**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Оптоэлектронные приборы и устройства

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Квантовая и оптическая электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ЭП, Кафедра электронных приборов**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 8 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 26 | 26 | часов |
| 2 | Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 16 | 16 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 60 | 60 | часов |
| 5 | Самостоятельная работа | 48 | 48 | часов |
| 6 | Всего (без экзамена) | 108 | 108 | часов |
| 7 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| 8 | Общая трудоемкость | 144 | 144 | часов |
| | | 4.0 | 4.0 | З.Е. |

Экзамен: 8 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 41672

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 66 от «20» 4 2018 г.

# ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

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

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

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

Эксперты:

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

Согласована на портале № 41672

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

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

### 1.2. Задачи дисциплины

– Задачи дисциплины заключаются в следующем:

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

– - изучение принципов работы современных приборов и устройств классической оптоэлектроники, опто- и наноэлектроники по генерации, приему и преобразованию оптического излучения;

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

– - освоение студентами подходов к решению типовых задач по расчету параметров приборов и устройств оптоэлектроники.

–

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Оптоэлектронные приборы и устройства» (Б1.В.ДВ.13.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Квантовая механика, Математика, Материалы электронной техники, Твердотельная электроника, Физика конденсированного состояния.

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

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-2 способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;

– ПК-5 готовностью выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

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

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

Согласована на портале № 41672

– **владеть** - способностью к обобщению, анализу и восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения при решении задач создания приборов и устройств оптоэлектроники; - физическим и математическим аппаратом современной оптической наноэлектроники, ее основными технологическими методами изготовления приборов и устройств; - навыками по организации и проведению экспериментальных исследований приборов и устройств оптоэлектроники; - навыками и методами проектирования и компьютерного моделирования приборов и устройств оптоэлектроники в микро- или наноэлектронном исполнении.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 8 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 60 | 60 |
| Лекции | 26 | 26 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| Лабораторные работы | 16 | 16 |
| Самостоятельная работа (всего) | 48 | 48 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 12 | 12 |
| Проработка лекционного материала | 7 | 7 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 29 | 29 |
| Всего (без экзамена) | 108 | 108 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, ч | 144 | 144 |
| Зачетные Единицы | 4.0 | 4.0 |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лек., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | | | |
| 1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов оптоэлектроники. | 4 | 3 | 4 | 9 | 20 | ПК-2, ПК-5 |
| 2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем. | 6 | 4 | 0 | 8 | 18 | ПК-2, ПК-5 |
| 3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | 6 | 4 | 4 | 9 | 23 | ПК-2, ПК-5 |

Согласована на портале № 41672

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | 5 | 4 | 4 | 10 | 23 | ПК-2, ПК-5 |
| 5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов. | 5 | 3 | 4 | 12 | 24 | ПК-2, ПК-5 |
| Итого за семестр | 26 | 18 | 16 | 48 | 108 | |
| Итого | 26 | 18 | 16 | 48 | 108 | |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

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

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (по лекциям) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов оптоэлектроники. | Энергетический и долинный спектр твердого тела. Механизмы электропроводности в кристаллах и способы управления ею. Тензорный и скалярный способы описания. Падение света на границу раздела: коэффициент отражения, коэффициент поляризации, полное внутреннее отражение. Эффект двулучепреломления в анизотрпоных средах и его следствия. Дифракция Вульфа – Брэгга. Рассеяние света по Комптону, по Раману, стоксовское и антистоксовское рассеяние. Отражение, преломление и рефракция света. Управление оптическими свойствами среды. | 4 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 4 | |
| 2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем. | Параметры излучающих сред. Управление временем излучательной рекомбинации в проводя-щих средах. Принцип построения оптиченского генератора. Спонтанное и вынужденное излучение атома, коэффициенты Эйнштейна. Дипольная модель излучения атома. Механизмы уширения спектра излучения. Возбуждение квантовой системы накачкой, схемы накачки. Оптические резонаторы: принцип работы, параметры, спектр частот и его уширение. Свойства плоского резонатора. Моды резонатора Фабри – Перо и их свойства. Планарный диэлектрический волновод. Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках. Обзор квантовых приборов оптического диапазона | 6 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 6 | |
| 3 Источники некогерентного оптического излучения на основе | Конструкция и параметры полупроводникового светодиода. Принципы повышения параметров светодиодов за счет квантовых ям и сверхрешеток. Спектр излучения и диаграмма направленности | 6 | ПК-2, ПК-5 |

