

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:27

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Светоизлучающие полупроводниковые приборы

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 60

самостоятельная работа 48

часов на контроль 36

Формы контроля в семестрах:  
экзамен 8

### Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр<br>(<Курс>.<Семестр на<br>курсе>) | 8 (4.2)   |     | Итого |     |
|---|-----------|-----|-------|-----|
|   | Неделя 12 |     |       |     |
| Вид занятий                               | УП        | РП  | УП    | РП  |
| Лекции                                    | 24        | 24  | 24    | 24  |
| Лабораторные                              | 12        | 12  | 12    | 12  |
| Практические                              | 24        | 24  | 24    | 24  |
| Итого ауд.                                | 60        | 60  | 60    | 60  |
| Контактная работа                         | 60        | 60  | 60    | 60  |
| Сам. работа                               | 48        | 48  | 48    | 48  |
| Часы на контроль                          | 36        | 36  | 36    | 36  |
| Итого                                     | 144       | 144 | 144   | 144 |

Программу составил(и):

*кфмн, доцент, Юрчук Сергей Юрьевич*

Рабочая программа

**Светонзлучающие полупроводниковые приборы**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра ШЭ и ФШ**

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко С.И.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

|     |   |
|-----|---|
| 1.1 | Дать представление о технической основе квантовой и оптической электроники и ее функциональном назначении; научить анализировать физические основы квантовой и оптической электроники и процессы, происходящие в оптоэлектронных структурах; дать представление о типах оптоэлектронных приборов и принципах их работы; научить применять полученные знания при разработке новых приборов оптоэлектроники с заданными параметрами и характеристиками. |
|-----|---|

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| Блок ОП:   |   | Б1.В.ДВ.09 |
| <b>2.1</b> | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>  |            |
| 2.1.1      | Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах                                       |            |
| 2.1.2      | Ионно-плазменная обработка материалов   |            |
| 2.1.3      | Компьютерные технологии проектирования процессов наноэлектроники  |            |
| 2.1.4      | Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем  |            |
| 2.1.5      | Наноэлектроника полупроводниковых приборов и устройств  |            |
| 2.1.6      | Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок   |            |
| 2.1.7      | Полевые полупроводниковые приборы   |            |
| 2.1.8      | Полупроводниковая наноэлектроника   |            |
| 2.1.9      | Приемники оптического излучения   |            |
| 2.1.10     | Физика импульсного отжига   |            |
| 2.1.11     | Физико-математические модели процессов наноэлектроники  |            |
| 2.1.12     | Физические основы электроники   |            |
| 2.1.13     | Функциональная наноэлектроника  |            |
| 2.1.14     | Биполярные полупроводниковые приборы  |            |
| 2.1.15     | Квантовая и оптическая электроника  |            |
| 2.1.16     | Материаловедение полупроводников и диэлектриков   |            |
| 2.1.17     | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности                  |            |
| 2.1.18     | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности                  |            |
| 2.1.19     | Технология материалов электронной техники   |            |
| 2.1.20     | Физика диэлектриков   |            |
| 2.1.21     | Физика конденсированного состояния  |            |
| 2.1.22     | Физика магнитных явлений  |            |
| 2.1.23     | Безопасность жизнедеятельности  |            |
| 2.1.24     | Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике   |            |
| 2.1.25     | Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике                                    |            |
| 2.1.26     | Статистическая физика   |            |
| 2.1.27     | Физические свойства кристаллов  |            |
| 2.1.28     | Электроника   |            |
| 2.1.29     | Математическая статистика и анализ данных   |            |
| 2.1.30     | Методы математической физики  |            |
| 2.1.31     | Практическая кристаллография  |            |
| 2.1.32     | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений   |            |
| 2.1.33     | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений   |            |
| 2.1.34     | Физика  |            |
| 2.1.35     | Физическая химия  |            |
| 2.1.36     | Электротехника  |            |
| 2.1.37     | Математика  |            |
| 2.1.38     | Органическая химия  |            |
| 2.1.39     | Химия   |            |
| 2.1.40     | Инженерная и компьютерная графика   |            |
| <b>2.2</b> | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |            |

| <b>3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ</b>   |
|--|
| <b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>  |
| <b>Знать:</b>  |
| ОПК-1-32 Основные положения и методы математики для решения задач проектирования оптоэлектронных приборов  |
| ОПК-1-31 Основные положения, законы и методы полупроводниковой электроники для решения задач оптоэлектроники   |
| <b>ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники</b>   |
| <b>Знать:</b>  |
| ПК-5-32 Методы моделирования характеристик светоизлучающих полупроводниковых приборов  |
| ПК-5-31 Типовые конструкции светоизлучающих полупроводниковых приборов   |
| <b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b> |
| <b>Знать:</b>  |
| УК-2-32 Основные типы светоизлучающих полупроводниковых приборов, их характеристики, параметры и назначение  |
| УК-2-31 Физические принципы функционирования светоизлучающих полупроводниковых приборов  |
| <b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>  |
| <b>Уметь:</b>  |
| ОПК-1-У1 Проводить анализ характеристик полупроводниковых светоизлучающих приборов на основе основных положений, законов и методов полупроводниковой электроники   |
| ОПК-1-У2 Проводить расчеты параметров и характеристик светоизлучающих полупроводниковых приборов   |
| <b>ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники</b>   |
| <b>Уметь:</b>  |
| ПК-5-У1 Проводить расчеты с целью разработки конструкции светоизлучающих полупроводниковых приборов с заданными характеристиками   |
| ПК-5-У2 Составлять технические описания конструкции светоизлучающих полупроводниковых приборов и их характеристик  |
| <b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b> |
| <b>Уметь:</b>  |
| УК-2-У3 Проводить расчеты параметров и характеристик светоизлучающих полупроводниковых приборов на основе известных характеристик материалов и структуры   |
| УК-2-У2 Применять экспериментальные методы исследования оптических процессов в оптоэлектронных материалах и светоизлучающих полупроводниковых приборах   |
| УК-2-У1 Анализировать влияние физических характеристик материала и структуры светоизлучающих полупроводниковых приборов на характеристики структур   |
| <b>Владеть:</b>  |
| УК-2-В1 Навыками использования измерительной аппаратуры, предназначенной для определения параметров и характеристик светоизлучающих полупроводниковых приборов   |
| <b>ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники</b>   |
| <b>Владеть:</b>  |
| ПК-5-В1 Способностью разрабатывать светоизлучающие полупроводниковые приборы с заданными характеристиками  |
| <b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b> |
| <b>Владеть:</b>  |
| УК-2-В2 Методами оценки и анализа характеристик светоизлучающих полупроводниковых приборов   |
| <b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>  |

