

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 УР

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Владелец: Семенко Павел Васильевич

Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

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 2024 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 | 180 | 180 | часов |
| (включая промежуточную аттестацию) | 5 | 5 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестация | Семестр |
|--------------------------------|---------|
| Экзамен | 2 |
| Курсовая работа | 2 |

Томск

Согласована на портале № 78974

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 профессиональной подготовки (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 | | |

| | | |
|---|--|---|
| ПК-1. Способен к организации и проведению научных экспериментов с применением квантовых и оптических приборов и устройств | ПК-1.1. Знает принципы планирования и проведения экспериментов с применением квантовых и оптических приборов и устройств | Принципы планирования и проведения экспериментов с применением квантовых и оптических приборов и устройств. |
| | ПК-1.2. Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования | Самостоятельное проведение экспериментальных исследований |
| | ПК-1.3. Владеет навыками проведения исследований с применением квантовых и оптических приборов и устройств | Навыки проведения исследований с применением квантовых и оптических приборов и устройств |

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, 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 | ПК-1 |
| 2 Основные понятия физики наносистем | 4 | 4 | | 6 | 14 | ПК-1 |
| 3 Физика систем пониженной размерности | 9 | 16 | | 6 | 31 | ПК-1 |
| 4 Наноструктуры и сверхрешетки | 4 | 6 | | 5 | 15 | ПК-1 |
| 5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле | 6 | 4 | | 6 | 16 | ПК-1 |
| 6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур | 6 | 4 | | 6 | 16 | ПК-1 |
| 7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением | 6 | 14 | | 6 | 26 | ПК-1 |
| Итого за семестр | 36 | 52 | 18 | 38 | 144 | |
| Итого | 36 | 52 | 18 | 38 | 144 | |

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

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 | ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Основные понятия физики наносистем | Характерные длины в мезоскопических системах и основные объекты наноэлектроники. | 4 | ПК-1 |
| | 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 | ПК-1 |
| | 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 | ПК-1 |
| | 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 ямах. Квантовый перенос в квантовых проволоках, квантовых точках | 6 | ПК-1 |
| | 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 | ПК-1 |
| | Итого | 6 | |
| 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 | ПК-1 |
| | 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 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 2 Основные понятия физики наносистем | Задачи на вычисление длины волны де Бройля, длины экранирования в различных полупроводниковых материалах | 4 | ПК-1 |
| | 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 | ПК-1 |
| | Итого | 16 | |
| 4 Наноструктуры и сверхрешетки | Задачи на вычисление энергетического спектра сверхрешеток по методу Кронига-Пенни. | 6 | ПК-1 |
| | Итого | 6 | |
| 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 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур | 6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур Задачи по вычислению излучающих свойств квантовых ям и квантовых точек. | 4 | ПК-1 |
| | 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 | ПК-1 |
| | 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 | | |
|---|----|------|
| Физическое содержание длины волны де Бройля. Обоснование эффекта размерного квантования. | 2 | ПК-1 |
| Решение задач на вычисление энергетического спектра квантовой ямы прямоугольного профиля различной толщины | 2 | ПК-1 |
| Вычисление энергетического спектра треугольного профиля различного наклона различной толщины. | 2 | ПК-1 |
| Принцип получения прямоугольной квантовой ямы комбинированного профиля. Его энергетические возможности захвата носителей заряда и уменьшение величины пьезополя. | 2 | ПК-1 |
| вычисление энергетического спектра прямоугольной ямы комбинированного профиля для случая объединения двух ям и трех. | 4 | ПК-1 |
| Энергетический спектр квантовой проволоки и её использование в полупроводниковой оптоэлектронике. | 2 | ПК-1 |
| Применение метода эквивалентных схем для моделирования процессов захвата носителей заряда и их излучательной рекомбинации. | 2 | ПК-1 |
| Экспериментальное определение наличия квантовых ям в гетероструктурах из InGaN/GaN методом емкостного профилирования. | 2 | ПК-1 |
| 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 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 | ПК-1 | Курсовая работа, Отчет по курсовой работе |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-1 | Тестирование |
| | Итого | 3 | | |
| 2 Основные понятия физики наносистем | Написание отчета по курсовой работе | 5 | ПК-1 | Курсовая работа, Отчет по курсовой работе |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-1 | Тестирование |
| | Итого | 6 | | |
| 3 Физика систем пониженной размерности | Написание отчета по курсовой работе | 5 | ПК-1 | Курсовая работа, Отчет по курсовой работе |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-1 | Тестирование |
| | Итого | 6 | | |
| 4 Наноструктуры и сверхрешетки | Написание отчета по курсовой работе | 4 | ПК-1 | Курсовая работа, Отчет по курсовой работе |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-1 | Тестирование |
| | Итого | 5 | | |
| 5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле | Написание отчета по курсовой работе | 5 | ПК-1 | Курсовая работа, Отчет по курсовой работе |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-1 | Тестирование |
| | Итого | 6 | | |
| 6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур | Написание отчета по курсовой работе | 5 | ПК-1 | Курсовая работа, Отчет по курсовой работе |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-1 | Тестирование |
| | Итого | 6 | | |
| 7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением | Написание отчета по курсовой работе | 5 | ПК-1 | Курсовая работа, Отчет по курсовой работе |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-1 | 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. | |
| ПК-1 | + | + | + | + | 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 |
| 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 | E (посредственно) |
| | 60 – 64 | |
| 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. Нанозлектроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. -88 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/537>.

