

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ное образовательное учреждение высшего образования

**ТОМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Документ подписан электронной подписью  
Сертификат: 1c6bcfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820  
Владелец: Троян Павел Ефимович  
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

юте

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства**

Уровень основной образовательной программы \_\_\_\_\_ Бакалавриат  
Направление подготовки **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**  
Профиль «Оптические системы и сети связи»  
Форма обучения \_\_\_\_\_ заочная  
Факультет \_\_\_\_\_ Радиотехнический  
Кафедра \_\_\_\_\_ Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР)  
Курс \_\_\_\_\_ третий, четвертый \_\_\_\_\_ Семестр \_\_\_\_\_ шестой, седьмой

Учебный план набора 2012 года.

Распределение рабочего времени:

| №   | Виды учебной работы                             | Семестр 1 | Семестр 2 | Семестр 3 | Семестр 4 | Семестр 5 | Семестр 6 | Семестр 7 | Семестр 8 | Всего | Единицы |
|-----|-------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| 1.  | Лекции                                          |           |           |           |           |           | 4         | -         |           | 4     | часов   |
| 2.  | Лабораторные работы                             |           |           |           |           |           | -         | 8         |           | 8     | часов   |
| 3.  | Практические занятия                            |           |           |           |           |           | 4         | 2         |           | 6     | часов   |
| 4.  | Курсовой проект/работа (КРС)<br>(аудиторная)    |           |           |           |           |           | -         | -         |           | -     | часов   |
| 5.  | Всего аудиторных занятий<br>(Сумма 1-4)         |           |           |           |           |           | 8         | 10        |           | 18    | часов   |
| 6.  | Из них в интерактивной форме                    |           |           |           |           |           | 2         | 2         |           | 4     | часов   |
| 7.  | Самостоятельная работа<br>студентов (СРС)       |           |           |           |           |           | 64        | 53        |           | 117   | часов   |
| 8.  | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)                |           |           |           |           |           | 72        | 63        |           | 135   | часов   |
| 9.  | Самост. работа на подготовку,<br>сдачу экзамена |           |           |           |           |           | -         | 9         |           | 9     | часов   |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9)                  |           |           |           |           |           | 72        | 72        |           | 144   | часов   |
|     | (в зачетных единицах)                           |           |           |           |           |           | 2         | 2         |           | 4     | ЗЕТ     |

Экзамен \_\_\_\_\_ седьмой \_\_\_\_\_ семестр

Томск 2017

**Лист согласований**

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», утвержденного Приказом Минобрнауки России 06 марта 2015 г. регистрационный номер 174, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры « » \_\_\_\_\_ 2016 г., протокол № \_\_\_\_

Разработчик Профессор каф. СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шандаров В.М.  
(должность, кафедра) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами.

Декан РТФ \_\_\_\_\_ Попова К.Ю.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. профилирующей кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. выпускающей кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

**Эксперты:**

ТУСУР, каф.ТОР, доц. \_\_\_\_\_ С.И.Богомолов

ТУСУР, каф. СВЧиКР Профессор \_\_\_\_\_ А.Е. Мандель

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

**Цель** преподавания дисциплины “Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства” состоит в подготовке студентов в области элементной базы систем оптической связи.

**Основными задачами** изучения дисциплины являются:

- изучение физических основ, принципов работы и построения оптоэлектронных и квантовых элементов, устройств и приборов, используемых в оптических системах;
- изучение характеристик и параметров важнейших приборов и устройств, используемых в оптических системах связи.

К числу подобных приборов, устройств и компонентов относятся квантовые генераторы и усилители, оптические модуляторы, фотоприемные устройства, нелинейно-оптические элементы и устройства, голографические и интегрально-оптические компоненты.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты получают знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и являющиеся фундаментом для изучения ряда последующих специальных дисциплин и практической работы специалистов в области оптической связи.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП:

Дисциплина “Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства” является обязательной дисциплиной вариативной части (Б1.В.ОД.5).

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- умение проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных (ПК-9);
- способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики (ПК-17).

В результате изучения дисциплины студент должен

- **знать:**
  - физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-9);
  - основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур (ПК-9);
  - основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики (ПК-9);
  - устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов (ПК-9, ПК-17);
- **уметь:**
  - объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-9);
  - применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-17);
  - выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-17);

- проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик (ПК-9);
- пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов (ПК-17);
- **владеть:**
  - навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы (ПК-9);
  - навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и квантовых приборов различного назначения (ПК-9);
  - навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой (ПК-17).