|  |
|--|
| <b>Владеть:</b>  |
| ОПК-1-В1 Методами проектирования конструкции светоизлучающих приборов для получения заданных характеристик   |
| ОПК-1-В2 Методами моделирования характеристик светоизлучающих приборов   |
| <b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b> |
| <b>Владеть:</b>  |
| УК-2-В3 Методами разработки полупроводниковых структур с заданными параметрами и характеристиками  |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/  | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций  | Литература и эл. ресурсы                            | Примечание | КМ  | Выполняемые работы |
|-------------|--|----------------|-------|---|---|------------|-----|--------------------|
|             | <b>Раздел 1. Физические основы полупроводниковых источников излучения</b>                  |                |       |   |   |            |     |                    |
| 1.1         | Рекомбинационное излучение полупроводников /Лек/   | 8              | 2     | УК-2-31 УК-2-32<br>ОПК-1-31<br>ПК-5-32                                      | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Л2.1<br>Э1 Э2 |            |     |                    |
| 1.2         | Изучение характеристик рекомбинационного излучения /Ср/                                    | 8              | 4     | УК-2-31 УК-2-У1<br>УК-2-У3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2              | Л1.1 Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2         |            |     |                    |
| 1.3         | Расчеты коэффициентов Эйнштейна и характеристик оптического излучения полупроводников /Пр/ | 8              | 2     | УК-2-31 УК-2-У1<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У2                         | Л1.1 Л1.3<br>Л1.4Л2.2<br>Л2.1<br>Э1 Э2              |            | КМ1 | Р1                 |
| 1.4         | Внутренний квантовый выход рекомбинационного излучения полупроводниковых материалов /Лек/  | 8              | 2     | УК-2-31 УК-2-У3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В2 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.2<br>Л2.1<br>Э1 Э2      |            |     |                    |
| 1.5         | Изучение излучательной и безызлучательной рекомбинации в полупроводниках /Ср/              | 8              | 2     | УК-2-31 УК-2-У1<br>УК-2-У3<br>ОПК-1-31                                      | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2 |            |     |                    |
| 1.6         | Расчеты внутреннего квантового выхода излучения в полупроводниках /Пр/                     | 8              | 2     | УК-2-31 УК-2-У1<br>УК-2-У3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1  | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2 |            | КМ2 | Р2                 |
| 1.7         | Оптическое усиление света и генерация лазерного излучения /Лек/                            | 8              | 2     | УК-2-31 УК-2-У3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32 ПК-5-32                             | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2 |            |     |                    |
| 1.8         | Изучение условий усиления света в полупроводниках /Ср/                                     | 8              | 4     | УК-2-31 УК-2-У1<br>УК-2-В3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1                          | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2 |            |     |                    |

|      |   |   |   |  |  |  |     |    |
|------|---|---|---|--|--|--|-----|----|
| 1.9  | Расчеты характеристик и условий оптического усиления света в полупроводниках /Пр/                             | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В2 УК-2-В3 ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У2 ОПК-1-В2 ПК-5-У1                          | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  | КМ3 | Р3 |
| 1.10 | Возбуждение спонтанной и лазерной люминесценции в полупроводниках и полупроводниковых структурах /Лек/        | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-32 ОПК-1-31 ПК-5-32   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  |     |    |
| 1.11 | Изучение способов возбуждения электролюминесценции в полупроводниковых структурах /Ср/                        | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32 ОПК-1-31 ПК-5-31   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  |     |    |
| 1.12 | Расчеты характеристик светоизлучающих структур /Пр/   | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-У3 УК-2-В3 ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ПК-5-32 ПК-5-У1                 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2 Э3 |  | КМ4 | Р4 |
|      | <b>Раздел 2.<br/>Полупроводниковые источники некогерентного излучения</b>                                     |   |   |  |  |  |     |    |
| 2.1  | Общие физико-технологические принципы конструирования светоизлучающих приборов. Повышение эффективности /Лек/ | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32 ОПК-1-31 ОПК-1-32 ПК-5-31 ПК-5-32  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  |     |    |
| 2.2  | Изучение методики построения зонных диаграмм гетероструктур /Ср/  | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У3 УК-2-В2 УК-2-В3 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ПК-5-32 ПК-5-В1          | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  |     |    |
| 2.3  | Построение и расчет энергетических диаграмм гетероструктур /Пр/   | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У3 УК-2-В2 УК-2-В3 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ПК-5-В1                  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  | КМ5 | Р5 |
| 2.4  | Система параметров и характеристик полупроводниковых светоизлучающих приборов /Лек/                           | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-32 ПК-5-31  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  |     |    |
| 2.5  | Изучение методик расчетов характеристик светодиодных структур /Ср/  | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У3 УК-2-В3 ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ПК-5-32 ПК-5-У1 ПК-5-В1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.1 Э1 Э2    |  |     |    |