Согласована на портале № 41672

| | | | |
|---|---|---|---|
| полупроводниковых приборов и гетероструктур. | светодиода на гетероструктурах. Брэгговские отражатели, слои растекания, ограничивающие слои. Микрорезонатор в светодиодах. Типы, параметры и конструкции светодиодов с квантовыми ямами и сверхрешетками. | | |
| | Итого | 6 | |
| 4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | Фоторезистивный и фотовольтаический принципы регистрации оптического излучения. Понятие фотопроводимости, ее механизмы и параметры. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках. Типы фотоэдс, механизмы их формирования и основные параметры. Барьерная фотоэдс. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешетках. Лавинные фотодетекторы на сверхрешетках. Параметры и конструкции фотодетекторов различных типов и назначений. Шумовые свойства полупроводниковых фотодетекторов. | 5 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 5 | |
| 5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов. | Оптическая активность кристаллов и управление ею с помощью электрического поля. Электрооптический эффект и фотоупругость в кристаллах. Оптические эффекты в квантовых точках. Квантово-размерный эффект Штарка. Модуляторы на основе электрооптических эффектов. Модуляторы на квантовых ямах. Жидкие кристаллы, их свойства. Применение жидких кристаллов для модуляции света и его отклонения. | 5 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 5 | |
| Итого за семестр | | 26 | |

**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 Квантовая механика | | + | | + | |
| 2 Математика | + | + | + | + | + |
| 3 Материалы электронной техники | + | | | | + |
| 4 Твердотельная электроника | + | + | + | + | + |
| 5 Физика конденсированного состояния | | | + | + | |
| Последующие дисциплины | | | | | |
| 1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре | + | + | + | + | + |

Согласована на портале № 41672

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| защиты и процедуру защиты | | | | | |
| 2 Преддипломная практика | + | + | + | + | + |

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

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

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

| Компетенции | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Лек. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
| ПК-2 | + | + | + | + | Домашнее задание, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Реферат |
| ПК-5 | + | + | + | + | Домашнее задание, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Реферат |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

## 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 |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов оптоэлектроники. | - Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования (лабораторная установка). | 4 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | Исследование свойств p-n перехода в приборах оптоэлектроники (компьютерное моделирование) | 4 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и | - Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов (лабораторная установка). | 4 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 4 | |

Согласована на портале № 41672

| | | | |
|---|---|---|---|
| гетероструктур. | | | |
| 5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов. | - Исследование анизотропии оптических свойств кристаллов ниобата лития (компьютерное моделирование). | 4 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 16 | |

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов оптоэлектроники. | Обсуждение природы взаимодействия света и твердого тела: падение света на границу раздела (коэффициент отражения, коэффициент поляризации, полное внутреннее отражение). Эффект двулучепреломления в анизотропных средах и его следствия. Дифракция Вульфа – Брэгга. Решение задач на полное внутреннее отражение и дифракцию Вульфа – Брэгга. Механизмы рассеяния света (по Комптону, по Раману, стоксовское и антистоксовское рассеяние). Решение задач на двучепреломление в одноосных кристаллах. | 3 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 3 | |
| 2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем. | Обсуждение механизмов излучения света твердыми телами. Принципы управления излучательной рекомбинацией в проводящих средах. Решение задач на вычисление пара-метров квантовой эффективности эмиссии излучения, коэффициентов Эйнштейна. Обсуждение свойств оптических резонаторов: принцип работы, параметры, спектр час-тот и его уширение. Моды резонатора Фабри – Перо и их свойства. Решение задач на вычисление собственных частот и ширины линии излучения открытых резонаторов. Просмотр рисунков, диаграмм, таблиц по параметрам лазеров. | 4 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | Обсуждение принципов улучшения параметров светодиодов за счет введения квантовых ям и сверхрешеток. Спектр излучения и диаграмма направленности светодиода на гетероструктурах. Решение задач на вычисление параметров светодиодов с квантовыми ямами. ограничивающие слои. Преимущества от применения в конструкции светодиодов оптического микрорезонатора. Про- | 4 | ПК-2, ПК-5 |

Согласована на портале № 41672

| | | | |
|---|---|---|---|
| | смотр рисунков, диаграмм, таблиц по параметрам светодиодов различного типа. | | |
| | Итого | 4 | |
| 4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | Обсуждение параметров фотодетекторов на основе фотопроводимости и барьерной фотоэдс. Решение задач на вычисление фоточувствительности детекторов на основе фотопроводимости и барьерной фотоэдс.Обсуждение природы шумов различных типов. Решение задач на вычисление уровня шумового напряжения при действии напряжения. | 2 | ПК-2, ПК-5 |
| | Обсуждение параметров фотодетекторов на основе фотопроводимости и барьерной фотоэдс. Решение задач на вычисление фоточувствительности детекторов на основе фотопроводимости и барьерной фотоэдс.Обсуждение природы шумов различных типов. Решение задач на вычисление уровня шумового напряжения при действии напряжения. | 2 | |
| | Итого | 4 | |
| 5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов. | Обсуждение механизмов изменения оптических свойств кристаллов под напряжением, а также механизмов электроотражения и электропоглощения в квантовывх ямах, перехода Фредериска в жидких кристаллах.Решение задач на вычисление действующих напряжений в твердых телах и жидких кристаллах. | 3 | ПК-2, ПК-5 |
| | Итого | 3 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