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы.

| Вид учебной работы                                  | Всего часов | Семестры |         |
|-----------------------------------------------------|-------------|----------|---------|
|                                                     |             | 6        | 7       |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                   | 18          | 8        | 10      |
| В том числе:                                        |             |          |         |
| Лекции                                              | 4           | 4        | -       |
| Лабораторные работы (ЛР)                            | 8           | -        | 8       |
| Практические занятия                                | 6           | 4        | 2       |
| <b>Самостоятельная работа (всего), в том числе:</b> | 117         | 64       | 53      |
| Изучение материала лекций                           | 24          | 28       | 16      |
| Подготовка к контрольным работам                    | 18          | 18       | 28      |
| Самостоятельное изучение отдельных тем              | 18          | 18       | 9       |
| Подготовка к экзамену и сдача экзамена              | 9           | -        | 9       |
| Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)       |             | -        | Экзамен |
| <b>Общая трудоемкость</b>                           | 144         | 72       | 72      |
| Зачетные единицы трудоемкости                       | 4           | 2        | 2       |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п/п  | Наименование раздела дисциплины                                                                                                                   | Лекц. | Лаб. зан. | Практ. Зан. | СРС | Все-го час. (без экз) | Формируемые компетенции (ПК) |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------|-----|-----------------------|------------------------------|
| 1      | Введение. Физические основы и особенности квантовых приборов.                                                                                     | 1     | -         | -           | 25  | 26                    | ПК-9, ПК-17                  |
| 2      | Оптические резонаторы и селекция мод. Типы и режимы работы лазеров.                                                                               | 1     | 4         | 4           | 30  | 39                    | ПК-9, ПК-17                  |
| 3      | Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы. Полупроводниковые источники излучения. Фотодиоды и фотоприемные устройства. | 1     | -         | 1           | 32  | 34                    | ПК-9, ПК-17                  |
| 4      | Методы модуляции и управления оптическим излучением. Элементы интегральной и нелинейной оптики. Физические основы голографии.                     | 1     | 4         | 1           | 30  | 36                    | ПК-9, ПК-17                  |
| Итого: |                                                                                                                                                   | 4     | 8         | 6           | 117 | 135                   |                              |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины                                       | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ПК) |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| 1     | Введение. Физические основы и особенности квантовых приборов.         | Этапы развития квантовой электроники. Основные приборы и устройства систем оптической связи и информатики. Задачи курса. Виды квантовых переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная населенность. Ширина спектральной линии. Взаимодействие бегущих электромагнитных волн с активной средой. Закон Бугера. Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах.                                                                                                                            | 1                   | ПК-9, ПК-17                  |
| 2     | Оптические резонаторы и селекция мод. Типы и режимы работы лазеров.   | Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо. Моды продольные и поперечные. Спектральные характеристики. Многослойные диэлектрические покрытия и интерференционные фильтры. Перестраиваемые резонаторы. Селекция продольных и поперечных мод. Теоретические основы. Трех- и четырех- уровневые лазеры. Стационарные режимы лазеров. Оптимальная обратная связь. Импульсные режимы. Модуляция добротности и синхронизация мод. Типы лазеров (газовые, твердотельные, жидкостные) и методы их накачки. | 1                   | ПК-9, ПК-17                  |
| 3     | Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы. | Одно-, двух-, трех- и четырехкомпонентные полупроводники. Диаграмма связи постоянной кристаллической решетки и ширины запрещенной зоны трех- и четырехкомпонентных полупроводников. Гетеропереходы.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                   | ПК-9, ПК-17                  |

|   |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |             |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------|
|   | Полупроводниковые источники излучения. Фотодиоды и фотоприемные устройства.                                                   | Полупроводниковые лазеры и светоизлучающие диоды (СИД) на двойных гетеропереходах: принцип работы, устройства, характеристики, параметры. Лазеры с распределенной обратной связью и распределенными брэгговскими зеркалами. Лазеры на квантово-размерных эффектах и сверхрешетках. Оптические усилители. Основные типы ФД: pin- и лавинные.                                                                                       |   |             |
| 4 | Методы модуляции и управления оптическим излучением. Элементы интегральной и нелинейной оптики. Физические основы голографии. | Модуляция полупроводникового лазера по цепи питания. Внешние модуляторы: электрооптические и акустооптические. Дефлекторы. Волноводно-оптические элементы и схемы. Материалы интегральной оптики. Нелинейная поляризация. Генерация гармоник. Самофокусировка. Многофотонные эффекты. Оптические солитоны. Запись и считывание голограмм. Основные соотношения. Опорный и предметный пучки. Перспективы использования голографии. | 1 | ПК-9, ПК-17 |

