	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
3 Физика систем пониженной размерности	Задачи на вычисление базовых параметров (ширины запрещенной зоны, эффективных масс носителей заряда) полупроводниковых материалов сложного состава Задачи на вычисление энергетического спектра прямоугольной и треугольной квантовых ям в различных полупроводниковых материалах. Задачи на вычисление энергетического спектра квантовых ям комбинированного профиля с учетом взаимодействия ям различного размера и профиля.	16	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	16	
4 Наноструктуры и сверхрешетки	Задачи на вычисление энергетического спектра сверхрешеток по методу Кронига-Пенни.	6	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	6	

Согласована на портале № 54129

5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле Задачи на вычисление токопроводящих свойств квантовых ям и квантовых проволок с учетом двумерных квантовых состояний Ландауэра.	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур Задачи по вычислению излучающих свойств квантовых ям и квантовых точек.	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением Задачи по вычислению параметров объемных и наноразмерных элементов оптоэлектроники для модуляции и отклонения оптического излучения.	14	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	14	
Итого за семестр		52	
Итого		52	

5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

5.5. Курсовая работа

Содержание, трудоемкость контактной аудиторной работы и формируемые компетенции в рамках выполнения курсовой работы представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Содержание контактной аудиторной работы и ее трудоемкость

Содержание контактной аудиторной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
2 семестр		
Обсуждение при личном контакте со студентами основных вопросов по выполнению курсовых работ, дополнительных пояснений к самостоятельной работе студентов и вопросов по базовым понятиям оптической наноэлектроники.	18	ПКР-10, ПКР-13
Итого за семестр	18	
Итого	18	

Примерная тематика курсовых работ:

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).
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.
3. Расчет энергетического спектра сверхрешетки на основе гетероструктуры с заданным

Согласована на портале № 54129

значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой ямы: прямоугольная, параболическая.

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.
5. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-амперных характеристик (метод токового дифференцирования).
6. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-фарадных характеристик (метод емкостного профилирования).
7. 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).
8. Исследование излучательной способности наноструктур с варьируемым числом квантовых ям (сравнение излучения диффузионного p-n перехода и гетероструктуры с множественными квантовыми ямами).

5.6. Самостоятельная работа

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

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

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
2 семестр				
1 История развития оптоэлектроники	Написание отчета по курсовой работе	2	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	3		
2 Основные понятия физики наносистем	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
3 Физика систем пониженной размерности	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
4 Наноструктуры и сверхрешетки	Написание отчета по курсовой работе	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	5		

Согласована на портале № 54129

5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10	Тестирование
	Итого	6		
Итого за семестр		38		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		74		

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

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

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

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Курс. раб.	Сам. раб.	
ПКР-7		+	+	+	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе, Тестирование, Экзамен
ПКР-10	+	+	+	+	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе, Тестирование, Экзамен
ПКР-13		+	+	+	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
2 семестр				
Тестирование	15	25	30	70

Согласована на портале № 54129

Экзамен				30
Итого максимум за период	15	25	30	100
Нарастающим итогом	15	40	70	100

Балльные оценки для курсовой работы представлены в таблице 6.1.1.

Таблица 6.1.1 – Балльные оценки для курсовой работы

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
2 семестр				
Отчет по курсовой работе	25	25	50	100
Итого максимум за период	25	25	50	100
Нарастающим итогом	25	50	100	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

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

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

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

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Полупроводниковая оптоэлектроника. Физические основы современной оптоэлектроники: учебное пособие/ В.Н. Давыдов. - Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. 2021. - 142 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 5 экз.).

2. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. -88 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/537.

Согласована на портале № 54129

7.2. 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. - 224с. (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. (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.).

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физические основы оптоэлектроники: Учебно-методическое пособие для студентов направлений подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства» / В. Н. Давыдов - 2016. 92 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5964.

2. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства: Методические указания к практическим занятиям / А. С. Мягков - 2012. 53 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2495.

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

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

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная 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:

Согласована на портале № 54129

- 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.

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для курсовой работы

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.

