

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования

Документ подписан электронной подписью
Сертификат: 1сбсfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Владелец: Троян Павел Ефимович
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Интегральная оптоэлектроника

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

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 2 семестр | Всего | Единицы |
|---|------------------------------|-----------|-------|---------|
| 1 | Лекции | 18 | 18 | часов |
| 2 | Лабораторные работы | 18 | 18 | часов |
| 3 | Всего аудиторных занятий | 36 | 36 | часов |
| 4 | Из них в интерактивной форме | 12 | 12 | часов |
| 5 | Самостоятельная работа | 36 | 36 | часов |
| 6 | Всего (без экзамена) | 72 | 72 | часов |
| 7 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| 8 | Общая трудоемкость | 108 | 108 | часов |
| | | 3.0 | 3.0 | З.Е. |

Экзамен: 2 семестр

Томск 2018

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Разработчик:

Доцент каф. ФЭ _____ Ю. В. Сахаров

Заведующий обеспечивающей каф.
ФЭ

_____ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ _____ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф.
ФЭ

_____ П. Е. Троян

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)

_____ И. А. Чистоедова

Заведующий кафедрой физической электроники (ФЭ)

_____ П. Е. Троян

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

дать представления о фундаментальных физических процессах, лежащих в основе современной оптоэлектроники, определить ее возможности и пути дальнейшего развития, рассмотреть принципы работы, особенности конструкций, технические характеристики и основные параметры приборов и устройств интегральной оптоэлектроники.

1.2. Задачи дисциплины

– Изучить принцип оптоэлектронного преобразования информационных сигналов в интегральных структурах на основе оптронов, матриц излучателей и фотоприемников, устройств ввода и отображения информации.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Интегральная оптоэлектроника» (Б1.В.ДВ.4.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники, Гетероструктурные полупроводниковые приборы, Основы СВЧ-электроники, Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники, Технология кремниевой нанoeлектроники.

Последующими дисциплинами являются: Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС, Проектирование и технология электронной компонентной базы, Физические основы надежности изделий твердотельной электроники.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

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

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

– ПК-10 способностью разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники;

– ПК-12 способностью разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** физические принципы функционирования основных элементов и приборов интегральной оптоэлектроники, их основные параметры и технологию изготовления.

– **уметь** Проводить исследования и определять основные параметры элементов и приборов интегральной оптоэлектроники.

– **владеть** Основными методиками по определению основных параметров элементов и приборов интегральной оптоэлектроники.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

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

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|------------------------------|-------------|-----------|
| | | 2 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 36 | 36 |
| Лекции | 18 | 18 |
| Лабораторные работы | 18 | 18 |
| Из них в интерактивной форме | 12 | 12 |

| | | |
|--|-----|-----|
| Самостоятельная работа (всего) | 36 | 36 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 18 | 18 |
| Подготовка к лабораторным работам | 10 | 10 |
| Проработка лекционного материала | 8 | 8 |
| Всего (без экзамена) | 72 | 72 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, ч | 108 | 108 |
| Зачетные Единицы | 3.0 | 3.0 |

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лек., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---------|--------------|--------------|----------------------------|--------------------------|
| 2 семестр | | | | | |
| 1 Введение | 2 | 0 | 2 | 4 | ПК-1 |
| 2 Оптика полупроводников | 4 | 0 | 2 | 6 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |
| 3 Гетероструктуры и квантовые размерные эффекты в полупроводниках | 4 | 0 | 1 | 5 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |
| 4 Приборы и устройства интегральной оптоэлектроники | 4 | 18 | 29 | 51 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |
| 5 Технология изготовления элементов и приборов интегральной оптоэлектроники | 4 | 0 | 2 | 6 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |
| Итого за семестр | 18 | 18 | 36 | 72 | |
| Итого | 18 | 18 | 36 | 72 | |

