

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 10.07.2023 15:48:39  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Квантовая и оптическая электроника»



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

ДИСЦИПЛИНЫ

**«ОСНОВЫ ФОТониКИ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

по профилю

**«Квантовая и оптическая электроника»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

зав. кафедрой, д.т.н. доцент С. А. Тарасов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Фот  
16.05.2022, протокол № 3\22

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭЛ, 16.06.2022, протокол № 3\22

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	Фот
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	4
Семестр	7
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	86
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	58
Всего (академ. часов)	144
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	4

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ОСНОВЫ ФОТОНИКИ»**

В курсе дан обзор базовых структур, элементов и приборов фотоники. Изучаются основные свойства и типы фотонных и нелинейных кристаллов. Рассмотрены параметры и характеристики излучателей на базе квантоворазмерных наноструктур, включая светодиоды и лазеры на основе массива квантовых точек. Изучаются основные типы приемников оптического излучения. Отдельно рассмотрены основные характеристики приборов фотоники на основе органических материалов. Особое внимание уделяется оптическим методам сбора, передачи и обработки информации в волоконно-и интегрально-оптических системах, анализируются принципы построения и элементы ВОЛС. Дан обзор особенностям функционирования приборов радиофотоники.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«FUNDAMENTALS OF PHOTONICS»**

The course provides an overview of the basic structures, elements and devices of photonics. The basic properties and types of photonic and nonlinear crystals are studied. The parameters and characteristics of emitters based on quantum-sized nanostructures, including LEDs and lasers based on an array of quantum dots, are considered. The main types of optical radiation receivers are studied. The main characteristics of photonics devices based on organic materials are separately considered.

Particular attention is paid to optical methods for collecting, transmitting and processing information in fiber and integrated optical systems, the principles of construction and elements of fiber optic links are analyzed. A review of the radio photonics devices features of the operation is provided.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Целями дисциплины являются изучение устройства и принципов функционирования базовых элементов и приборов фотоники и радиофотоники, приобретение умений рассчитывать и проводить экспериментальные исследования основных параметров приборов и систем фотоники и радиофотоники, формирование навыков теоретического анализа и экспериментальных исследований приборов и систем фотоники и радиофотоники.

2. Задачами дисциплины являются:

-изучение устройства и принципов функционирования базовых элементов и приборов фотоники, в частности полупроводниковых излучателей на основе квантоворазмерных структур и органических материалов, приемников оптического излучения, солнечных элементов, волоконно-и интегрально-оптических систем сбора, обработки и передачи информации, а также базовых принципов построения приборов радиофотоники;

-приобретение умений рассчитывать и проводить экспериментальные исследования основных параметров приборов и систем фотоники и радиофотоники, разрабатывать и оценивать эффективность их использования в различных прикладных задачах;

-формирование базовых навыков теоретического анализа и экспериментальных исследований приборов и систем фотоники и радиофотоники.

3. Знания устройства и принципов функционирования базовых элементов и приборов фотоники, в частности полупроводниковых излучателей на основе квантоворазмерных структур и органических материалов, приемников оптического излучения, солнечных элементов, волоконно-и интегрально-оптических систем сбора, обработки и передачи информации, а также базовых принципов постро-

ения приборов радиофотоники.

4. Умения рассчитывать и проводить экспериментальные исследования основных параметров приборов и систем фотоники и радиофотоники, разрабатывать и оценивать эффективность их использования в различных прикладных задачах.

5. Базовые навыки теоретического анализа и экспериментальных исследований приборов и систем фотоники и радиофотоники.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Учебная практика (ознакомительная практика)»
2. «Квантовая механика и статистическая физика»
3. «Физика твердого тела»
4. «Электродинамика»
5. «Квантовая и оптическая электроника»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Производственная практика (производственно-технологическая практика)»
2. «Биофотоника»
3. «Полупроводниковые лазеры»
4. «Производственная практика (преддипломная практика)»

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-1	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
<i>ПК-1.1</i>	<i>Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков</i>
<i>ПК-1.2</i>	<i>Владеет навыками компьютерного моделирования</i>
ПК-2	Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
<i>ПК-2.1</i>	<i>Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков</i>