## 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 |
|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | |
| 1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов оптоэлектроники. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-2, ПК-5 | Опрос на занятиях, Реферат, Тест, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 5 | | |
| | Итого | 9 | | |
| 2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 8 | ПК-2, ПК-5 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Реферат, Тест, Экзамен |
| | Итого | 8 | | |

Согласована на портале № 41672

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| квантовых систем. | | | | |
| 3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 5 | ПК-2, ПК-5 | Домашнее задание, Отчет по лабораторной работе, Реферат, Тест, Экзамен |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 9 | | |
| 4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 6 | ПК-2, ПК-5 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Реферат, Тест, Экзамен |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 10 | | |
| 5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 6 | ПК-2, ПК-5 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Реферат, Тест, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| Итого за семестр | | 48 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 84 | | |

## 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 |
|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | |
| Опрос на занятиях | 8 | 8 | 8 | 24 |
| Отчет по лабораторной работе | 7 | 7 | 7 | 21 |
| Реферат | 8 | 9 | 8 | 25 |
| Итого максимум за период | 23 | 24 | 23 | 70 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 23 | 47 | 70 | 100 |

Согласована на портале № 41672

### 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) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 - 69 | |
| | 60 - 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Пихтин, Александр Николаевич. Квантовая и оптическая электроника [Текст] : учебник для вузов / А. Н. Пихтин. - М. : Абрис, 2012. - 656 с : ил. - Библиогр.: - ISBN 978-5-4372-0004-9 : УДК 621.373.8(075.8) 621.383(075.8) РУБ 621.373 (наличие в библиотеке ТУСУР - 42 экз.)

2. Физические основы оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Давыдов В. Н. - 2016. 139 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5963 (дата обращения: 02.08.2018).

### 12.2. Дополнительная литература

1. Борисенко, Виктор Евгеньевич. Наноэлектроника [Текст] : учебное пособие для вузов / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 224 с. : ил. - (Нанотехнологии). - Библиогр. в конце частей. - ISBN 978-5-94774-914-4 : УДК 621.382-022.532(075.8) (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)

2. Игнатов, Александр Николаевич. Оптоэлектроника и нанофотоника [Текст] : учебное пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - СПб. : Лань, 2011. - 539, [5] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 526-530. - ISBN 978-5-8114-1136-8 : УДК 621.383(075.8) 621.383-022.532(075.8) (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Давыдов В.Н. Физические основы оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов направлений подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства» / Давыдов В. Н. - 2016. 92 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5964 (дата обращения: 02.08.2018).

Согласована на портале № 41672

2. Давыдов В.Н. Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования. Учебно-методическое пособие к лабораторной работе. Томск [Электронный ресурс]: ТУСУР, 2013. – 10 с. [Электронный ресурс] Руководство к лабораторной работе. – Томск Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Кафедра электронных приборов. – Электрон. текстовые дан. – Томск ТУСУР, 2013. – 10 с - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/3559 (дата обращения: 02.08.2018).

3. Исследование анизотропии оптических свойств кристаллов ниобата лития [Электронный ресурс]: Методическое пособие к лабораторной работе для студентов бакалавриата по направлению 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника» Профиль «Квантовая и оптическая электроника» / Давыдов В. Н. - 2016. 13 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5970 (дата обращения: 02.08.2018).

4. Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов [Электронный ресурс]: Методическое пособие к лабораторной работе для студентов бакалавриата по направлению 11.03.04210100.62 – Электроника и наноэлектроника. Профиль «Квантовая и оптическая электроника» / Давыдов В. Н. - 2016. 16 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5967 (дата обращения: 02.08.2018).

5. Исследование свойств p-n переходов в приборах оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Методическое пособие к лабораторной работе для студентов бакалавриата по направлению 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника» профиль «Квантовая и оптическая электроника» / Давыдов В. Н. - 2016. 17 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5969 (дата обращения: 02.08.2018).

6. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства [Электронный ресурс]: Методические указания к практическим занятиям / Мягков А. С. - 2012. 53 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2495 (дата обращения: 02.08.2018).

7. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства [Электронный ресурс]: Методические указания по самостоятельной работе / Мягков А. С. - 2012. 15 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2496 (дата обращения: 02.08.2018).

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

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

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

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством по-

Согласована на портале № 41672

садочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

**13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная лаборатория

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

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

Описание имеющегося оборудования:

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

Программное обеспечение не требуется.

**13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Преподавательская

помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 215 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
- Microsoft Windows
- OpenOffice

Учебная лаборатория

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

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

Описание имеющегося оборудования:

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

Программное обеспечение не требуется.

**13.1.4. 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.;

Согласована на портале № 41672

- 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

1. Какими параметрами описывают эмиссию светового излучения из твердого тела?

а) Процесс излучения твердым телом характеризуется коэффициентом отражения и коэффициентом поглощения;

б) процесс излучения твердым телом характеризуется коэффициентом отражения, коэффициентом поглощения и температурой тела;

в) процесс излучения характеризуется коэффициентом отражения и параметром внутренней квантовой эффективности излучения;

г) процесс излучения характеризуется параметром внутренней квантовой эффективности излучения и внешней квантовой эффективности излучения.

2. Что такое вынужденное излучение атома?

а) Это излучение, которое излучает атом при воздействии на него фотона с энергией кванта, равной энергетическому интервалу между возбужденным и основным состояниями;

б) это излучение, которое излучает атом при воздействии на него фонона с энергией, равной

Согласована на портале № 41672

энергетическому интервалу между возбужденным и основным состояниями;

в) это излучение, которое излучает атом при отсутствии какого-либо внешнего воздействия на него;

г) это излучение, которое излучает решетка при воздействии на нее фонона с энергией, равной энергетическому интервалу между соседними возбужденными состояниями решетки.

3. Что такое вынужденное поглощение излучения атомом?

а) Это поглощение, которое происходит только тогда, когда на атом воздействует фотон с энергией, равной энергетическому интервалу между возбужденным и основным состояниями атома;

б) это поглощение, которое происходит только тогда, когда на атом воздействует фонон с энергией, равной энергетическому интервалу между возбужденным и основным состояниями атома;

в) это поглощение, которое происходит тогда, когда на решетку воздействует фонон с энергией, равной энергетическому интервалу между возбужденным и основным состояниями решетки;

г) это поглощение, которое происходит тогда, когда на решетку воздействует фонон с энергией, равной энергетическому интервалу между соседними возбужденными состояниями решетки.

4. Какова физическая природа инверсии населенности в лазерах?

а) физическая сущность инверсии населенности заключается в том, что на верхних энергетических уровнях находятся атомы, а на нижних уровнях - ионы;

б) физическая сущность инверсии населенности заключается в том, что на верхние энергетические уровни заселены больше, чем нижние уровни;

в) физическая сущность инверсии населенности заключается в том, что на верхних энергетических уровнях концентрация атомов выше, чем это следует из распределения Максвелла-Больцмана;

г) физическая сущность инверсии населенности заключается в том, что на энергетические уровни атомов заполнены в соответствии со статистикой Бозе-Эйнштейна.

5. Какой длины должен быть оптический резонатор лазера, генерирующего оптическое излучение длиной волны $\lambda$?

а) на его длине должно уложиться целое число полуволн генерируемого излучения;

б) на его длине должно уложиться целое число полуволн генерируемого излучения, измеренных в активном веществе лазера ;

в) На его длине должно уложиться кратное показателю преломления активного вещества лазера число полуволн генерируемого излучения;

г) на его длине должно уложиться целое число длин волн генерируемого излучения.

6. Для каких целей применяется накачка в лазерах?

а) Накачка необходима для создания инверсии населенности в активном веществе лазера;

б) накачка необходима для накачивания в активную часть лазера охлаждающей жидкости;

в) накачка необходима для накачивания в резонатор между зеркалами газа, обеспечивающего когерентность оптического излучения;

г) накачка необходима для накачивания в резонатор между зеркалами газа, обеспечивающего параллельность зеркал резонатора вне зависимости от температуры окружающей среды.

7. Участие какого числа энергетических уровней обеспечивает минимальный порог мощности накачки для создания инверсии населенности в лазере?

а) для создания инверсии населенности с низким уровнем возбуждения необходима только накачка, а число участвующих в накачке уровней не имеет значения;

б) для создания инверсии населенности с низким уровнем возбуждения достаточно двух уровней, являющихся составляющими излучательного перехода;

в) для создания инверсии населенности с низким уровнем возбуждения необходимо три уровня энергии, являющихся безизлучательными уровнями;

г) для создания инверсии населенности с низким уровнем возбуждения необходима только четырехуровневая схема накачки.