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (по лекциям) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|-------------------|--|-----------------|-------------------------|
| 2 семестр | | | |
| 1 Введение | Цели и задачи курса. Оптические методы передачи, обработки и хранения информации, их роль в современной науке и технике. Терминология, основные понятия и определения. Краткая историческая справка. | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |

| | | | |
|---|---|---|--------------------------|
| 2 Оптика полоупроводников | Зонная структура полупроводниковых кристаллов групп А, А4 В4, А3 В5 и А2 В6 . Особенности электронного спектра полупроводниковых твердых растворов. Приближение виртуального кристалла. Эффекты беспорядка. Электронные состояния в аморфных полупроводниках. Оптические переходы в полупроводниках. Правила отбора и законы сохранения. Собственное поглощение. Экситонные эффекты. Собственное поглощение в твердых растворах и сильно легированных полупроводниках. Примесное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда. Поглощение на колебаниях решетки. Рефракция света в полупроводниках и твердых растворах. Излучательная рекомбинация в полупроводниках. Квазиуровни Ферми. Механизмы люминесценции. Связь спектров поглощения и люминесценции. Излучательное время жизни. Квантовый выход и эффективность люминесценции. Безизлучательная рекомбинация. Процессы Оже. Влияние легирования и внешних воздействий на свойства полупроводников. Фотоэлектрические эффекты. Стационарная фотопроводимость. Спектры фотопроводимости. Кинетика фотопроводимости в случае линейной и квадратичной рекомбинации. Фотодиффузионный эффект. Увлечение носителей заряда фотонами. Фотовольтаические эффекты. | 4 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Гетероструктуры и квантовые размерные эффекты в полупроводниках | Гетероструктуры в полупроводниках. Идеальный гетеропереход. Резкие и плавные гетеропереходы. Варизонные структуры. Требования к материалам. Энергетические диаграммы. Эффект односторонней инжекции. Эффект сверхинжекции. Эффект широкозонного окна. Оптическое и электронное ограничение. Гетероструктуры с квантовыми размерными слоями. Эффекты размерного квантования. Квантовые ямы. Квантовые нити. Квантовые точки. Электронный спектр двумерных и одномерных систем. Сверхрешетки. Различные типы сверхрешеток. Легированные сверхрешетки. Напряженные сверхрешетки. Свойства электронов в сверхрешетках. Методы и технология изготовления полупроводниковых гетероструктур и сверхрешеток. | 4 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Приборы и устройства интегральной оптоэлектроники | Светодиоды и лазеры на основе полупроводниковых гетероструктур. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Фотоприемники. Приборы управления оптическим излучением. Оптроны и оптические датчики. Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка. Индикаторы, дисплеи и оптические запоминающие устройства. Воло- | 4 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |

| | | | |
|---|--|----|--------------------------|
| | конно-оптические линии связи. ИК-фотоприемники на полупроводниковых гетероструктурах. Элементы интегральной оптики. Оптические методы обработки информации. | | |
| | Итого | 4 | |
| 5 Технология изготовления элементов и приборов интегральной оптоэлектроники | Методы создания p-n и гетеропереходов в полупроводниках, методы обработки и защиты поверхности приборных структур, методы нанесения металлических и диэлектрических пленок. Эпитаксиальные методы в технологии оптоэлектронных приборов. Метод химических газотранспортных реакций, молекулярно-лучевая эпитаксия, эпитаксиальное выращивание из жидкой фазы. Технология оптоэлектронных приборов: светодиодов и лазеров, опторонов, фотоприемников, преобразователей солнечной энергии. Технология элементов интегральной оптики. Основные тенденции в технологии оптоэлектронных приборов. | 4 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

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

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

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | |
| 1 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники | + | + | + | + | + |
| 2 Гетероструктурные полупроводниковые приборы | + | + | + | + | + |
| 3 Основы СВЧ-электроники | + | + | + | + | + |
| 4 Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники | + | + | + | + | + |
| 5 Технология кремниевой нанoeлектроники | + | + | + | + | + |
| Последующие дисциплины | | | | | |
| 1 Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС | + | + | + | + | + |
| 2 Проектирование и технология электронной компонентной базы | + | + | + | + | + |
| 3 Физические основы надежности изделий твердотельной электроники | | | | + | + |