8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:
- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

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

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.5. 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 зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например,

Согласована на портале № 54129

текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

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

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 История развития оптоэлектроники	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Основные понятия физики наносистем	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Физика систем пониженной размерности	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Наноструктуры и сверхрешетки	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 54129

6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

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

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

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

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции

Согласована на портале № 54129

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

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Что такое квантовая яма?
   а) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, больше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях.
   б) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, больше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях, и размерами больше длины волны де Бройля.
   в) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, меньше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях, и размерами больше длины волны де Бройля.
   г) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, меньше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях, и размерами по одной координате меньше длины волны де Бройля
2. Что такое квантовая проволока?
   а) Это проволоко-подобный полупроводник с шириной запрещенной зоны больше ширины зоны окружающей среды.
   б) Это тонкая проволока, изготовленная из полупроводника с малой шириной запрещенной зоны.
   в) Это нанокристаллический объект из полупроводника с малой шириной запрещенной зоны и имеющий толщину больше длины волны де Бройля, окруженный полупроводником с большой шириной запрещенной зоны.
   г) Это нанокристаллический объект из полупроводника с большой шириной запрещенной зоны и имеющий толщину больше длины волны де Бройля.
3. Что такое квантовая точка?
   а) Это крупинка полупроводникового материала размерами больше длины волны де Бройля и имеющего большую ширину запрещенной зоны.
   б) Это крупинка полупроводникового материала, имеющего большую ширину запрещенной зоны.
   в) Это крупинка полупроводникового материала размерами меньше длины волны де Бройля, окруженная материалом, с большой шириной запрещенной зоны.
   г) Это крупинка полупроводникового материала размерами меньше длины волны де Бройля, окруженная материалом с малой шириной запрещенной зоны.

Согласована на портале № 54129

4. Что такое функция плотности состояний для квантовой ямы?
   а) Это функция, показывающая распределение упругих свойств материала квантовой ямы по её глубине.
   б) Это функция, показывающая количество электронов, находящихся в квантовой яме по её толщине.
   в) Это функция, показывающая сколько разрешенных состояний имеется в квантовой яме на единицу её толщины.
   г) Это функция, показывающая сколько разрешенных состояний имеется в квантовой яме на единичный интервал энергии.
5. Как выглядит функция плотности состояний для квантовой проволоки?
   а) Это параболическая зависимость числа электронов по длине проволоки.
   б) Это гиперболическая зависимость числа уровней размерного квантования по поперечному сечению проволоки.
   в) Это экспоненциальная зависимость числа уровней размерного квантования по поперечному сечению проволоки.
   г) Это зависимость числа уровней размерного квантования в единичном интервале энергии.
6. Как выглядит функция плотности состояний для квантовой точки?
   а) Это линейный спектр в виде числа уровней размерного квантования.
   б) Это эквидистантный спектр уровней разрешенных состояний электронов.
   в) Это параболический спектр уровней разрешенных состояний для электронов.
   г) Это экспоненциальный спектр запрещенных состояний для электронов.
7. Что такое длина волны де Бройля?
   а) Это расстояние, которое проходит волна де Бройля в кристалле.
   б) Это расстояние, которое должен пройти электрон в кристалле прежде чем из частицы он превратится в волну.
   в) Это расстояние, которое должен пройти электрон в кристалле прежде чем из волны он превратится в частицу.
   г) Это толщина потенциальной ямы, находясь в которой электрон превращается из частицы в волну.
8. Как зависит длина волны де Бройля от энергии частицы?
   а) Длина волны де Бройля не зависит от энергии.
   б) Длина волны де Бройля линейно зависит от энергии электрона.
   в) Длина волны де Бройля экспоненциально зависит от энергии электрона.
   г) Длина волны де Бройля линейно зависит от энергии электрона обратно пропорционально корню из энергии.
9. Как зависит длина волны де Бройля от массы частицы?
   а) Длина волны де Бройля не зависит от массы частицы.
   б) Длина волны де Бройля линейно зависит от массы электрона обратно пропорционально корню из массы.
   в) Длина волны де Бройля линейно зависит от массы электрона пропорционально корню из энергии.
   г) Длина волны де Бройля линейно экспоненциально зависит от массы электрона.
10. Чем отличается сверхрешетка от множества квантовой ямы?
    а) Сверхрешетка представляет собой множество невзаимодействующих между собой квантовых точек равномерно распределенных по объему кристалла.
    б) Сверхрешетка представляет собой множество невзаимодействующих между собой квантовых ям, равномерно распределенных по объему кристалла.
    в) Сверхрешетка представляет собой множество взаимодействующих между собой квантовых ям, равномерно распределенных по объему кристалла.
    г) Сверхрешетка представляет собой множество взаимодействующих между собой квантовых ям, случайным образом распределенных по объему кристалла.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Свойства основных объектов наноэлектроники: квантовых ям, квантовых проволок, квантовых точек, множественных квантовых ям, сверхрешёток. Условие возникновения размерного квантования.