|      |  |   |   |   |  |  |             |       |
|------|--|---|---|---|--|--|-------------|-------|
| 2.6  | Расчеты характеристик светодиодных структур и оптимизация конструкции. /Пр/                        | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У3<br>УК-2-В2 УК-2-В3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1 ПК-5-У1 ПК-5-В1                                      | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2        |  | КМ6,К<br>М9 | Р6,Р9 |
| 2.7  | Подготовка к лабораторной работе "Изучение спектральных характеристик светодиодных структур" /Ср/  | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32<br>УК-2-У2 УК-2-В1<br>ОПК-1-31 ПК-5-31  | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л3.1<br>Э1 Э2 |  |             |       |
| 2.8  | Изучение спектральных характеристик светодиодных структур /Лаб/                                    | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32<br>УК-2-У1 УК-2-У2<br>УК-2-В1 УК-2-В2<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК-5-31<br>ПК-5-У2  | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л3.1<br>Э1 Э2 |  | КМ7         | Р7    |
| 2.9  | Светодиодные структуры различного назначения /Лек/   | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-32<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32 ПК-5-31   | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2        |  |             |       |
| 2.10 | Подготовка к лабораторной работе "Измерение внешнего квантового выхода светодиодных структур" /Ср/ | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32<br>УК-2-У2<br>ОПК-1-31 ПК-5-31  | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2        |  |             |       |
| 2.11 | Измерение внешнего квантового выхода светодиодных структур /Лаб/                                   | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32<br>УК-2-У1 УК-2-У2<br>УК-2-У3 УК-2-В1<br>УК-2-В2<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-У2 ПК-5-31<br>ПК-5-У2   | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л3.1<br>Э1 Э2 |  | КМ8         | Р8    |
| 2.12 | Выполнение Домашнего задания "Моделирование светоизлучающих структур" /Ср/                         | 8 | 6 | УК-2-31 УК-2-У1<br>УК-2-У3<br>УК-2-В2 УК-2-В3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-5-32<br>ПК-5-У1<br>ПК-5-У2 ПК-5-В1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2 Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4  |  | КМ14        | Р14   |
|      | <b>Раздел 3.<br/>Полупроводниковые лазеры</b>  |   |   |   |  |  |             |       |
| 3.1  | Параметры, характеристики и устройство полупроводниковых лазеров /Лек/                             | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-32<br>ОПК-1-31 ПК-5-31<br>ПК-5-32  | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2 |  |             |       |

|     |  |   |   |   |  |  |           |         |
|-----|--|---|---|---|--|--|-----------|---------|
| 3.2 | Изучение параметров усиления лазерных структур /Ср/  | 8 | 3 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У3<br>УК-2-В2 УК-2-В3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-5-32 ПК-5-У1<br>ПК-5-В1         | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2       |  |           |         |
| 3.3 | Расчеты параметров усиления лазерных структур /Пр/   | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У3<br>УК-2-В2 УК-2-В3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-5-31 ПК-5-32<br>ПК-5-У1 ПК-5-В1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2       |  | КМ10      | Р10     |
| 3.4 | Основные конструкции лазерных структур различного назначения /Лек/                               | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32 ПК-5-31 ПК-5-32   | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2       |  |           |         |
| 3.5 | Изучение методик расчетов характеристик и оптимизации конструкции полупроводниковых лазеров /Ср/ | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-У3 УК-2-В3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1 ПК-5-32 ПК-5-У1   | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2Л2.1<br>Э1 Э2               |  |           |         |
| 3.6 | Расчеты характеристик и оптимизации конструкции полупроводниковых лазеров /Пр/                   | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32 УК-2-У3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-5-32 ПК-5-У1                           | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |  | КМ11,КМ13 | Р11,Р13 |
| 3.7 | Лазерные полупроводниковые материалы /Лек/   | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32 ПК-5-32   | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |  |           |         |
| 3.8 | Подготовка к лабораторной работе "Изучение характеристик лазерных структур" /Ср/                 | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32<br>УК-2-У2<br>ОПК-1-31 ПК-5-31  | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2       |  |           |         |
| 3.9 | Изучение характеристик лазерных структур /Лаб/   | 8 | 4 | УК-2-31 УК-2-32<br>УК-2-У1<br>УК-2-У2 УК-2-В1<br>УК-2-В2<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-У1<br>ОПК-1-У2 ПК-5-31 ПК-5-У2                              | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2       |  | КМ12      | Р12     |



|      |   |   |   |  |  |  |      |     |
|------|---|---|---|--|--|--|------|-----|
| 3.10 | Выполнение домашнего задание в части "Конструирование лазерных структур" /Ср/ | 8 | 5 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-У3<br>УК-2-В2 УК-2-В3<br>ОПК-1-31<br>ОПК-1-32<br>ОПК-1-У2<br>ОПК-1-В1<br>ОПК-1-В2 ПК-5-32<br>ПК-5-У1<br>ПК-5-У2 ПК-5-В1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3<br>Л1.4Л2.1<br>Л2.2<br>Л2.1Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |  | КМ14 | Р14 |
|------|---|---|---|--|--|--|------|-----|