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий | | | Формы контроля |
|-------------|--------------|-----------|-----------|--|
| | Лек. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
| ПК-1 | + | + | + | Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест |
| ПК-4 | + | + | + | Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест |
| ПК-10 | + | + | + | Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест |
| ПК-12 | + | + | + | Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест |

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

| Методы | Интерактивные лабораторные занятия, ч | Интерактивные лекции, ч | Всего, ч |
|--|---------------------------------------|-------------------------|----------|
| 2 семестр | | | |
| Презентации с использованием мультимедиа с обсуждением | | 6 | 6 |
| Поисковый метод | 4 | | 4 |
| Работа в команде | 2 | | 2 |
| Итого за семестр: | 6 | 6 | 12 |
| Итого | 6 | 6 | 12 |

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|-----------------|--------------------------|
| 2 семестр | | | |
| 4 Приборы и устройства интегральной оптоэлектроники | Исследование спектральных характеристик и внешней квантовой эффективности полупроводниковых светодиодов | 4 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 |

| | | | |
|------------------|---|----|--|
| | Исследования исследования фоторадиометрических параметров излучающих светодиодов | 4 | |
| | Исследование кремниевого солнечного элемента | 2 | |
| | Исследование интегральных оптопар | 4 | |
| | Исследование спектральной чувствительности кремниевого фотодиода ФД-24К и спектра излучения ртутно-гелиевой газоразрядной лампы ДРГС-12 | 4 | |
| | Итого | 18 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

8. Практические занятия (семинары)

Не предусмотрено РУП.

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|--|-----------------|--------------------------|--|
| 2 семестр | | | | |
| 1 Введение | Проработка лекционного материала | 2 | ПК-1 | Опрос на занятиях, Тест, Экзамен |
| | Итого | 2 | | |
| 2 Оптика полупроводников | Проработка лекционного материала | 2 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен |
| | Итого | 2 | | |
| 3 Гетероструктуры и квантовые размерные эффекты в полупроводниках | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен |
| | Итого | 1 | | |
| 4 Приборы и устройства интегральной оптоэлектроники | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к лабораторным работам | 10 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 18 | | |
| | Итого | 29 | | |
| 5 Технология изготовления элементов и приборов интегральной оптоэлектроники | Проработка лекционного материала | 2 | ПК-1, ПК-10, ПК-12, ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен |
| | Итого | 2 | | |
| Итого за семестр | | 36 | | |

| | | | | |
|-------|-----------------------------|----|--|---------|
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 72 | | |

10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|-------------------------------|--|---|---|------------------|
| 2 семестр | | | | |
| Опрос на занятиях | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Отчет по лабораторной работе | | 20 | 20 | 40 |
| Тест | | 5 | 10 | 15 |
| Итого максимум за период | 5 | 30 | 35 | 70 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 5 | 35 | 70 | 100 |

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

| Баллы на дату контрольной точки | Оценка |
|---|--------|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 2 |

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Игнатов ; ред. С. В. Макаров ; рец.: А. М. Копылов, И. А. ДЕРЕБЕЗОВ ; худож. Е. А. Власова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2017 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/95150/#3> (дата обращения: 01.07.2018).
2. Оптоэлектронные устройства на полупроводниковых излучателях / Э. С. Мусаев. - М. : Радио и связь, 2004. - 205 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 50 экз.)
3. Оптоэлектроника : Пер. с фр. / Э. Розеншер, Б. Винтер ; ред. пер. О. Н. Ермаков. - М. : Техносфера, 2006. - 588 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 40 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Оптоэлектроника и нанофотоника: учебное пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - СПб. : Лань, 2011. - 539 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)
2. Прикладная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков. - М. : Техносфера, 2004. - 414 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 44 экз.)
3. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники: учебное пособие для вузов: в 2 ч. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - ISBN 978-5-94774-913-7. Ч. 2 / В. М. Рощин, М. В. Силибин. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 181 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 25 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Смирнов С.В. Интегральная оптоэлектроника: Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ и самостоятельной работы для студентов магистратуры, обучающихся по направлению 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника». – изд-во Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2018. – 47 с [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Smirnov/IO_Lab.pdf (дата обращения: 01.07.2018).