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

| № п/п                            | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                  |                                                                                   | 1                                                                                                                                                | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <b>Предшествующие дисциплины</b> |                                                                                   |                                                                                                                                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 1                                | Математический анализ                                                             | -                                                                                                                                                | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| 2                                | Физика                                                                            | +                                                                                                                                                | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| 3                                | Информатика                                                                       | -                                                                                                                                                | + | + | + | + | + | - | - | - | -  |
| 4                                | Основы волоконной оптики                                                          | -                                                                                                                                                | - | + | + | - | - | + | + | - | -  |
| 5                                | Электромагнитные поля и волны                                                     | +                                                                                                                                                | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 6                                | Основы физической оптики                                                          | -                                                                                                                                                | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| <b>Последующие дисциплины</b>    |                                                                                   |                                                                                                                                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 1                                | Оптические цифровые телекоммуникационные системы                                  | -                                                                                                                                                | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| 2                                | Мультиплексное и усилительное оборудование многоволновых оптических систем связи  | -                                                                                                                                                | + | + | + | + | + | - | - | - | -  |
| 3                                | Метрология в оптических телекоммуникационных системах                             | -                                                                                                                                                | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |

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

| Перечень компетенций | Виды занятий |     |     |       |     | Формы контроля по всем видам занятий                                     |
|----------------------|--------------|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------------------|
|                      | Л            | Лаб | Пр. | КР/КП | СРС |                                                                          |
| ПК-9                 | +            | +   | +   | -     | +   | Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет, экзамен. |
| ПК-17                | +            | +   | +   | -     | +   | Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет, экзамен. |

Л – лекция, Лаб – лабораторные работы, Пр – практические занятия, КР/КП – курсовая работа/проект, СРС – самостоятельная работа студента

## 6. ИНТЕРАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

| Методы           | Практические занятия | Лабораторные занятия | Лекции | Всего |
|------------------|----------------------|----------------------|--------|-------|
| Работа в группах | 2                    | 2                    | -      | 4     |
| Итого            | 2                    | 2                    | -      | 4     |

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

| № раздела дисциплины | Наименование лабораторных работ                                                         | Трудо-емкость (час.) | ПК          |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------|
| 2                    | Исследование пространственной когерентности излучения He-Ne лазера в одномодовом режиме | 4                    | ПК-9, ПК-17 |
| 4                    | Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод                  | 4                    | ПК-9, ПК-17 |

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

| № | Раздел дисциплины из табл. 5.1 | Тематика практических занятий                                                                         | Трудо-емкость (час.) | Компетенции ПК |
|---|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|
| 1 | 2                              | Расчет характеристик оптических резонаторов                                                           | 1                    | ПК-9, ПК-17    |
| 2 | 2                              | Расчет условий усиления и генерации колебаний в квантовых системах                                    | 2                    | ПК-9, ПК-17    |
| 3 | 3                              | Расчет состава полупроводниковых соединений для реализации излучателей и фоточувствительных элементов | 1                    | ПК-9, ПК-17    |
| 4 | 4                              | Характеристики электрооптических и акустооптических модуляторов                                       | 2                    | ПК-9, ПК-17    |

## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | Разделы дисциплины из табл. 5.1 | Тематика самостоятельной работы (детализация)                                                                                                                        | Трудо-емкость (час.) | Компетенции ПК | Контроль выполнения работы                                  |
|-------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------------------------------------|
| 1     | 1                               | Изучение теоретического материала.                                                                                                                                   | 25                   | ПК-9, ПК-17    | Проверка конспектов. Экзамен.                               |
| 3     | 2                               | Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к лабораторной работе.                                                             | 30                   | ПК-9, ПК-17    | Проверка конспектов. Отчет по лабораторной работе. Экзамен. |
| 4     | 3                               | Изучение теоретического материала.                                                                                                                                   | 32                   | ПК-9, ПК-17    | Проверка конспектов. Экзамен.                               |
| 5     | 4                               | Изучение теоретического материала. Подготовка к контрольным работам по темам: «Расчет условий усиления и генерации колебаний в квантовых системах» и «Характеристики | 30                   | ПК-9, ПК-17    | Проверка конспектов. Отчет по лабораторной работе. Экзамен. |

|  |  |                                                                                      |  |  |  |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
|  |  | электрооптических и акустооптических модуляторов». Подготовка к лабораторной работе. |  |  |  |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