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие   | Проверяемые индикаторы компетенций   | Вопросы для подготовки   |
|--------|---|--|--|
| КМ1    | Решения задач по расчетам взаимодействия излучения с полупроводниками и характеристик фоторезисторов. Расчеты коэффициентов Эйнштейна (П31) | ОПК-1-31;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-У3;ОПК-1-32;ОПК-1-В1;УК-2-У1                          | <p>Определение коэффициента отражения излучения полупроводником.</p> <p>Определение коэффициента пропускания излучения полупроводником.</p> <p>Определение коэффициента поглощения излучения полупроводником, его физический смысл.</p> <p>Закон Бугера-Ламберта.</p> <p>Как связаны длина волны кванта света и его энергия.</p> <p>Скорость генерации избыточных носителей заряда.</p> <p>Определение фотопроводимости.</p> <p>Параметры и характеристики фоторезисторов.</p> <p>Влияние характеристик материала, конструкции фоторезисторов и режимов измерения на спектральную характеристику чувствительности.</p> |
| КМ2    | Расчеты внутреннего квантового выхода излучения в полупроводниках (П32)   | УК-2-31;УК-2-У3;УК-2-У1;ОПК-1-31   | <p>Механизмы рекомбинации избыточных носителей заряда.</p> <p>Излучательная рекомбинация.</p> <p>Коэффициент Ван Русбрика-Шокли.</p> <p>Механизмы безызлучательной рекомбинации.</p> <p>Рекомбинация Шокли-Холла-Рида.</p> <p>Внутренний квантовый выход и его зависимость от характеристик полупроводникового материала</p> <p>Формирование потока квантов света.</p>   |
| КМ3    | Расчеты характеристик и условий оптического усиления света в полупроводниках (П33)  | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-У1          | <p>Спонтанное и индуцированное излучение.</p> <p>Коэффициенты спонтанного и индуцированного излучения.</p> <p>Физическая интерпретация коэффициентов Эйнштейна.</p> <p>Связь между коэффициентами Эйнштейна.</p> <p>Коэффициент оптического усиления.</p> <p>Условия оптического усиления.</p> <p>Полоса оптического усиления.</p>   |
| КМ4    | Расчеты характеристик светоизлучающих структур (П34)  | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-У3;УК-2-В3;ПК-5-32;ПК-5-У1 | <p>Избыточная концентрация в активной области.</p> <p>Угол вывода излучения из светодиодной структуры. Потери на внутреннее отражение.</p> <p>Отражение Френеля от границы "полупроводник-воздух".</p> <p>Эффект растекания тока в светодиодной структуре.</p> <p>Поглощение света в световыводящих слоях.</p> <p>Поглощение света свободными носителями заряда.</p>   |
| КМ5    | Построение и расчет энергетических диаграмм гетероструктур (П35)  | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-В1  | <p>Методика расчета положения уровня Ферми в полупроводниках.</p> <p>Что такое сродство к электрону?</p> <p>Что такое уровень вакуума?</p> <p>Работа выхода полупроводника и методика ее расчета.</p> <p>Методика построения зонной диаграммы гетероструктур.</p> <p>Типы диаграмм гетероструктур.</p> <p>Какая гетероструктура подходит для создания светодиодных и лазерных структур?</p>  |

|     |   |  |  |
|-----|---|--|--|
| КМ6 | Расчеты характеристик светодиодных структур и оптимизация конструкции (ПЗ6)             | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-У1;ПК-5-В1 | Избыточная концентрация в активной области.<br>Угол вывода излучения из светодиодной структуры. Потери на внутреннее отражение.<br>Отражение Френеля от границы "полупроводник-воздух".<br>Эффект растекания тока в светодиодной структуре.<br>Поглощение света в световыводящих слоях.<br>Поглощение света свободными носителями заряда.<br>Строение зонных диаграмм полупроводника.<br>Спектральная характеристика излучения светодиода.<br>Зависимость спектральных характеристик светодиода от характеристик полупроводникового материала.   |
| КМ7 | Защита лабораторной работы "Изучение спектральных характеристик светодиодных структур"  | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2;ПК-5-31;ПК-5-У2           | Избыточная концентрация в активной области.<br>Угол вывода излучения из светодиодной структуры. Потери на внутреннее отражение.<br>Отражение Френеля от границы "полупроводник-воздух".<br>Эффект растекания тока в светодиодной структуре.<br>Поглощение света в световыводящих слоях.<br>Поглощение света свободными носителями заряда.<br>Избыточная концентрация в активной области.<br>Угол вывода излучения из светодиодной структуры. Потери на внутреннее отражение.<br>Отражение Френеля от границы "полупроводник-воздух".<br>Эффект растекания тока в светодиодной структуре.<br>Поглощение света в световыводящих слоях.<br>Поглощение света свободными носителями заряда.<br>Строение зонных диаграмм полупроводника.<br>Спектральная характеристика излучения светодиода.<br>Зависимость спектральных характеристик светодиода от характеристик полупроводникового материала.<br>Методика измерения спектральной характеристики светодиода.<br>Принцип работы монохроматора.<br>Принцип синхронного детектирования.  |
| КМ8 | Защита лабораторной работы "Измерение внешнего квантового выхода светодиодных структур" | ОПК-1-31;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-У3;УК-2-В1;УК-2-В2;ПК-5-31;ПК-5-У2            | Механизмы рекомбинации избыточных носителей заряда.<br>Излучательная рекомбинация.<br>Коэффициент Ван Русбрика-Шокли.<br>Механизмы безызлучательной рекомбинации.<br>Рекомбинация Шокли-Холла-Рида.<br>Внутренний квантовый выход и его зависимость от характеристик полупроводникового материала<br>Формирование потока квантов света.<br>Методика измерения внешнего квантового выхода.  |
| КМ9 | Контрольная работа №1 "Расчеты характеристик светодиодных структур"                     | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В3;ПК-5-У1                                   | 1. Требуется определить время жизни неосновных носителей в GaAs p-типа при концентрации легирующих примесей $10^{15}$ см <sup>-3</sup> и $10^{18}$ см <sup>-3</sup> . Коэффициент бимолекулярной рекомбинации считается равным $B = 10^{-10}$ см <sup>3</sup> /с.<br>2. Рассчитать внутренний квантовый выход образования квантов света в светодиодной структуре и поток квантов оптического излучения для заданных полупроводниковых структур (Площадь – 0,1 см <sup>2</sup> ).<br>3. В двойной гетероструктуре с заданной структурой определить ток, при котором происходит полное заполнение носителями заряда активной области При заданном полупроводниковом материале, высоте потенциального барьера и толщине активной области. Коэффициент бимолекулярной рекомбинации из таблицы в презентации к 1-му практическому занятию.<br>4. Для заданной полупроводниковой светодиодной структуры определить долю выходящего излучения через границу с воздухом вследствие внутреннего отражения. Внутренним поглощением пренебречь. Определить во сколько раз изменится доля выходящего излучения, при использовании прозрачного полимерного корпуса с показателем преломления 1,5.<br>5. Для заданного материала светодиода подобрать антиотражающее покрытие и рассчитать его толщину. Длина волны соответствует ширине запрещенной зоны полупроводника.<br>6. Для заданной полупроводниковой структуры определить при заданном токе расстояние от края металлического контакта, на котором ток спадает в заданное число раз. |