7.2. Дополнительная литература

1. Борисенко, Виктор Евгеньевич. Нанозлектроника [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:

- 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, 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 | ПК-1 | Отчет по курсовой работе | Примерный перечень тематик курсовых работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |

| | | | |
|--|------|--------------------------|---|
| 2 Основные понятия физики наносистем | ПК-1 | Отчет по курсовой работе | Примерный перечень тематик курсовых работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 3 Физика систем пониженной размерности | ПК-1 | Отчет по курсовой работе | Примерный перечень тематик курсовых работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 4 Наноструктуры и сверхрешетки | ПК-1 | 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 | ПК-1 | Отчет по курсовой работе | Примерный перечень тематик курсовых работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур | ПК-1 | 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 | ПК-1 | 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 |
|----------------------------|--|
| 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 запрещенной зоной, больше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях.
- б) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещенной зоной, больше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях, и размерами больше длины волны де Бройля.
- в) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещенной 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.
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 нанoeлектроники: квантовых ям, квантовых проволок, квантовых точек, множественных квантовых ям, сверхрешёток. Условие возникновения размерного квантования.
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 проволоке, токопротекание в квантовой проволоке, формула Ландауэра, токопротекание в квантовой точке, вид функции плотности состояний в квантовой точке, кулоновская блокада.
7. Понятие сверхрешётки в нанoeлектронике. Её типы, энергетические диаграммы и спектры энергий электронов, его зависимость от периода трансляции решётки.
8. Оптические свойства наноразмерных систем: оптические свойства квантовых ям и сверхрешёток, оптические свойства квантовых точек (уширение запрещенной зоны, повышение силы осциллятора, уширение спектров излучения).
9. Эффект Франца-Келдыша в квантово-размерных 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 источника 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 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 активность студентов наблюдается при применении технологии "интенсивной

педагогики» в виде «продвинутой конференционной обзорной лекции», совмещенной с семинаром. Важно на фоне общих учебных заданий найти «изюминку» в каждом 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 аудиторией.

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 |
|---|---|--|
| 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.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП
протокол № 11 от «24» 11 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|-----------------------------------|-------------------|--|
| Заведующий выпускающей каф. ЭП | Н.И. Буримов | Согласовано, 393931b1-af66-45e5- a537-c5831244e4ca |
| Заведующий обеспечивающей каф. ЭП | Н.И. Буримов | Согласовано, 393931b1-af66-45e5- a537-c5831244e4ca |
| Начальник учебного управления | И.А. Лариошина | Согласовано, c3195437-a02f-4972- a7c6-ab6ee1f21e73 |

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 |
|--------------------|--------------|--|