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1				
2	Фотонные и нелинейные кристаллы	4	4	0		6
3	Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	4	4	12		6
4	Приемники оптического излучения и солнечные элементы	4	6	5		8
5	Приборы фотоники на основе органических материалов	4	4	0		6
6	Оптические волноводы	4	4	0		8
7	Волоконно-оптические линии связи и волноводные оптические устройства	4	4	0		8
8	Элементы радиофотоники	4	8	0		8
9	Элементы интегральной оптики	4			1	8
10	Заключение	1				
	Итого, ач	34	34	17	1	58
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	144/4				

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Стандартная терминология, основные понятия и определения. Краткий исторический очерк. Классификация приборов фотоники. Их роль в современной науке и технике. Связь с другими дисциплинами



№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Фотонные и нелинейные кристаллы	<p>Фотонные кристаллы. Свойства и области применения. Одно-, двух- и трехмерные фотонные кристаллы. Методы получения и основные свойства. Зонная структура фотонного кристалла. Запрещенные фотонные зоны. Одно- и двумерные фотонные пластинки. 0D- и 1D-дефекты. Локализованные моды в фотонном кристалле с дефектом. Волноведущие системы на основе фотонных кристаллов с протяженными дефектами. Оптические волокна на основе фотонных кристаллов.</p> <p>Нелинейная поляризуемость кристалла и нелинейные оптические эффекты. Генерация гармоник. Условие фазового синхронизма. Параметрические преобразователи и генераторы излучения. Системы с самофокусировкой излучения.</p>
3	Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	<p>Общая характеристика и светодиодов. Материалы светодиодов. Эффективность светодиодов. Особенности конструкции и характеристики. Гетеро-светодиоды. Светодиоды на основе квантоворазмерных наноструктур. Структуры на основе одинарных и множественных квантовых ям. Светодиоды на основе структур со сверхрешетками. Светодиоды на квантовых точках. Светодиоды на основе фотонных кристаллов. Белые и RGB-светодиоды. Светодиодные матрицы и лампы.</p> <p>Полупроводниковые лазеры. Требования к активным материалам. Лазеры с электронной и оптической накачкой. Инжекционные лазеры на гетеропереходах. Лазеры на двойных гетероструктурах. Основные характеристики полупроводниковых инжекционных лазеров. Лазеры с раздельным оптическим и электронным ограничением. Лазеры на основе квантовых ям. Гетеро-лазеры с распределенной обратной связью. Перестраиваемые полупроводниковые ИК-лазеры. Мощные инжекционные лазеры, лазерные линейки и решетки. Поверхностно-излучающие микролазеры на квантовых точках. Каскадные лазеры</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Приемники оптического излучения и солнечные элементы	<p>Классификация и технические характеристики приемников оптического излучения. Тепловые фотоприемники. Фотоэлектронные умножители. Полупроводниковые фотоприемники. Многоэлементные фотоприемники. Приборы с зарядовой связью и фотоприемные матрицы на их основе. Приемники оптических изображений.</p> <p>Фотоэлектрические преобразователи солнечного излучения. Солнечное излучение и идеальная эффективность преобразования солнечные элементы на основе р-п-переходов. Солнечные элементы на основе кремния. Тонкопленочные солнечные элементы. Солнечные элементы на гетеропереходах. Каскадные солнечные элементы. Солнечные элементы с использованием квантово-размерных эффектов. Фотоэлектрические ячейки. Ячейки Гретцеля. Солнечные элементы с экстремально тонким поглощающим слоем. Солнечные элементы с устройствами повышения и понижения энергии падающих фотонов.</p>
5	Приборы фотоники на основе органических материалов	<p>Органические светодиоды. Материалы органических светодиодов. Структуры и характеристики органических светодиодов. Белые органические светодиоды. Методы изготовления органических светодиодов. Фосфоресцентные органические светодиоды. Методы улучшения оптического вывода излучения. Органические дисплеи и светоизлучающие панели.</p> <p>Органические фотодетекторы. Органические солнечные батареи. Эффективность органических солнечных батарей. Структуры с гетеропереходами. Структуры на основе фуллеренов. Тандемные солнечные батареи с нанокластерами. Солнечные элементы на основе массивов квантовых точек. Солнечные элементы на основе перовскитов.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
6	Оптические волноводы	<p>Оптические волноводы: классификация и характеристики. Передача оптических сигналов по волноводам. Волноводные моды. Круглые оптические волноводы. Типы и характеристики. Планарные оптические волноводы с прямоугольным профилем показателя преломления. Свойства, методы изготовления и области применения. Методы лучевого и электродинамического описания оптических волноводов. Метод связанных мод. Оптические эффекты, приводящие к волноводному распространению электромагнитных волн. Типы волноводных мод и их особенности.</p> <p>Связанные волноводы. Свойства и области применения. Нелинейно-оптические эффекты, используемые в волноводных оптических переключателях. Светоиндуцированное поглощение, насыщение поглощения и изменение показателя преломления. Волноводные разветвители. Круглые оптические волокна со ступенчатым профилем показателя преломления. Планарные гофрированные волноводы. Волноводные оптические переключатели на основе эффекта Франца-Келдыша и интерферометра Маха-Цендера.</p>
7	Волоконно-оптические линии связи и волноводные оптические устройства	<p>Характеристика и особенности оптической связи. Структурные элементы ВОЛС. Излучатели и приемники для ВОЛС. Дисперсия и потери в ВОЛС. Пассивные и активные элементы ВОЛС. Волоконные усилители и регенераторы. Волноводные коммутаторы оптических сигналов. Технология WDM в волоконно-оптических линиях связи.</p> <p>Волноводные и волоконные датчики температуры. Волноводные оптические изоляторы и фильтры. Волноводные оптические переключатели на основе связанных волноводов. Числовая апертура. Волноводные и волоконные датчики электрического тока.</p>
8	Элементы радиофотоники	<p>Взаимодействие оптического излучения и СВЧ радиочастотного сигнала при приеме, передаче и обработке информации. Оптическая связь. Модули для передачи ВЧ/СВЧ и спутниковых сигналов по волокну.</p>
9	Элементы интегральной оптики	<p>Элементы интегральной оптики. Тонкопленочные волноводы. Основные компоненты интегрально-оптических схем. Интегрально-оптические модуляторы, фильтры, переключатели, детекторы. Интегрально-оптические устройства на основе акустооптического эффекта. Микромеханические интегральные устройства. Элементы интегральной оптики на основе фотонных кристаллов. Оптические методы обработки информации. Оптические вычислительные машины и комплексы. Сверхскоростные способы передачи и обработки информации.</p>
10	Заключение	<p>Основные перспективы развития фотоники.</p>