|      |   |  |  |
|------|---|--|--|
| КМ10 | Расчеты параметров генерации оптического излучения лазерными структурами (ПЗ7)  | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-У1;ПК-5-В1 | Коэффициенты спонтанного и индуцированного излучения.<br>Физическая интерпретация коэффициентов Эйнштейна.<br>Связь между коэффициентами Эйнштейна.<br>Коэффициент оптического усиления.<br>Условия оптического усиления.<br>Полоса оптического усиления.<br>Пороговый ток генерации.<br>Оптический резонатор Фабри-Перо.<br>Максимальный коэффициент усиления и его зависимость от температуры.<br>Коэффициент оптических потерь.   |
| КМ11 | Расчеты характеристик и оптимизации конструкции полупроводниковых лазеров (ПЗ8) | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У3;ПК-5-У1;ПК-5-32                        | Активный слой и область локализации оптического излучения.<br>Влияние коэффициента отражения зеркал на характеристики лазерной структуры.<br>Влияние конструкции лазерной структуры на величину порогового тока генерации.<br>Спектр лазерного излучения.<br>Почему возникают разные моды излучения?<br>Спектральное расстояние между продольными модами лазерного излучения.<br>Методика расчета расстояния между модами.<br>Методика определения длины резонатора.<br>Энергетические потери в полупроводниковом лазере.<br>Расчет мощности полупроводникового лазера.<br>Коэффициент полезного действия полупроводникового лазера. |
| КМ12 | Лабораторная работа "Изучение характеристик лазерных структур"                  | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2;ПК-5-31;ПК-5-У2                           | Активный слой и область локализации оптического излучения.<br>Влияние коэффициента отражения зеркал на характеристики лазерной структуры.<br>Влияние конструкции лазерной структуры на величину порогового тока генерации.<br>Спектр лазерного излучения.<br>Почему возникают разные моды излучения?<br>Спектральное расстояние между продольными модами лазерного излучения.<br>Методика расчета расстояния между модами.<br>Методика определения длины резонатора.<br>Энергетические потери в полупроводниковом лазере.<br>Расчет мощности полупроводникового лазера.<br>Коэффициент полезного действия полупроводникового лазера. |

|      |  |   |   |
|------|--|---|---|
| КМ13 | Контрольная работа №2<br>"Расчеты характеристик лазерных структур" | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-У1;ПК-5-32 | <p>1. Рассчитайте равновесную разность населенностей в двухуровневой системе при <math>T = 300</math> К, отнесенную к общему числу частиц, считая кратность вырождения уровней одинаковыми, для случаев, когда энергетический зазор между ними составляет 0,001; 0,01; 0,1; 1 и 10 эВ. Укажите длину волны и частоты соответствующих излучений.</p> <p>2. Степени вырождения нижнего <math>E_1</math> и верхнего <math>E_2</math> энергетических уровней равны восьми и двум соответственно. На нижнем уровне число частиц равно <math>10^{18}</math> см<sup>-3</sup>. При какой концентрации частиц на верхнем уровне <math>N_2</math> наступает инверсная населенность?</p> <p>3. В собственном полупроводнике ширина запрещенной зоны <math>E_g = 2,7</math> эВ. В результате накачки разность квазиуровней Ферми стала равной 2,9 эВ. Найдите интервал длин волн, в котором вещество будет усиливать, проходящее через него оптическое излучение.</p> <p>4. В некоторых электролюминесцентных диодах из арсенида галлия при инжекции интенсивность излучения зависит от прямого напряжения как <math>\exp(qU/kT)</math>, т.е. пропорциональна диффузионному току, и основная часть излучения выходит во внешнюю среду во внешнюю среду из p-области p-n-перехода. Можно утверждать, что излучение электролюминесцентного диода создается за счет диффузионного тока электронов в p-область. Учитывая это, обсудите вопрос об оптимизации внешнего квантового выхода излучения путем изменения толщины p-области. Рассчитайте оптимальную толщину p-области излучающего диода из GaAs, решая одномерную задачу. Считайте, что приложенное напряжения на несколько <math>kT</math> меньше чем ширина запрещенной зоны GaAs.</p> <p>5. Рассчитайте коэффициент усиления для GaAs-гомолазера при <math>T = 300</math> К, используя выражение (3.3), при следующих величинах: внутренняя квантовая эффективность 0,7; длина волны излучения в вакууме 900 нм; коэффициент преломления <math>n = 3,34</math>; ширина полосы спонтанного излучения <math>1,5 \cdot 10^{13}</math> с<sup>-1</sup>; толщина активной области <math>d = 10^{-6}</math> м/м<sup>2</sup>.</p> <p>6. Покажите, как определить коэффициент потерь <math>\alpha</math> инжекционного лазера из двух измерений порогового тока, взятых при различных значениях коэффициента отражения зеркала.</p> <p>7. Покажите, что если ширина <math>d</math> области локализации оптического излучения инжекционного лазера меньше толщины <math>t</math> активной области, то коэффициент усиления определяется по формуле (3.2), где <math>d</math> заменяется на <math>t</math>.</p> <p>8. Покажите, что в резонаторе Фабри-Перо длиной <math>l</math> расстояние между модами описывается выражением</p> <p>9. Резонатор инжекционного лазера образован естественными гранями полупроводникового кристалла с коэффициентом отражения <math>R_1 = R_2 = 0,37</math>. Определите коэффициент потерь <math>\alpha_p = \alpha - (1/2)\ln(R_1R_2)</math> для <math>\alpha = 5</math> см<sup>-1</sup>, <math>l = 400</math> мкм и <math>l = 100</math> мкм. Чему равен <math>\alpha_p</math>, если на грани резонатора нанести отражающие покрытия с <math>R_1 = 1</math> и <math>R_2 = 0,98</math>?</p> <p>10. Лазер с плоским резонатором генерирует на двух соседних модах с 500 нм и 501 нм, показатель преломления <math>n = 3,5 + 2i2l</math>, где <math>l</math> выражено в мкм. Определить</p> |
|------|--|---|---|