Курсовые проекты (работы) учебным планом не предусмотрены

## 11. БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

### МЕТОДИКА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Осуществляется в соответствии с **Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов** (приказ ректора 25.02.2010 № 1902) и основана на балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г., которая включает **текущий** контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга (раздел 6).

**Правила формирования пятибалльных оценок** за каждую контрольную точку (КТ1, КТ2) осуществляется путем округления величины, рассчитанной по формуле:

$$КТx|_{x=1,2} = \frac{(Сумма \_ баллов, \_ набранная \_ к \_ КТx) * 5}{Требуемая \_ сумма \_ баллов \_ по \_ балльной \_ раскладке}.$$

**Итоговый контроль освоения** дисциплины осуществляется на экзамене по традиционной пятибалльной шкале. Обязательным условием перед сдачей экзамена является выполнение студентом необходимых по рабочей программе для дисциплины видов занятий: выполнение и защита результатов лабораторных работ.

Экзаменационный билет содержит два вопроса. Максимальная оценка за каждый вопрос составляет 15 баллов. Максимальная экзаменационная оценка составляет 30 баллов. Экзаменационная составляющая менее 10 баллов – не сдача экзамена, требует повторной пересдачи в установленном порядке.

**Формирование итоговой суммы баллов** осуществляется путем суммирования семестровой (до 70 баллов) и экзаменационной составляющих (до 30 баллов).

**Таблица 11.1 Распределение баллов в течение семестра**

| Элементы учебной деятельности                        | Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|
| Посещение занятий                                    | 3                                                             | 3                                           | 4                                                         | <b>10</b>        |
| Тестовые контрольные работы на практических занятиях | 8                                                             | 8                                           | 8                                                         | <b>24</b>        |
| Выполнение и защита результатов лабораторных работ   |                                                               | 12                                          | 12                                                        | <b>24</b>        |
| Компонент своевременности                            | 4                                                             | 4                                           | 4                                                         | <b>12</b>        |
| <b>Итого максимум за период:</b>                     | <b>15</b>                                                     | <b>27</b>                                   | <b>28</b>                                                 | <b>70</b>        |
| Сдача экзамена (максимум)                            |                                                               |                                             |                                                           | <b>30</b>        |
| <b>Нарастающим итогом</b>                            | <b>15</b>                                                     | <b>42</b>                                   | <b>70</b>                                                 | <b>100</b>       |



**Таблица 11.2 Пересчет баллов в оценки за контрольные точки**

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

**Таблица 11.3 Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

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

## **12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:**

### **12.1. Основная литература**

1. С.М. Шандаров, А.И. Башкиров. Введение в квантовую и оптическую электронику. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие – 2012. 98 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1578>
2. В.М. Шандаров. Основы физической оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2013. – 190 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3739>

### **12.2. Дополнительная литература**

1. А.Г. Смирнов. Квантовая электроника и оптоэлектроника. Мн. ВШ.;1987.-196 с. (11)
2. А.Н. Пихтин. Оптическая и квантовая электроника. – М: ВШ. 2001, 572с. (159)

### **12.3. Перечень методических указаний по практическим занятиям и лабораторным работам**

1. Куц Г. Г., Шандаров В. М. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства : [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по организации самостоятельной работы и практических занятий – 2012.- 61 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2272>
3. Куц Г. Г., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе / – 2011. -18 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/123>
5. Куц Г. Г. Исследование основных параметров газового лазера: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе – 2011. -24 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/115>

## **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

### **13.1 Общие требования**

1. Компьютерный класс, оборудованный компьютерами класса Pentium II и выше, включенный в сеть Internet.