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

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

Для лиц с нарушениями зрения:

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

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

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

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория гетероструктурной электроники и светодиодной техники

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 216 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Оптический УФ спектрометр USB2000;
- ИК Фурье-спектрометр Infracum FT-801 с приставкой на отражение;
- Растровый электронный микроскоп Hitachi TM-1000 с микроанализатором Bruker Quantax

50EDX;

- Рамановский спектрометр Avantes-532TEC;
- Измеритель параметров полупроводниковых приборов Метроном-03;
- Микроинтерферометр Линника МИИ-4М;
- Цифровой RLC-метр Protek 9216A;
- Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20;
- Компьютер (4 шт.);
- Ноутбук;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- AvaSoft ThinFilm – USB1
- AvaSoft-Raman for AvaSpec
- AvaSpec – USB 1
- OOIBase
- PDF-XChange Viewer
- ВАХ
- ВФХ

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

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

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

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

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

Какой квантовый эффект лежит в основе работы оптических модуляторов

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

2. Какая длина волны соответствует нижней границе оптического диапазона?

- а) 1 нм;
- б) 10 нм;
- в) 100 нм;
- г) 1 мкм.

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

- а) 1 %
- б) 0,1 %
- в) 5 %
- г) 8 %

4. В какую из сверхрешеток входят полупроводники с одинаковым химическим составом:

- а) композиционную
- б) легированную
- в) модулировано –легированную

г) во все перечисленные.

5. Какое обозначение соответствует оплотрону?

- а) АЛС316А;
- б) АП601В;
- в) АОР301А;
- г) ЗЛ341Г.

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

- а) 0
- б) 1
- в) 4
- г) 9

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

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

8. Какой материал относится не к прямозонным?

- а) ZnSe;
- б) GaP;
- в) GaN;
- г) CdS.

9. Какие материалы позволяют создавать гетерооптоэлектронные приборы?

- а) Ge-Ge;
- б) Si-Si;
- в) GaAs-GaAlAs;
- г) GaAs-GaAs.

10. Какой механизм генерации излучения реализуется в полупроводниках?

- а) эффект термоэлектронной эмиссии;
- б) эффект генерации электронно-дырочных пар;
- в) эффект рекомбинации;
- г) эффект фотолюминесценции.

11. Какой параметр характеризует распространение электромагнитной волны?

- а) длина волны;
- б) показатель преломления;
- в) напряженность электрического поля;
- г) начальная фаза.

12. Что называется модой оптического излучения?

- а) электромагнитная волна;
- б) частота излучения;
- в) степень когерентности;
- г) поляризация излучения.

13. Какой из методов эпитаксии, позволяет получать качественную гетерограницу в гетроструктурах:

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

14. От чего зависит частота излучения светодиода?

- а) от напряжения;
- б) от прямого тока;
- в) от ширины запрещенной зоны;
- г) от обратного напряжения.

15. Какие условия необходимы для возникновения лазерной генерации?

- а) условие баланса фаз;
- б) условие баланса;
- в) наличие элемента накачки;
- г) наличие оптического резонатора.

16. На каком эффекте основана работа полупроводниковых фотоприемников?

- а) рекомбинация электронов и дырок;
- б) генерация электронов и дырок за счет электрического поля;
- в) разделение электронно-дырочных пар под действием фотонов;
- г) образование электронно-дырочных пар по действием фотонов.

17. Как используется закон Бугера в оптоэлектронике?