|      |  |   |  |
|------|--|---|--|
|      |  |   | <p>длину резонатора <math>l</math>. Чему равно расстояние между модами <math>m</math> и <math>n</math>, если <math>l = 400</math> мкм и <math>l = 1</math> см.</p> <p>11. Рассчитайте пороговую плотность тока <math>j_p</math> инжекционного полупроводникового лазера, который имеет одно глухое зеркало (<math>R = 1</math>) и оптический выход с <math>R_0</math>. Величины <math>l</math>, <math>\alpha</math>, <math>d</math> и <math>t</math> известны.</p> <p>12. Лазер, изготовленный из прямозонного полупроводника, имеет длину волны излучения <math>1,2</math> мкм и внешний квантовый выход <math>25\%</math>. Предполагая, что выходная мощность составляет <math>20</math> мВт, оцените значение инжекционного тока. Какую ширину запрещенной зоны имеет полупроводник, из которого изготовлен активный элемент?</p> <p>13. Гетеролазер на двойной гетероструктуре <math>Ga_{x-1}Al_1-xAs/GaAs</math> имеет длину резонатора <math>3 \cdot 10^{-4}</math> м, коэффициент поглощения <math>\alpha = 10^{-2}</math> м<math>^{-1}</math> и коэффициент отражения зеркал резонатора <math>p = 0,33</math>.</p> <p>а) Рассчитайте насколько снизится пороговый коэффициент усиления в результате увеличения коэффициента отражения на одном торце лазерного элемента до <math>1</math>;</p> <p>б) Оцените уменьшения <math>j_{эф}</math>, связанное с этим изменением, используя графики на рис.3.13.</p> <p>в) Рассчитайте изменение порогового тока лазера, если ширина активного слоя <math>w = 10^{-5}</math> см, толщина <math>t = 10^{-7}</math> м и внутренний квантовый выход <math>0,7</math>.</p> <p>14. Определите расстояние, на котором оптическая мощность пучка уменьшится на порядок при распространении в волоконном световоде, имеющем следующие коэффициенты потерь: <math>1000</math> дБ/км; <math>10</math> дБ/км; <math>0,2</math> дБ/км.</p> |
| КМ14 | Домашнее задание "Проектирование полупроводниковых светоизлучающих структур" | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-В1 | <p>Основные характеристики и параметры светоизлучающих полупроводниковых структур.</p> <p>Факторы, влияющие на характеристики светоизлучающих полупроводниковых структур.</p> <p>Методика расчета характеристик светоизлучающих полупроводниковых структур.</p> <p>Способы оптимизации конструкции светоизлучающих полупроводниковых структур.</p>   |

|      |         |  |  |
|------|---------|--|--|
| KM15 | Экзамен | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-В1 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конструкции современных фотопреобразователей.</li> <li>2. Оптические свойства полупроводников.</li> <li>3. Люминесценция полупроводников. Виды люминесценции. Спонтанное и вынужденное излучения. Основные условия возникновения.</li> <li>4. Скорость спонтанного и вынужденного излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Связь между ними.</li> <li>5. Ширина спектральных линий излучения. Форма линии спонтанного излучения.</li> <li>6. Механизмы излучательной рекомбинации. Форма спектра межзонной излучательной рекомбинации.</li> <li>7. Внутренний квантовый выход рекомбинационного излучения полупроводниковых материалов.</li> <li>8. Внешний квантовый выход светодиодных структур.</li> <li>9. Ширина спектральных линий оптического излучения.</li> <li>10. Форма спектра межзонной излучательной рекомбинации.</li> <li>11. Виды излучательной рекомбинации.</li> <li>12. Основные физические параметры полупроводниковых светоизлучательных приборов.</li> <li>13. Коэффициент полезного действия светодиодов.</li> <li>14. Общие физико-технологические принципы конструирования СИП.</li> <li>15. Способы повышения эффективности СИП.</li> <li>16. Оптическое усиление света в полупроводниках. Понятие отрицательной «температуры». Коэффициент оптического усиления.</li> <li>17. Генерация лазерного излучения в полупроводниках. Резонатор Фабри-Перо.</li> <li>18. Инжекционная электролюминесценция в рп-переходе.</li> <li>19. Инжекционная люминесценция гетеропереходов.</li> <li>20. Основные физические параметры светоизлучающих приборов. Внутренний квантовый выход. Основные пути повышения внутреннего квантового выхода.</li> <li>21. Основные физические параметры светоизлучающих приборов. Внешний квантовый выход. Основные пути повышения внешнего квантового выхода.</li> <li>22. Порог лазерной генерации.</li> <li>23. Инжекционная электролюминесценция в р-п-переходе.</li> <li>24. Общие физико-технологические принципы конструирования светоизлучающих приборов.</li> <li>25. Способы повышения эффективности светоизлучающих приборов.</li> <li>26. Принцип действия и коэффициент оптического усиления лазера на рп-переходе.</li> <li>27. Порог генерации лазера.</li> <li>28. Выходная мощность стационарной генерации стационарных лазеров.</li> <li>29. Внешний дифференциальный квантовый выход генерации лазера.</li> <li>30. Устройство и спектр генерации инжекционных лазеров.</li> <li>31. Диаграмма направленности лазерного излучения.</li> <li>32. Инжекционные лазеры на односторонней и двухсторонней гетероструктурах.</li> <li>33. Полупроводниковые материалы для светодиодов. Полупроводниковые материалы для лазеров.</li> </ol> |
|------|---------|--|--|