8. Почему для создания лазера в оптическом диапазоне нельзя пользоваться закрытыми резонаторами, а пользуются только открытыми?

а) открытые резонаторы позволяют вести юстировку зеркал, наблюдая переход спонтанного

Согласована на портале № 41672

излучения в вынужденное непосредственно по цвету рабочего вещества;

б) у закрытых резонаторов спектр собственных частот сильно разрежен и не охватывает требуемые полосы излучения в оптическом диапазоне;

в) у закрытых резонаторов спектр собственных частот слишком плотный, что приводит к потере им резонансных свойств;

г) у закрытых резонаторов из-за глухих стенок по всем терм координатам отсутствует возможность вывода оптического излучения наружу.

9.Как преобразуется монохроматическая волна при распространении в анизотропном кристалле?

а) она проходит через кристалл, сохраняя все параметры за исключением значения фазовой скорости;

б) она проходит через кристалл, сохраняя все параметры за исключением поляризации;

в) она проходит через кристалл, изменяя все параметры за исключением фазовой скорости;

г) она расщепляется на две волны с различными фазовыми скоростями и взаимно перпендикулярными поляризациями.

10. Что такое оптическая индикатриса кристалла заданной симметрии?

а) это прямая линия, вдоль которой распространяется падающая электромагнитная волна;

б) это указательная поверхность тензора диэлектрической проницаемости кристалла;

в) это характеристическая поверхность тензора диэлектрической проницаемости кристалла;

г) это характеристическая поверхность тензора диэлектрической непроницаемости кристалла.

11. Как выглядит оптическая индикатриса в оптически одноосных кристаллах?

а) она представляет собой геометрическую фигуру, имеющую только те элементы симметрии, что и элементарная ячейка кристалла;

б) она представляет собой геометрическую фигуру, имеющую только те элементы симметрии, которые являются общими для элементарной ячейки кристалла и предельной группы симметрии полярного вектора;

в) она представляет собой эллипсоид вращения, но в зависимости от группы симметрии кристалла она может быть сферой или остаться эллипсоидом вращения;

г) она представляет собой сферу, но в зависимости от группы симметрии кристалла она может быть цилиндром или конусом.

12. Что такое время жизни неравновесных электронов и дырок в полупроводнике?

а) время жизни неравновесных электронов и дырок есть время их образования в результате поглощения кванта света;

б) время жизни неравновесных электронов и дырок равно времени пробега ими фотоэлемента от места генерации до электрода;

в) время жизни неравновесных электронов и дырок равно времени пребывания их в зоне проводимости от момента рождения до момента рекомбинации;

г) время жизни неравновесных электронов и дырок равно времени изменения ими своих энергетических параметров до равновесных значений.

13. Что такое скорость рекомбинации неравновесных носителей заряда?

а) скорость рекомбинации неравновесных носителей заряда есть количество прорекомбинировавших электронов и дырок за время их жизни;

б) скорость рекомбинации неравновесных носителей заряда есть количество прорекомбинировавших электронов или дырок за единицу времени;

в) скорость рекомбинации неравновесных носителей заряда есть количество прорекомбинировавших электронов и дырок за время освещения полупроводника излучением;

г) скорость рекомбинации неравновесных носителей заряда есть количество прорекомбинировавших электронов и дырок за время пробега ими полупроводника.

14. Что такое скорость генерации неравновесных носителей заряда?

а) скорость генерации неравновесных носителей заряда есть количество образованных электронов и дырок за время их жизни;

б) Скорость генерации неравновесных носителей заряда есть количество созданных электронов или дырок за единицу времени;

Согласована на портале № 41672

в) скорость генерации неравновесных носителей заряда есть количество созданных электронов и дырок за все время освещения полупроводника излучением;

г) скорость генерации неравновесных носителей заряда есть изменение числа электронно-дырочных пар в полупроводнике за период модуляции оптического излучения.

15. Что такое фотопроводимость полупроводников?

а) фотопроводимость это величина проводимости полупроводника при его освещении из собственной полосы поглощения;

б) Фотопроводимость это величина проводимости полупроводника при его освещении из примесной полосы поглощения;

в) фотопроводимость полупроводника это изменение его проводимости, вызванное освещением;

г) фотопроводимость полупроводника это величина его проводимости, если освещение производится импульсами света.

16. Что такое время релаксации фотопроводимости?