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Исследование RGB-светодиода	4
2. Исследование цветовых характеристик излучателей	4
3. Полупроводниковый инжекционный гетеролазер	4
4. Исследование полупроводниковых фотодиодов	5
Итого	17

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Расчет параметров полупроводниковых светодиодов	4
2. Расчет параметров полупроводникового инжекционного гетеролазера	4
3. Расчет параметров приемников оптического излучения	6
4. Расчет параметров солнечного элемента	4
5. Расчет параметров OLED и экрана на его основе	4
6. Расчет параметров ВОЛС	4
7. Элементы радиотоники	4
8. Элементы радиотоники	4
Итого	34

## 4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

## 4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

## 4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

## 4.7 Доклад

Цель: проведение обучающимся самостоятельного поиска и анализа информации по заданной теме, углубление знаний, полученных на лекциях, освоения

навыков расширения своего профессионального кругозора, представления информации и участия в дискуссии. Студенты получают на выбор темы для устных докладов с презентацией. Список тем:

1. История развития фотоприемников.
2. Виды фотоприемников, принцип работы.
3. Внешний фотоэффект. Фотоэлектронные умножители.
4. Внутренний фотоэффект. Видикон.
5. Фоторезисторы.
6. P-i-n фотодиоды.
7. Лавинные фотодиоды.
8. Фототранзисторы.
9. ПЗС-матрицы.
10. CCD против CMOS.
11. История развития.
12. Виды светодиодов, принцип работы.
13. Методы повышения эффективности СИД.
14. Белые СИД.
15. Органические СИД.
16. СИД на квантовых ямах.
17. СИД на квантовых точках.
18. Технология производства современных СИД.
19. Современные осветительные приборы на основе СИД. Технология производства.
20. Осветительные приборы на основе органических СИД, настоящее и буду-

щее.

21. История развития.
22. Принцип работы, основные физические явления.
23. п/п лазеры с электронной и оптической накачкой.
24. Инжекционные ДГС-лазеры.
25. Полосковые лазеры.
26. РОДГС-лазеры.
27. Лазеры с распределенной обратной связью.
28. Мощные инжекционные лазеры.
29. Поверхностно-излучающие инжекционные лазеры.
30. Каскадные лазеры. Лазеры с квантовыми ямами, лазеры с квантовыми точками.