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

| Код работы | Название работы         | Проверяемые индикаторы компетенций                          | Содержание работы  |
|------------|-------------------------|---|--|
| P1         | Практическое занятие №1 | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3 | Решения задач по расчетам взаимодействия излучения с полупроводниками и характеристик фоторезисторов |
| P2         | Практическое занятие №2 | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;ОПК-1-31                            | Расчеты внутреннего квантового выхода излучения в полупроводниках                                    |

|     |  |  |  |
|-----|--|--|--|
| P3  | Практическое занятие №3  | ОПК-1-31;ОПК-1-У2;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-У1;ОПК-1-32  | Расчеты характеристик и условий оптического усиления света в полупроводниках       |
| P4  | Практическое занятие №4  | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-У3;УК-2-В3;ПК-5-32;ПК-5-У1                                 | Расчеты характеристик светоизлучающих структур                                     |
| P5  | Практическое занятие №5  | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-В1                                  | Построение и расчет энергетических диаграмм гетероструктур                         |
| P6  | Практическое занятие №6  | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-У1;ПК-5-В1                 | Расчеты характеристик светодиодных структур и оптимизация конструкции              |
| P7  | Лабораторной работы "Изучение спектральных характеристик светодиодных структур"  | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;УК-2-В2;ПК-5-31;ПК-5-У2                           | Экспериментальное измерение спектральных характеристик светодиодных структур       |
| P8  | Лабораторная работа "Измерение внешнего квантового выхода светодиодных структур" | ОПК-1-31;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-У3;УК-2-В1;УК-2-В2;ПК-5-31;ПК-5-У2                            | Экспериментальное измерение внешнего квантового выхода светодиодных структур       |
| P9  | Контрольная работа №1 "Расчеты характеристик светодиодных структур"              | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В3;ПК-5-У1   | Решение задач по Контрольная работа №1 расчету характеристик светодиодных структур |
| P10 | Практическое занятие №7  | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-У1;ПК-5-В1 | Расчеты параметров генерации оптического излучения лазерными структурами           |
| P11 | Практическое занятие №8  | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У3;ПК-5-У1;ПК-5-32                        | Расчеты характеристик и оптимизации конструкции полупроводниковых лазеров          |
| P12 | Лабораторная работа "Изучение характеристик лазерных структур"                   | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-У2;УК-2-В1;ПК-5-31;ПК-5-У2                                   | Экспериментальные измерения характеристик лазерных структур                        |

|     |  |   |  |
|-----|--|---|--|
| P13 | Контрольная работа №2<br>"Расчеты характеристик лазерных структур" | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-В1;ОПК-1-У2;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-32;ПК-5-У1                           | Решение задач по расчету характеристик лазерных структур   |
| P14 | Домашнее задание   | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-У3;УК-2-В2;УК-2-В3;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-В1 | Проектирование полупроводниковых светодиодных и лазерных структур и расчет их характеристик в соответствии с индивидуальным заданием |
| P15 | Экзамен  | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;УК-2-31;УК-2-32;УК-2-У1;УК-2-В2;УК-2-В3;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-В1          | Ответы на вопросы экзаменационного билета  |

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзаменационный билет состоит из трех теоретических вопросов из различных разделов дисциплины. Комплект билетов хранится на кафедре.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

К экзамену студент допускается при условии выполнения всех контрольных мероприятий в семестре (практические и лабораторные работы, домашнее задание) и получении положительной оценки при защите.

Оценка за экзамен рассчитывается как среднеарифметическая по трем вопросам билета, при условии, что все вопросы написаны на положительную оценку.

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы;

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

|      | Авторы, составители           | Заглавие   | Библиотека       | Издательство, год     |
|------|-------------------------------|--|------------------|-----------------------|
| Л1.1 | Киреев П. С.                  | Физика полупроводников: учеб. пособие для студ. вузов  | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1969   |
| Л1.2 | Горбачев В. В., Спицына Л. Г. | Физика полупроводников и металлов: учебник для вузов по спец. 'Технология спец. материалов электрон. техники'  | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1982 |
| Л1.3 | Зи С. М., Трутко А. Ф.        | Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ.  | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1973     |
| Л1.4 | Пихтин А. Н.                  | Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники: Учеб. пособие для вузов по спец. 'Полупроводники и диэлектрики', 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1983   |



**6.1.2. Дополнительная литература**

|      | Авторы, составители  | Заглавие   | Библиотека             | Издательство, год      |
|------|--|--|------------------------|------------------------|
| Л2.1 | Юрчук С. Ю.,<br>Диденко С. И.,<br>Кольцов Г. И.,<br>Мартынов В. Н. | Полупроводниковые<br>оптоэлектронные приборы:<br>Курс лекций   | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2004        |
| Л2.2 | Мартынов В. Н.,<br>Кольцов Г. И.                                   | Полупроводниковая<br>оптоэлектроника: Учеб.<br>пособие для студ. вузов,<br>обучающихся по направл.<br>'Электроника и<br>микроэлектроника' и спец.<br>'Микроэлектроника и<br>полупроводниковые приборы' | Библиотека МИСиС       | М.: Изд-во МИСиС, 1999 |

**6.1.3. Методические разработки**

|      | Авторы, составители   | Заглавие   | Библиотека       | Издательство, год      |
|------|---|--|------------------|------------------------|
| Л3.1 | Горюнов Н. Н.,<br>Клейман А. Ю.,<br>Комков Н. Н., др.,<br>Горюнов Н. Н. | Справочник по<br>полупроводниковым диодам,<br>транзисторам и<br>интегральным схемам                                | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1972      |
| Л3.2 | Юрчук С. Ю.,<br>Орлова М. Н.,<br>Борзых И. В.,<br>Щемеров И. В.         | Приборы квантовой и<br>оптической электроники:<br>курс лекций  | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2016 |
| Л3.3 | Юрчук С. Ю.,<br>Коновалов М. П.   | Приборы квантовой и<br>оптической электроники.<br>Светоизлучающие и<br>лазерные структуры (N<br>3503): курс лекций | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 2019      |