а) время релаксации фотопроводимости – это время, в течение которого величина фотопроводимости изменяется в заданное число раз при включении или выключении оптического излучения;

б) время релаксации фотопроводимости – это время, в течение которого величина фотопроводимости нарастает от нулю и до стационарного значения при включении источника оптического излучения;

в) время релаксации фотопроводимости – это время, в течение которого величина фотопроводимости уменьшается от стационарного значения до нуля при выключении источника оптического излучения;

г) время релаксации фотопроводимости – это время, в течение которого величина фотопроводимости нарастает до половины от максимального значения при включении источника оптического излучения.

17. Каковы основные отличия собственной фотопроводимости от примесной фотопроводимости?

а) собственная фотопроводимость образована собственными носителями заряда, а примесная – примесными;

б) собственная фотопроводимость создается неравновесными носителями заряда, образованными в результате поглощения излучения из собственной полосы поглощения, а примесная фотопроводимость – из примесной полосы поглощения;

в) собственная фотопроводимость формируется темновыми электронами и дырками, а примесная – за счет их инжекции с электродов образца;

г) собственная фотопроводимость это проводимость, определяемая параметрами самого полупроводникового материала, а примесная – параметрами падающего оптического излучения.

18. Какова физическая причина возникновения барьерной фотоэдс?

а) причиной возникновения барьерной фотоэдс является наличие встроенного электрического поля p-n перехода, которое разделяет неравновесные носители заряда, образуя диполь, который уменьшает контактное поле барьера;

б) барьерная фотоэдс имеет своей физической причиной различие в скоростях электрического дрейфа неравновесных электронов и дырок в поле p-n перехода;

в) барьерная фотоэдс имеет своей физической причиной различие в скоростях градиентного дрейфа неравновесных электронов и дырок от места освещения полупроводника;

г) барьерная фотоэдс образуется в неоднородных полупроводниках с барьером, созданным внешним магнитным полем.

19. Как на основе p-n перехода сделать эффективный источник некогерентного излучения?

а) для получения эффективного источника некогерентного излучения необходим сильно легированный донорной примесью полупроводниковый образец, который подвергают облучению высокоэнергетичных электронов;

б) для получения эффективного источника некогерентного излучения необходимо p-n переход, изготовленный из полупроводника с большим временем излучательной рекомбинации, сместить внешним напряжением в запорном направлении;

Согласована на портале № 41672

в) для получения эффективного источника некогерентного излучения необходимо p-n переход, изготовленный из полупроводника с малым временем излучательной рекомбинации, сместить внешним напряжением в запорном направлении;

г) для получения эффективного источника некогерентного излучения необходимо p-n переход, изготовленный из полупроводника с малым временем излучательной рекомбинации, сместить внешним напряжением в прямом направлении.

20. Как на основе p-n перехода сделать эффективный источник когерентного оптического излучения?

а) для получения эффективного источника когерентного излучения необходим сильно легированный донорной примесью полупроводниковый образец с плоскополированными торцами, который подвергают облучению высокоэнергетичных электронов;

б) для получения эффективного источника когерентного излучения необходимо p-n переход с плоскополированными торцами, изготовленный из полупроводника с малым временем излучательной рекомбинации, сместить большим внешним напряжением в прямом направлении;

в) для получения эффективного источника когерентного излучения необходимо p-n переход с плоскими торцами, изготовленный из полупроводника с малым временем излучательной рекомбинации, сместить большим внешним напряжением в обратном направлении;

г) для получения эффективного источника когерентного излучения необходимо p-n переход с плоскими торцами, изготовленный из полупроводника с большим временем излучательной рекомбинации, сместить малым внешним напряжением в обратном направлении.

### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Спонтанное и вынужденное излучение атомов: коэффициенты Эйнштейна, кинетические уравнения для заполнения и разгрузки электронных состояний атомов при действии вынужденного поглощения, спонтанного излучения и вынужденного излучения, связь между коэффициентами Эйнштейна и ее физическая интерпретация, понятие инверсии населенности энергетического состояния, принцип создания генератора электромагнитного излучения.

2. Приемники оптического излучения: дать их классификацию и перечислить (с пояснениями физического содержания) технические характеристики фотодетекторов фотонного и теплового типа, провести сравнение.

3. Дипольная модель механизма излучения атома: понятие диполя и его момента, понятие порядка момента диполя, вывод вероятности спонтанного перехода атома между состояниями, лоренцева форма спектра излучения и ее использование для вычисления параметров излучения, правила отбора для квантового перехода (для главного, орбитального и магнитного квантовых чисел), понятие метастабильного уровня энергии.

4. Фотопроводимость полупроводников: понятие фотопроводимости, различия между типами фотопроводимости, физическая картина явления, вывод и физическое объяснение кинетических свойств фотопроводимости при импульсном освещении, коэффициент усиления, время релаксации фотопроводимости.