Рекомендованное содержание доклада/презентации:

1. Титульный слайд (тема, автор).
2. Формулирование основной проблемы/ содержание доклада.
3. Историческая справка.
4. Основная часть.
5. Заключение/выводы.

Количество слайдов или изображений должно быть достаточным для раскрытия заданной темы, но не более 25 шт. На слайдах должен быть представлен преимущественно визуальный материал (рисунки, фотографии, схемы, графики, таблицы, формулы, видео). Допускается текст в виде тезисов. Не допускается заполнение слайда преимущественно текстом. Презентация должна быть оформлена лаконично, с применением визуальных стилей, цветовых решений и шрифтов, позволяющих слушателям комфортно воспринимать визуальную информацию. При подготовке доклада необходимо использовать не менее 5 и не

более 20 литературных источников.

Процедура защиты темы во время доклада.

Студент самостоятельно готовит презентацию в электронном виде (например, в редакторе PowerPoint) в соответствии с требованиями по содержанию и оформлению. Во время устного доклада не допускается только чтение материала с листа или слайда, материал должен подаваться обучающимся в виде свободного рассказа. Доклад должен длиться не более 10 минут. После доклада преподаватель может задать уточняющие вопросы, затем студенты в группе приглашаются к дискуссии по теме доклада.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения

и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	12
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	9
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	9
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	8
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	20
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>58</b>



## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Тарасов, Сергей Анатольевич. Квантовая и оптическая электроника [Текст] : лаб. практикум / С.А. Тарасов, А.В. Соломонов ; под ред. А.Н. Пихтина, 2005. -59 с.	61
2	Пихтин, Александр Николаевич. Квантовая и оптическая электроника [Текст] : учеб. для вузов по направлению подгот. "Электроника и наноэлектроника" и "Нанотехнологии и микросистемная техника" / А. Н. Пихтин, 2012. -655, [1] с.	97
3	Квантовая и оптическая электроника [Текст] : метод. указания к проведению практ. занятий / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2014. -31, [1] с.	20
4	Тарасов, Сергей Анатольевич. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы [Текст] : учеб. пособие / С.А. Тарасов, А.Н. Пихтин, 2008. -95 с.	48
Дополнительная литература		
1	Розеншер Э. Оптоэлектроника [Текст] : монография / Э. Розеншер, Б. Винтер ; пер. с фр. под ред. О.Н. Ермакова, 2004. -589 с.	28
2	Панов, Михаил Федорович. Физические основы фотоники [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлениям "Электроника и наноэлектроника", "Нанотехнологии и микросистемная техника" / М. Ф. Панов, А. В. Соломонов, 2017. -562 с.	36

### 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Введение в фотонику и оптоформатику: для бакалавров профилей "Физика наноструктур" и "Оптика наноструктур": Учебное пособие. <a href="http://books.ifmo.ru/book/1735/vvedenie_v_fotoniku_i_optoformatiku:_dlya_bakalavrov_profiley_fizika_nanostruktur_i_optika_nanostruktur:_uchebnoe_posobie..htm">http://books.ifmo.ru/book/1735/vvedenie_v_fotoniku_i_optoformatiku:_dlya_bakalavrov_profiley_fizika_nanostruktur_i_optika_nanostruktur:_uchebnoe_posobie..htm</a>

### **5.3 Адрес сайта курса**

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=12950>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Основы фотоники» формой промежуточной аттестации является дифф. зачет. Оценивание качества освоения дисциплины производится с использованием рейтинговой системы.

#### Дифференцированный зачет

Оценка	Количество баллов	Описание
Неудовлетворительно	0 – 45	теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практически навыки и умения не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над курсом не приведет к существенному повышению качества выполнения учебных заданий
Удовлетворительно	45 – 60	теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки и умения работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий содержат ошибки
Хорошо	61 – 75	теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки и умения сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками
Отлично	76 – 90	теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки и умения сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено количеством баллов, близким к максимальному

## Особенности допуска

На лекциях проводятся четыре контрольных работы (3-6 номера контрольных работ), каждая из которых оценивается по пятибалльной шкале. На практических занятиях каждый студент обязан представить доклад, оцениваемый по десятибалльной шкале, написать две контрольные работы, оцениваемые по двадцатибалльной шкале каждая. На лабораторных занятиях выполняется четыре лабораторных работы, защита каждой из которых оценивается по пятибалльной шкале.