### **13.2 Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

2. Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

3. При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

4. При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например,

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

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

#### **14. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:**

Объем часов, предусмотренных учебным планом для изучения дисциплины, позволяет осветить только ключевые моменты и раскрыть базовые понятия при чтении лекций. Поэтому при реализации программы студенты должны достаточно много работать самостоятельно как при повторении лекционного материала, так и при подготовке к лабораторным занятиям и выполнении самостоятельной работы. Для обеспечения эффективного усвоения студентами материалов дисциплины необходимо на первом занятии снабдить их перечнем вопросов, которые подлежат изучению, списком основной и дополнительной литературы для самостоятельной работы, тематикой заданий для самостоятельной работы.

Для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется тестовый контроль знаний.

Лекционные занятия желательно проводятся с применением презентаций, а так же лекционных демонстраций. Это существенно улучшает динамику лекций и способствует лучшему усвоению материала. На лекциях необходимо обращать внимание на особенности применения рассматриваемого материала в последующих курсах, а также в будущей профессиональной деятельности.

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

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ П.Е. Троян  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
**Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства**

Уровень основной образовательной программы: БАКАЛАВРИАТ

Направление(я) подготовки (специальность): 11.03.02 «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»

Профиль(и): ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ

Форма обучения ЗАОЧНАЯ

Факультет РТФ (РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ)

Кафедра СВЧиКР (СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ И КВАНТОВОЙ РАДИОТЕХНИКИ)

Курс 3, 4

Семестр 6, 7

Учебный план набора 2017 года.

Экзамен 7 семестр

Томск 2017

## 1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов ( типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций приведен в таблице 1

**Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций**

| Код   | Формулировка компетенции                                                                                                                                                                                                                                        | Этапы формирования компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-9  | Умение проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных. | <p><b>Должен знать</b> физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов; основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; устройство и особенности изучаемых приборов.</p> <p><b>Должен уметь</b> объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик.</p> <p><b>Должен владеть</b> навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и квантовых приборов различного назначения.</p> |
| ПК-17 | Способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики                                                                                                 | <p><b>Должен знать</b> устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов.</p> <p><b>Должен уметь</b> применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов; выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов.</p> <p><b>Должен владеть</b> навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой.</p>                                                                                              |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

| Показатели и критерии                 | Знать                                                                                                       | Уметь                                                                                                        | Владеть                                                                                                                       |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Отлично (высокий уровень)             | Обладает фактическим и теоретическим знанием в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости. | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем. | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы.                                                         |
| Хорошо (базовый уровень)              | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области.                                | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования.  | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем. |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями.                                                                          | Обладает основными умениями, требуемыми для решения простых задач.                                           | Работает при прямом наблюдении.                                                                                               |

## 2. Реализация компетенций

### 2.1. Компетенция ПК-9

ПК-9: умение проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.

Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

**Таблица 3—Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

| Состав            | Знать                                                                                                                                                                                                                  | Уметь                                                                                                                                                                                                 | Владеть                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Содержание этапов | Физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов; основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; устройство и | Объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов, а также иметь | Навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и |

|                                  |                                  |                                                                                    |                                                           |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                                  | особенности изучаемых приборов.  | представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик.                 | квантовых приборов различного назначения.                 |
| Виды занятий                     | Лекции.<br>Практические занятия. | Лабораторные работы.<br>Практические занятия.<br>Самостоятельная работа студентов. | Лабораторные работы.<br>Самостоятельная работа студентов. |
| Используемые средства оценивания | Задачи.<br>Экзамен.              | Задачи.<br>Оформление отчетности и защита лабораторных работ. Экзамен.             | Защита лабораторных работ.<br>Экзамен.                    |

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции приведена в таблице 4.

**Таблица 1 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

| Показатели и критерии                        | Знать                                                                                                                                                                                                                                                        | Уметь                                                                                                                                                                                                                                                                  | Владеть                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b>             | Знает физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов; основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; устройство и особенности изучаемых приборов. | Объясняет физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов; может проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов; имеет представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик. | Свободно владеет навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и квантовых приборов различного назначения. |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>              | Понимает связи между различными понятиями в области физики работы оптоэлектронных и квантовых приборов. Понимает принципы построения подобных элементов и приборов.                                                                                          | Умеет выполнять поиск информации в области оптики, используя ресурсы отечественных и зарубежных источников. Умеет самостоятельно выбирать методы решения задач в области физической оптики.                                                                            | Владеет навыками работы с литературными источниками, связанными с оптическими явлениями.                                                                                                                                                                   |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | Дает определения основных понятий в области оптоэлектронных и квантовых приборов.                                                                                                                                                                            | Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.                                                                                                                                                                                  | Может корректно представить информацию, связанную с оптоэлектронными и квантовыми приборами.                                                                                                                                                               |

## 2.2. Компетенция ПК-17

ПК-17: способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики. Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.

Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания, представлены в таблице 5.

**Таблица 5–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

| Состав                           | Знать                                                                            | Уметь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Владеть                                                                                                                                                      |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Содержание этапов                | Устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов. | Применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов; выполнять расчеты параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов. | Навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и контрольно-измерительной аппаратурой. |
| Виды занятий                     | Лекции.<br>Практические занятия.                                                 | Лабораторные работы.<br>Практические занятия.<br>Самостоятельная работа студентов.                                                                                                                                                                                                                                             | Лабораторные работы.<br>Самостоятельная работа студентов.                                                                                                    |
| Используемые средства оценивания | Задачи. Зачет.<br>Экзамен.                                                       | Оформление отчетности и защита лабораторных работ. Зачет. Экзамен.                                                                                                                                                                                                                                                             | Защита лабораторных работ. Зачет.<br>Экзамен.                                                                                                                |



Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

**Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции**

| <b>Показатели и критерии</b>                 | <b>Знать</b>                                                                                                                   | <b>Уметь</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Владеть</b>                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b>             | Знает устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов.                                         | Умеет применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов; выполнять расчеты параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов. | Свободно владеет навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и контрольно-измерительной аппаратурой. |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>              | Понимает принципы построения оптоэлектронных и квантовых элементов и приборов.                                                 | Умеет самостоятельно определять методы решения задач экспериментального исследования и проектирования оптоэлектронных и квантовых приборов.                                                                                                                                                                                          | Владеет навыками работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов.                                                                                       |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | Имеет представление о принципах построения интегрально-оптических элементов и приборов, об основных понятиях в области оптики. | Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.                                                                                                                                                                                                                                                | Может корректно представить знания и информацию, связанную с оптическими явлениями.                                                                                           |

### **3. Типичные контрольные задания**

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

- контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

## Контрольные задачи (типичные) по элементарным знаниям и практическим навыкам по темам:

### 3.1. ТЕМА: Оптические резонаторы и селекция мод.

#### Задача №1.

Найдите естественную ширину спектральной линии для квантового перехода в двухуровневой квантовой системе с временем жизни в возбужденном состоянии  $t=10^{-9}$  с при частоте перехода  $10^{12}$  Гц.

#### Решение:

Естественная ширина спектральной линии  $\Delta\nu_0$  для двухуровневой квантовой системы определяется соотношением  $\Delta\nu_0 = A_{21}/2\pi$ , где  $A_{21}$  - коэффициент Эйнштейна по спонтанным переходам. Его величина связана с временем жизни системы в возбужденном состоянии  $\tau$  обратной зависимостью:  $A_{21} = 1/\tau$ . Соответственно, естественная ширина спектральной линии не зависит от частоты перехода и составляет в данном случае  $\Delta\nu_0 = 1/2\pi\tau = 10^9/2\pi \approx 1,59 \cdot 10^8$  Гц = 159 МГц.

### 3.2. ТЕМА: Типы и режимы работы лазеров

#### Задача №1.

Ширина спектральной линии активной среды составляет  $\Delta\nu=1$  ГГц при центральной длине волны света 0,5 мкм. Найдите расстояние между плоскими зеркалами открытого оптического резонатора, при котором лазер на основе такой среды может генерировать излучение в виде одной продольной моды.

#### Решение.

Межмодовое расстояние  $\delta\nu$  для оптического резонатора составляет  $\delta\nu=c/2L$ . Для генерирования одной продольной моды необходимо, чтобы это расстояние было больше ширины линии люминесценции активной среды, т.е.  $c/2L > \Delta\nu$ , откуда получим условие одномодовой генерации в виде  $L < c/2\Delta\nu$ . Соответственно, получим:  $L < 15$  см.

### 3.3. ТЕМА: Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы.

#### Задача №1.

На тонкую плоскопараллельную пластинку из плавленого кварца (показатель преломления  $n=1,468$ ) в направлении ее нормали падает плоская световая волна с амплитудой  $E_0=100$  В/м. Найдите амплитуду прошедшей через пластинку волны, пренебрегая вкладом вторичных волн, наличие которых обусловлено многократным переотражением света в пластинке. Окружающая среда – воздух.