Согласована на портале № 54129

2. Поперечный перенос в наноструктурах: резонансное туннелирование в наноструктурах, токопротекание в сверхрешётках и блоховские осцилляции, образование штарковских лестниц, образование областей с отрицательным дифференциальным сопротивлением.
3. Поведение наноструктур в постоянном электрическом поле. Токопротекание в квантовых ямах, проводимость квантовой проволоки, кулоновская блокада переноса заряда.
4. Квантовые ямы: строение, возможные типы квантовых ям, их энергетический и долинный спектры, вид функции плотности состояний в квантовой яме (квантовые ямы прямоугольной формы, параболической формы и треугольной формы).
5. Квантовые проволоки и квантовые точки: строение, их энергетический и долинный спектры, вид функции плотности состояний, роль упругих напряжений в формировании долинного спектра валентной зоны. Роль экситонных явления в квантовых ямах.
6. Процессы переноса заряда в квантовых наноструктурах: вид функции плотности состояний в поволоке, токопротекание в квантовой проволоке, формула Ландауэра, токопротекание в квантовой точке, вид функции плотности состояний в квантовой точке, кулоновская блокада.
7. Понятие сверхрешётки в наноэлектронике. Её типы, энергетические диаграммы и спектры энергий электронов, его зависимость от периода трансляции решётки.
8. Оптические свойства наноразмерных систем: оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток, оптические свойства квантовых точек (уширение запрещенной зоны, повышение силы осциллятора, уширение спектров излучения).
9. Эффект Франца-Келдыша в квантово-размерный объектах: физическая суть эффекта и его применение.
10. Квантово-размерный эффект Штарка: физическая суть эффекта и его применение.

9.1.3. Примерный перечень вопросов для защиты курсовой работы

1. Какова физическая причина размерного квантования в полупроводниковых элементах?
2. Поясните физический смысл длины волны де Бройля?
3. Почему введение квантовых ям позволяет увеличить коэффициент полезного действия источники излучения типа лазер и светодиод?
4. Какова суть квантово-размерного эффекта Штарка?
5. Какова суть эффекта Франца-Келдыша?
6. По какой причине эффект двулучепреломления используют для модуляции оптического излучения?
7. В чем различие структуры множественных квантовых ям о сверхрешетки?

9.1.4. Примерный перечень тематик курсовых работ

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).
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.
3. Расчет энергетического спектра сверхрешетки на основе гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой ямы: прямоугольная, параболическая.
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.
5. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-амперных характеристик (метод токового дифференцирования).
6. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-фарадных характеристик (метод емкостного профилирования).
7. 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).
8. Исследование излучательной способности наноструктур с варьируемым числом

Согласована на портале № 54129

квантовых ям (сравнение излучения диффузионного p-n перехода и гетероструктуры с множественными квантовыми ямами).

9.2. Методические рекомендации

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

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

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

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

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

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

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

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

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

Основные методические рекомендации касаются организации и контроля выполнения самостоятельных заданий.

Структура подачи лекционного материала. Среди разнообразных методов наибольшая активностьстудентов наблюдается при применении технологии "интенсивной педагогики" в виде "продвинутой конферентной обзорной лекции", совмещенной с семинаром. Важно на фоне общих учебных заданий найти "изюминку" в 4каждом задании студента и показать актуальность и перспективы применения решения. Также важно показать достижения конкретных выпускников по предложенной тематике.

Практические занятия. Интерес к заданию появляется тогда, когда у него получаются решения по предложенным заданиям. Выполнение задания учитывает возможности и наклонности студента и позволяет предложить творческое развитие отдельных частей задания.

Защита самостоятельной (курсовой) работы. Наибольший интерес к развитию дает научно-техническая конференция, где каждый студент выступает с сообщением о своей работе. При подготовке к выступлению у студента происходит переоценка своей деятельности, прирост команды энтузиастов к развитию работы. Это способствует развитию общекультурных профессиональных компетенций, вырабатывает навыки грамотного изложения результатов работы и защиты их перед аудитории.

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

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

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения

Согласована на портале № 54129

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

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

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

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

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

– письменно на бумаге;
– набор ответов на компьютере;
– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– 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 № 54129

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП
протокол № 87 от «20» 11 2020 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ЭП	С.М. Шандаров	Согласовано, ab3ff0e2-dc9a-420c-9fb4-5f882facc349
Заведующий обеспечивающей каф. ЭП	С.М. Шандаров	Согласовано, ab3ff0e2-dc9a-420c-9fb4-5f882facc349
Начальник учебного управления	Е.В. Саврук	Согласовано, fa63922b-1fce-4a6a-845d-9ce7670b004c

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. ЭП	А.И. Аксенов	Согласовано, d90d5f87-f1a9-4440-b971-ce4f7e994961
Профессор, каф. ЭП	Л.Н. Орликов	Согласовано, 8afa57b7-3fcf-44bc-922a-3c3f168876e6

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ЭП	В.Н. Давыдов	Разработано, 0a70921e-3a8f-4010-94a3-71f1447ec6f2

Согласована на портале № 54129