- а) позволяет рассчитать числовую апертуру;
- б) позволяет определить фоточувствительность фотоприемника;
- в) позволяет оценить степень поглощения света в твердом теле;
- г) позволяет определить граничную длину волны фотоприемника.

18. Каковы особенности ЛФД-фотоприемников?

- а) фотодиффузионный режим;
- б) низкий уровень собственных шумов;
- в) возможность усиления фототока;
- г) повышенный уровень собственных шумов.

19. Что предусматривается в структуре фотоприемника для повышения чувствительности?

- а) короткая поглощающая свет область;
- б) длинная поглощающая свет область;
- в) узкая поглощающая свет область;
- г) оптические контакты с низким сопротивлением.

20. В какой области фотоносители перемещаются, используя механизм дрейфа?

- а) оптических контактов;
- б) р-п перехода;
- в) в пассивной р области;
- г) в пассивной n области.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Оптические методы передачи, обработки и хранения информации, их роль в современной науке и технике.
2. Зонная структура полупроводниковых кристаллов групп А₃В₅, А₂В₆ и А₃В₅. Особенности электронного спектра полупроводниковых твердых растворов.
3. Приближение виртуального кристалла. Эффекты беспорядка.
4. Электронные состояния в аморфных полупроводниках. Оптические переходы в полупроводниках.

5. Правила отбора и законы сохранения. Собственное поглощение. Экситонные эффекты.
6. Собственное поглощение в твердых растворах и сильно легированных полупроводниках. Примесное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда. Поглощение на колебаниях решетки.
7. Рефракция света в полупроводниках и твердых растворах. Излучательная рекомбинация в полупроводниках. Квазиуровни Ферми.
8. Механизмы люминесценции. Связь спектров поглощения и люминесценции. Излучательное время жизни.
9. Квантовый выход и эффективность люминесценции. Безизлучательная рекомбинация.
10. Процессы Оже. Влияние легирования и внешних воздействий на свойства полупроводников.
11. Фотоэлектрические эффекты. Стационарная фотопроводимость. Спектры фотопроводимости. Кинетика фотопроводимости в случае линейной и квадратичной рекомбинации.
12. Фотодиффузионный эффект. Увлечение носителей заряда фотонами. Фотовольтаические эффекты.
13. Гетероструктуры в полупроводниках. Идеальный гетеропереход. Резкие и плавные гетеропереходы. Варизонные структуры. Требования к материалам.
14. Энергетические диаграммы гетероструктур. Эффект односторонней инжекции. Эффект сверхинжекции. Эффект широкозонного окна. Оптическое и электронное ограничение.
15. Гетероструктуры с квантовыми размерными слоями. Эффекты размерного квантования. Квантовые ямы. Квантовые нити. Квантовые точки. Электронный спектр двумерных и одномерных систем.
16. Сверхрешетки. Различные типы сверхрешеток. Легированные сверхрешетки. Напряженные сверхрешетки. Свойства электронов в сверхрешетках.
17. Методы и технология изготовления полупроводниковых гетероструктур и сверхрешеток.
18. Светодиоды и лазеры на основе полупроводниковых гетероструктур.
19. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Фотоприемники. Приборы управления оптическим излучением.
20. Оптроны и оптические датчики. Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка.
21. Индикаторы, дисплеи и оптические запоминающие устройства.
22. Волоконно-оптические линии связи. ИК-фотоприемники на полупроводниковых гетероструктурах.
23. Элементы интегральной оптики. Оптические методы обработки информации.
24. Методы создания p-n и гетеропереходов в полупроводниках, методы обработки и защиты поверхности приборных структур, методы нанесения металлических и диэлектрических пленок.
25. Эпитаксиальные методы в технологии оптоэлектронных приборов. Метод химических газотранспортных реакций, молекулярно-лучевая эпитаксия, эпитаксиальное выращивание из жидкой фазы.
26. Технология оптоэлектронных приборов: светодиодов и лазеров, опторонов, фотоприемников, преобразователей солнечной энергии.
27. Технология элементов интегральной оптики. Основные тенденции в технологии оптоэлектронных приборов.