#### Решение.

Коэффициент отражения света при его нормальном падении на границу раздела двух диэлектрических сред по амплитуде определяется соотношением  $R = \frac{n-1}{n+1}$ . Используя понятия отражательной и пропускательной способностей ( $r$  и  $t$ ) или отражения и пропускания по интенсивности, в отсутствие поглощения света на границе (этому соответствует условие  $r+t=1$ ) амплитуда прошедшей в среду волны будет определяться соотношением  $E_{пр} = E_0(1-r)^{1/2}$ . При

выходе света из пластинки в среду, очевидно, она составит  $E_{\text{вн}}=E_{\text{пр}}(1-r)^{1/2}=E_0(1-r)$ , где  $r=R^2$ . Соответственно,  $E_{\text{вн}}=E_0(1-0,468^2/2,468^2)=100\cdot 0,964=96,4$  В/м.

### 3.4. ТЕМА: Полупроводниковые источники излучения

#### Задача №1.

Оценить угловую расходимость излучения полупроводникового лазера с толщиной активного слоя 0,5 мкм и размером излучающей области в плоскости этого слоя 10 мкм, если средняя длина волны излучения составляет 0,8 мкм.

#### Решение.

Как известно, распределение интенсивности света в поперечном сечении лазерного пучка может с достаточной точностью аппроксимироваться функцией Гаусса. В этом случае угловая расходимость определяется соотношениями  $\theta_v=1,27\lambda/d$  и  $\theta_r=1,27\lambda/w$ , где  $\lambda$ ,  $d$  и  $w$  – длина волны света и ширина Гауссова пучка в ортогональных направлениях в его поперечном сечении в области перетяжки. В нашем случае плоскость перетяжки совпадает с выходной плоскостью кристалла, поэтому угловая расходимость излучения лазера составит  $\theta_v=\lambda/d$

### 3.5. ТЕМА: Методы модуляции и управления оптическим излучением

#### Задача №1.

Возможен ли режим дифракции Брэгга при длине волны света  $\lambda=633$  нм на акустическом пучке шириной  $L=5$  мм при частоте продольных акустических волн 60 МГц в плавленом кварце ( $n=1,46$ )? Скорость продольной волны в плавленом кварце  $v=5,99\cdot 10^3$  м/с.

#### Решение.

Как известно, режим дифракции Брэгга при акустооптическом взаимодействии реализуется, если угловая расходимость акустического пучка существенно меньше угла Брэгга. Этому соответствует условие  $Q\geq 1$  (величина параметра  $Q$  определяется соотношением

$Q = \frac{2\pi L \lambda}{n \Lambda^2}$ ). Для заданных условий задачи найдем величину  $Q$ :

$$Q=2\cdot 3,14\cdot 0,5\cdot 0,633\cdot 10^{-4}\cdot 3600\cdot 10^{12}/1,46\cdot 5,99^2\cdot 10^{10}=1,36.$$

Таким образом, в рассматриваемом случае режим дифракции Брэгга возможен.

### 3.6. ТЕМА: Фотодиоды и фотоприемные устройства

#### Задача №1.

Время жизни неосновных носителей в области рекомбинации в излучающей светодиодной структуре равно  $t=10^{-8}$  с. Оцените предельную частоту модуляции интенсивности излучения для данного светоизлучающего диода при его прямой токовой модуляции, полагая, что данной частоте соответствует снижение излучаемой световой мощности в два раза в сравнении с таковой при постоянном токе инжекции.

### **Решение.**

Известно, что при гармонической модуляции тока накачки светодиода зависимость излучаемой мощности от частоты  $P(f)$  определяется соотношением:

$$P(f) = \frac{P(0)}{\sqrt{1 + (2\pi f\tau)^2}}, \text{ где } P(0) \text{ – мощность излучения при постоянном токе накачки, } \tau \text{ - время}$$

жизни неосновных носителей в области рекомбинации. Соответственно, из условия  $P(f_{\max})=0.5P(0)$  найдем:  $f_{\max} = \sqrt{3}/2\pi\tau = 27,57 \text{ МГц}$ .