**6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

|    |   |   |
|----|---|---|
| Э1 | Электронная библиотека МИСиС  | <a href="http://elibrary.misis.ru/browse.php">http://elibrary.misis.ru/browse.php</a> |
| Э2 | Электронно-библиотечная система Лань  | <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>                           |
| Э3 | ФТИ им.А.Ф.Иоффе. Новые полупроводниковые материалы: диагностика и свойства | <a href="http://www.matprop.ru/">http://www.matprop.ru/</a>                           |
| Э4 | Оптические константы материалов   | <a href="https://refractiveindex.info/">https://refractiveindex.info/</a>             |

**6.3 Перечень программного обеспечения**

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| П.1 | Win Pro 10 32-bit/64-bit     |
| П.2 | Microsoft Visual Studio 2015 |

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных**

|     |   |   |
|-----|---|---|
| И.1 | Электронная библиотека МИСиС  | <a href="http://elibrary.misis.ru/browse.php">http://elibrary.misis.ru/browse.php</a> |
| И.2 | Электронно-библиотечная система Лань  | <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>                           |
| И.3 | ФТИ им.А.Ф.Иоффе. Новые полупроводниковые материалы: диагностика и свойства | <a href="http://www.matprop.ru/">http://www.matprop.ru/</a>                           |
| И.4 | Оптические константы материалов   | <a href="https://refractiveindex.info/">https://refractiveindex.info</a>              |

**7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|------|------------|-----------|
|------|------------|-----------|

|                                       |  |  |
|---------------------------------------|--|--|
| К-503                                 | Лаборатория  | установка измерения вольт-амперных характеристик фотодиодов (апмервольтметр Ф-30, вольтметр В7-65, источник питания Motech LPS-305); установка для измерения характеристик оптоэлектронных приборов (источник питания Motech LPS-305, вольтметр В7-38); установка для измерения спектральных характеристик фотодиодов (монохроматор МДР-206, осветитель с галогенной лампой ОЛГ-20, ноутбук с ПО); установка для измерения спектральных характеристик светодиодов (монохроматор МДР-2, блок питания Б5-50); установка для измерения малых токов полупроводниковых приборов (комплекс измерительный ИЕН-2, фотоэлектронная приставка ФЭП-3); установка спектроскопии глубоких уровней полупроводниковых приборов (измеритель релаксационной емкости, осциллограф С1-55, осциллограф С1-137/2, генератор Г6-46, источник питания QJ3003С III, QJ5003С); лазерные генераторы ЛГИ-21 (2шт.); вольтметры В2-34(2шт.), В7-138; излучатель ИЛГИ-503; блок питания Б5-46; мегаомметр Ф4.104; ПК, комплект учебной мебели |
| Любой корпус<br>Мультимедийная        | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus  |
| Читальный зал<br>электронных ресурсов |  | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.   |
| Читальный зал №3 (Б)                  |  | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink В7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.   |
| Читальный зал №4 (Б)                  |  | комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета  |
| Любой корпус<br>Мультимедийная        | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus  |

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Чтение лекций по данной дисциплине проводится как в классической форме, так и с использованием мультимедийных презентаций. Кроме того презентации размещаются на LMS Canvas. Слайд-конспект курса лекций предназначен для более глубокого усвоения материала при изучении разделов, связанных с технической частью курса. Презентация позволяет преподавателю иллюстрировать лекцию не только схемами и рисунками, которые есть в учебном пособии, но и полноцветными фотографиями, рисунками и т.д. Студентам предоставляется возможность копирования презентаций для самоподготовки и подготовки к итоговому контролю.

При проведении практических занятий 50% времени отводится на самостоятельное решение задач. Перед началом занятия студентам рекомендуется ознакомиться с типовыми задачами, которые размещены на LMS Canvas и решить их с использованием знаний, полученных на лекции. Имеющиеся вопросы, которые студенты не могут решить самостоятельно рассматриваются дополнительно на практическом занятии. Практические занятия проводятся следующим образом:

- вводная преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены);
- беглый опрос;
- решение 1-2 типовых задач у доски;
- самостоятельное решение задач;
- разбор типовых ошибок при решении (в конце текущего занятия или в начале следующего).

После проведения запланированного числа занятий (после завершения модуля) студенты пишут контрольные работы. Оценка за контрольную работу рассчитывается как среднеарифметическое по всем вопросам, написанным на положительную оценку. При неудовлетворительной оценке по одному из вопросов контрольная считается написанной на неудовлетворительную оценку.

При проведении лабораторного практикума создаются условия для максимально самостоятельного выполнения лабораторных работ. Поэтому лабораторные занятия проводятся следующим образом:

- для допуска к выполнению лабораторной работы студенты индивидуально готовят конспект с кратким теоретическим описанием предмета исследований, порядком проведения работы, схемой измерений и заданием;
- допуск осуществляется на основе устных ответов студентов по вопросам методики проведения измерений;
- в соответствии с заданием студенты (в бригадах 2-3 человека) проводят измерения. Результаты измерений заносятся в заранее заготовленные таблицы;
- преподаватель проверяет результаты измерений и ставит в лабораторном журнале отметку о выполнении работы;
- при подготовке к защите работы студент проводит обработку экспериментальных результатов в соответствии с заданием, строит требующиеся графики;
- на защите лабораторной работы преподаватель задает вопросы из перечня, размещенного в лабораторном практикуме для каждой лабораторной работы.
- по результатам выполнения работы и защиты преподаватель проставляет оценку.

Любая лабораторная работа должна включать глубокую самостоятельную проработку теоретического материала, изучение методик проведения и планирование эксперимента, освоение измерительных средств, обработку и интерпретацию экспериментальных данных.

В начале семестра каждый студент получает индивидуальное задание на выполнение домашнего задания. Домашнее задание направлено на проведение расчетов с целью получения характеристик оптоэлектронных приборов и оптимизации конструкции в соответствии с заданием.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине преподавателю рекомендуется использовать следующие ее формы:

Допуск к экзамену осуществляется при обязательном выполнении всех учебных и контрольных мероприятий по дисциплине.

Итоговая оценка определяется при сдаче экзамена.