5. Механизмы уширения спектральных линий: причина естественного уширения, лоренцева форма линии излучения, физическая причина доплеровского уширения, гауссова форма линии излучения, уширение от столкновений и наличия внутренних и внешних полей, уширение линии при действии нескольких факторов.

6. Вынужденное излучение твердых тел: критерии выбора активного вещества оптического генератора, вывод условия инверсии населенности, вывод порогового коэффициента усиления, объяснение физических условий на накачку и параметры резонатора Фабри – Перо.

7. Понятие люминесценции вещества, виды люминесценции и их физическое содержание. Параметры для описания люминесценции, их содержание и причины, ограничивающие генерацию и выход излучения из твердого тела. Накачка активного вещества: перечислите виды накачек и поясните принцип их действия, запишите основные кинетические уравнения накачки и правила действия с ними.

8. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках: общие положения и соотношения, основные механизмы возникновения фотоЭДС, вывод основного выражения для фотоЭДС и его анализ для однородных и неоднородных полупроводников, роль неосновных носителей заряда в формировании фотоЭДС в полупроводниках, перечислите и охарактеризуйте различные типы

Согласована на портале № 41672

фотовольтаических эффектов.

9. Возбуждение активного вещества: основные кинетические уравнения накачки, анализ двухуровневой схемы накачки, анализ трехуровневой схемы накачки, анализ четырех уровневой схемы накачки, сравнение различных схем накачки по эффективности и примеры их реализаций на практике.

10. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках: физические процессы при образовании электронно-дырочных переходов, основные параметры и характеристики p-n переходов, величина потенциального барьера перехода и его вольтамперная характеристика, понятие обратного тока, барьерная фотоЭДС (физические процессы ее образования, выражение для вычисления величины фотоЭДС).

11. Оптические резонаторы: основные понятия теории объемных (закрытых) резонаторов; добротность, собственные частоты и типы колебаний в объемном резонаторе; переход к оптическому резонатору, типы колебаний в оптическом резонаторе; типы потерь в оптических резонаторах; спектр собственных колебаний в оптическом резонаторе.

12. Приемники оптического излучения: дать их классификацию и перечислить (с пояснениями физического содержания) технические параметры и характеристики фотодетекторов фотонного и теплового типа, провести сравнение значений параметров фотоприемников разных типов.

13. Свойства плоского резонатора: продольные и поперечные моды резонатора, числа Френеля и расстояния между поперечными модами, спектр собственных частот плоского резонатора, частотно-вырожденные моды, распределение электромагнитного поля в плоскости зеркал, виды распределения для ТЕМ-мод и их затухание в плоском резонаторе.

14. Фотопроводимость полупроводников: понятие фотопроводимости, различия между типами фотопроводимости, физическая процессы формирования фотопроводимости, вывод и физическое объяснение кинетических свойств фотопроводимости при импульсном освещении, коэффициент усиления, время релаксации фотопроводимости.

15. Принцип создания источника когерентного излучения на основе вынужденного излучения. Пояснить физические следствия связи между собой вероятностей перезодов атомов между уровнями энергии твердого тела. Недостатки резонатора Фабри – Перо и способы их устранения.

16 Фотовольтаические эффекты в полупроводниках: общие положения и соотношения, основные механизмы возникновения фотоЭДС, вывод основного выражения для фотоЭДС и его анализ для однородных и неоднородных полупроводников, роль неосновных носителей заряда в формировании фотоЭДС в полупроводниках, перечислите и охарактеризуйте различные типы фотовольтаических эффектов.

17. Распространение света в анизотропных средах: вывод уравнения распространения плоской электромагнитной волны в анизотропной среде, понятие тензора диэлектрической непроницаемости, эффект двулучепреломления, определение фазовых скоростей и поляризаций обыкновенной и необыкновенной волн, понятие оптической индикатрисы и ее вид, понятие оптической оси.

18. Квантовые приборы оптического диапазона: твердотельные лазеры (на основе рубина и алюмоиттриевого граната), их структура, энергетическая диаграмма, схема накачки, параметры генерируемого излучения; газовые лазеры различных типов, их рабочие среды, энергетические схемы, параметры генерируемого излучения; жидкостные лазеры.

19. Спонтанное и вынужденное излучение атомов: коэффициенты Эйнштейна, кинетические уравнения для заполнения и разгрузки электронных состояний атомов при действии вынужденного поглощения, спонтанного излучения и вынужденного излучения, связь между коэффициентами Эйнштейна и ее физическая интерпретация, понятие инверсии населенности энергетического состояния, принцип создания генератора электромагнитного излучения.