## **4. Темы самостоятельной работы студентов**

|                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.1. Физические основы и особенности квантовых приборов                                    |
| 4.2. Оптические резонаторы и селекция мод                                                  |
| 4.3. Типы и режимы работы лазеров                                                          |
| 4.4. Типы и режимы работы лазеров                                                          |
| 4.5. Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы.                 |
| 4.6. Полупроводниковые источники излучения                                                 |
| 4.7. Методы модуляции и управления оптическим излучением                                   |
| 4.8. Фотодиоды и фотоприемные устройства                                                   |
| 4.9. Элементы интегральной оптики. Основы нелинейной оптики. Физические основы голографии. |

## **5. Темы лабораторных работ**

1. Исследование основных параметров газового лазера.
2. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод.

## **6. Экзаменационные вопросы**

1. Постоянная Планка, связь между частотой и энергией, импульсом и волновым вектором фотона.
2. Правило частот Бора.
3. Волна де Бройля, физический смысл волновой функции.
4. Уравнение Шредингера.
5. Типичная структура системы энергетических уровней молекулы.
6. Виды квантовых переходов (спонтанные и индуцированные переходы).
7. Различия в характеристиках спонтанного и индуцированного излучения.
8. Коэффициенты Эйнштейна для спонтанных и индуцированных переходов. Соотношение между коэффициентами Эйнштейна.
9. Механизмы уширения спектральных линий для активных сред в разном агрегатном состоянии. Естественная ширина спектральной линии. Однородное и неоднородное уширение.
10. Условия усиления колебаний в квантовых системах.
11. Понятие отрицательной температуры (инверсии населенностей).
12. Кинетические уравнения для двухуровневой квантовой системы.
13. Взаимодействие плоской световой волны с активной средой.
14. Способы достижения инверсии населенностей в квантовых системах.

15. Открытый оптический резонатор. Продольные и поперечные моды в резонаторе Фабри-Перо. Соотношения для собственных частот продольных мод и межмодового расстояния.
16. Добротность открытого оптического резонатора.
17. Перестраиваемые оптические резонаторы. Селекция продольных и поперечных мод.
18. Многослойные диэлектрические покрытия и интерференционные фильтры.
19. Условия самовозбуждения лазера.
20. Трех- и четырехуровневые лазеры. Стационарные режимы работы лазеров. Оптимальная обратная связь. Импульсные режимы. Синхронизация мод. Модуляция добротности.
21. Типы газовых лазеров. Основные отличия атомарных, ионных и молекулярных лазеров.
22. Твердотельные лазеры. Особенности накачки.
23. Особенности волоконно-оптических лазеров.
24. Материалы полупроводниковой оптоэлектроники. Условия поглощения и излучения света в полупроводнике. Твердые растворы замещения.
25. Инжекционный полупроводниковый лазер. Принцип работы.
26. Гетеропереходы, основные преимущества перед гомопереходами.
27. Полупроводниковый гетеролазер.
28. Полупроводниковые лазеры на сверхрешетках.
29. Светоизлучающие диоды. Особенности конструкции и основные отличия полупроводниковых светодиодов и лазеров.
30. Оптические усилители. Полупроводниковые и волоконные усилители.
31. Акустооптические модуляторы и дефлекторы света.
32. Электрооптические элементы управления оптическим излучением.
33. Фотодиоды на основе р-п перехода, р-і-п диоды, ЛФД.
34. Шумовые характеристики лазеров.
35. Шумовые характеристики фотоприемников.
36. Нелинейная поляризация среды.
37. Генерация оптических гармоник.
38. Эффект параметрического усиления света.
39. Пространственное самовоздействие световых пучков.
40. Многофотонные нелинейно-оптические эффекты.
41. Рассеяние света. Рассеяние Рэлея, комбинационное рассеяние, вынужденное рассеяние света.
42. Эффект временных и пространственных оптических солитонов.
43. Физические основы голографии.
44. Элементы интегральной оптики.
45. Оптические устройства информатики.

## 7. Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы для оценивания знаний и характеризующие этапы формирования компетенций ( все методические материалы приведены в п.12 программы):

1. С.М. Шандаров, А.И. Башкиров. Введение в квантовую и оптическую электронику. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие – 2012. 98 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1578>
2. В.М. Шандаров. Основы физической оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2013. – 190 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3739>

3. Куц Г. Г., Шандаров В. М. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства : [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по организации самостоятельной работы и практических занятий – 2012.- 61 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2272>
4. Куц Г. Г., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе / – 2011. -18 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/123>
5. Куц Г. Г. Исследование основных параметров газового лазера: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе – 2011. -24 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/115>