14.1.3. Темы опросов на занятиях

Цели и задачи курса. Оптические методы передачи, обработки и хранения информации, их роль в современной науке и технике. Терминология, основные понятия и определения. Краткая историческая справка.

Зонная структура полупроводниковых кристаллов групп A, A4 B4, A3 B5 и A2 B6. Особенности электронного спектра полупроводниковых твердых растворов. Приближение виртуального кристалла. Эффекты беспорядка. Электронные состояния в аморфных полупроводниках. Оптические переходы в полупроводниках. Правила отбора и законы сохранения. Собственное поглощение. Экситонные эффекты. Собственное поглощение в твердых растворах и сильно легированных полупроводниках. Примесное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда. Поглощение на колебаниях решетки. Рефракция света в полупроводниках и твердых растворах. Излучатель-

ная рекомбинация в полупроводниках. Квазиуровни Ферми. Механизмы люминесценции. Связь спектров поглощения и люминесценции. Излучательное время жизни. Квантовый выход и эффективность люминесценции. Безизлучательная рекомбинация. Процессы Оже. Влияние легирования и внешних воздействий на свойства полупроводников. Фотоэлектрические эффекты. Стационарная фотопроводимость. Спектры фотопроводимости. Кинетика фотопроводимости в случае линейной и квадратичной рекомбинации. Фотодиффузионный эффект. Увлечение носителей заряда фотонами. Фотовольтаические эффекты.

Гетероструктуры в полупроводниках. Идеальный гетеропереход. Резкие и плавные гетеропереходы. Варизонные структуры. Требования к материалам. Энергетические диаграммы. Эффект односторонней инжекции. Эффект сверхинжекции. Эффект широкозонного окна. Оптическое и электронное ограничение. Гетероструктуры с квантовыми размерными слоями. Эффекты размерного квантования. Квантовые ямы. Квантовые нити. Квантовые точки. Электронный спектр двумерных и одномерных систем. Сверхрешетки. Различные типы сверхрешеток. Легированные сверхрешетки. Напряженные сверхрешетки. Свойства электронов в сверхрешетках. Методы и технология изготовления полупроводниковых гетероструктур и сверхрешеток.

Светодиоды и лазеры на основе полупроводниковых гетероструктур. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Фотоприемники. Приборы управления оптическим излучением. Оптроны и оптические датчики. Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка. Индикаторы, дисплеи и оптические запоминающие устройства. Волоконно-оптические линии связи. ИК-фотоприемники на полупроводниковых гетероструктурах. Элементы интегральной оптики. Оптические методы обработки информации.

Методы создания p-n и гетеропереходов в полупроводниках, методы обработки и защиты поверхности приборных структур, методы нанесения металлических и диэлектрических пленок. Эпитаксиальные методы в технологии оптоэлектронных приборов. Метод химических газотранспортных реакций, молекулярно-лучевая эпитаксия, эпитаксиальное выращивание из жидкой фазы. Технология оптоэлектронных приборов: светодиодов и лазеров, оптронов, фотоприемников, преобразователей солнечной энергии. Технология элементов интегральной оптики. Основные тенденции в технологии оптоэлектронных приборов.

14.1.4. Темы лабораторных работ

Исследование спектральных характеристик и внешней квантовой эффективности полупроводниковых светодиодов

Исследования исследования фоторадиометрических параметров излучающих светодиодов

Исследование кремниевого солнечного элемента

Исследование интегральных оптопар

Исследование спектральной чувствительности кремниевого фотодиода ФД-24К и спектра излучения ртутно-гелиевой газоразрядной лампы ДРГС-12

14.1.5. Методические рекомендации

Конспектирование лекций студентами является обязательным. Для допуска к экзамену необходимо выполнить все лабораторные работы, предусмотренные программой.

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

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|-----------------------|--|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |

| | | |
|---|---|---|
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

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

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

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

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

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

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

Для лиц с нарушениями зрения:

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

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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