20. Полупроводниковые светодиоды: принцип работы, конструктивные решения, отличие требований от лазерных систем, спектр излучения и характеристики генерируемого излучения, недостатки и их устранение на принципах наноэлектроники.

21. Фотопроводимости в полупроводниках: дать определение фотопроводимости, дать физическое объяснение протекающих процессов, указать разновидности фотопроводимости и основные параметры, характеризующие фотопроводимость, привести примеры полевой и частотной характеристик фотопроводи-мости и пояснить их физически.

22. Основные параметры, которыми характеризуют технические возможности фотоприем-

Согласована на портале № 41672

ных устройств квантовой электроники и оптоэлектроники: перечислить их и дать каждому физическую интерпретацию, привести примеры фотоприемных устройств, различающиеся по диапазону регистрируемых длин волн, быстродействию, обнаружительной способности.

23. Эмиссия излучения из твердых тел: физическое рассмотрение излучения твердыми телами, разновидности эмиссионных процессов, параметры для оценки эффективности эмиссии; спектр излучения, сдвиг Франка – Кордона, влияние лигатуры на эмиссию излучения из полупроводников

24. Полупроводниковые фотодиоды: принцип работы, основные параметры и характеристики, конструктивные решения, разновидности фотодиодов и сравнение их параметров, недостатки гомогенных фотодиодов и их устранение на принципах наноэлектроники.

25. Оптические резонаторы: основные понятия теории объемных (закрытых) резонаторов; добротность, собственные частоты и типы колебаний в объемном резонаторе; переход к оптическому резонатору, типы колебаний в оптическом резонаторе; типы потерь в оптических резонаторах; спектр собственных колебаний в оптическом резонаторе.

26. Квантовые приборы оптического диапазона: газовые лазеры различных типов, классификация, их рабочие среды, их энергетические диаграммы, применяемые схемы накачки, параметры генерируемого излучении. Жидкостные лазеры.

27. Спонтанное и вынужденное излучение атомов: коэффициенты Эйнштейна, кинетические уравнения для заполнения и разгрузки электронных состояний атомов при действии вынужденного поглощения, спонтанного излучения и вынужденного излучения, связь между коэффициентами Эйнштейна и ее физическая интерпретация, понятие инверсии населенности энергетического состояния, принцип создания генератора электромагнитного излучения.

28. Схемы накачки активного вещества лазера: рассмотреть двух-, трех- и четырехуровневые схемы накачки, указать изменения параметров лазеров, имеющих различные схемы накачки. Гелий – неоновый лазер.

### 14.1.3. Темы опросов на занятиях

Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов квантовой электроники и оптоэлектроники.

Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем.

Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.

Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.

Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов

### 14.1.4. Темы домашних заданий

Формирование зонного спектра твердого тела, возможности управления им.

Понятие метастабильных состояний, времени релаксации.

Коэффициент усиления инверсной среды.

Свойства оптического резонатора открытого типа.

### 14.1.5. Темы рефератов

1. Определение концентраций легирующих примесей для получения полупроводника с собственным типом проводимости.

2. Фотопроводимость полупроводника: ее типы и механизмы возникновения, основные параметры. Расчет коэффициента усиления фотопроводимости и методы управления им.

3. Фотоэдс в полупроводниках: механизмы ее возникновения, основные типы, методы расчета, базовые параметры.

4. Сравнение спектральных характеристик резонаторов закрытого и открытого типов.

5. Прохождение оптического излучения через границу раздела двух сред: основные явления, характеристики и параметры.

6.Спонтанное и вынужденное излучение атома, коэффициенты Эйнштейна, их физический смысл и природа связи между собой, возможность управления численными значениями параметрами вынужденного излучения и вынужденного поглощения.

Согласована на портале № 41672

7. Идеология создания генератора оптического излучения на основе усилителя электромагнитного излучения.

8. Виды накачки, свойства накачки в трех- и четырехуровневой схемах. Сравнение их возможностей.

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

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

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

### 14.1.6. Темы лабораторных работ

1. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования (лабораторная установка).

2. Исследование свойств p-n перехода в приборах оптоэлектроники (компьютерное моделирование).

3. Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов (лабораторная установка).

4. Исследование анизотропии оптических свойств кристаллов ниобата лития (компьютерное моделирование).

### 14.1.7. Методические рекомендации

Основные методические рекомендации касаются организации и контроля выполнения самостоятельных заданий.

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

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

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

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

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

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

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

Согласована на портале № 41672

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

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

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

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

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

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

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

**Для лиц с нарушениями зрения:**

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

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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

Согласована на портале № 41672