На основании полученных баллов студенту выставляется итоговая оценка.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Фотонные кристаллы. Свойства и области применения.
2	Одно-, двух-и трехмерные фотонные кристаллы. Методы получения и основные свойства.
3	Зонная структура фотонного кристалла. Запрещенные фотонные зоны.
4	Одно-и двумерные фотонные пластинки.
5	0D-и 1D-дефекты. Локализованные моды в фотонном кристалле с дефектом.
6	Волноводящие системы на основе фотонных кристаллов с протяженными дефектами. Оптические волокна на основе фотонных кристаллов.
7	Нелинейная поляризуемость кристалла и нелинейные оптические эффекты.
8	Генерация гармоник. Условие фазового синхронизма.
9	Параметрические преобразователи и генераторы излучения. Системы с самофокусировкой излучения.
10	Общая характеристика светодиодов. Материалы светодиодов.
11	Эффективность светодиодов. Особенности конструкции и характеристики.
12	Гетеросветодиоды.
13	Светодиоды на основе квантоворазмерных наноструктур. Структуры на основе одинарных и множественных квантовых ям. Светодиоды на основе структур со сверхрешетками. Светодиоды на квантовых точках.
14	Светодиоды на основе фотонных кристаллов.
15	Белые и RGB-светодиоды.
16	Светодиодные матрицы и лампы.
17	Полупроводниковые лазеры. Требования к активным материалам.

18	Лазеры с электронной и оптической накачкой.
19	Инжекционные лазеры на гетеропереходах.
20	Лазеры на двойных гетероструктурах.
21	Основные характеристики полупроводниковых инжекционных лазеров.
22	Лазеры с отдельным оптическим и электронным ограничением.
23	Лазеры на основе квантовых ям.
24	Гетеролазеры с распределенной обратной связью.
25	Перестраиваемые полупроводниковые ИК-лазеры.
26	Мощные инжекционные лазеры, лазерные линейки и решетки.
27	Поверхностно-излучающие микролазеры на квантовых точках.
28	Каскадные лазеры.
29	Лазеры на основе фотонных кристаллов.
30	Классификация и технические характеристики приемников оптического излучения.
31	Тепловые фотоприемники.
32	Фотоэлектронные умножители.
33	Полупроводниковые фотоприемники.
34	Многоэлементные фотоприемники.
35	Приборы с зарядовой связью и фотоприемные матрицы на их основе.
36	Приемники оптических изображений.
37	Фотоэлектрические преобразователи солнечного излучения.
38	Солнечное излучение и идеальная эффективность преобразования солнечные элементы на основе p-n-переходов.
39	Солнечные элементы на основе кремния.
40	Тонкопленочные солнечные элементы.
41	Солнечные элементы на гетеропереходах.
42	Каскадные солнечные элементы.
43	Солнечные элементы с использованием квантово-размерных эффектов.
44	Фотоэлектрические ячейки.
45	Ячейки Гретцеля.
46	Солнечные элементы с экстремально тонким поглощающим слоем.
47	Солнечные элементы с устройствами повышения и понижения энергии падающих фотонов.
48	Органические светодиоды.
49	Материалы органических светодиодов.
50	Структуры и характеристики органических светодиодов.
51	Белые органические светодиоды.
52	Методы изготовления органических светодиодов.
53	Фосфоресцентные органические светодиоды.
54	Методы улучшения оптического вывода излучения.
55	Органические дисплеи и светоизлучающие панели.
56	Органические фотодетекторы.
57	Органические солнечные батареи.
58	Эффективность органических солнечных батарей.
59	Структуры с гетеропереходами.

60	Структуры на основе фуллеренов.
61	Тандемные солнечные батареи с нанокластерами.
62	Солнечные элементы на основе массивов квантовых точек.
63	Солнечные элементы на основе перовскитов.
64	Оптические волноводы: классификация и характеристики.
65	Передача оптических сигналов по волноводам.
66	Волноводные моды.
67	Круглые оптические волноводы. Типы и характеристики.
68	Планарные оптические волноводы с прямоугольным профилем показателя преломления.
69	Свойства, методы изготовления и области применения.
70	Методы лучевого и электродинамического описания оптических волноводов.
71	Метод связанных мод.
72	Оптические эффекты, приводящие к волноводному распространению электромагнитных волн.
73	Типы волноводных мод и их особенности.
74	Связанные волноводы.
75	Свойства и области применения.
76	Нелинейно-оптические эффекты, используемые в волноводных оптических переключателях.
77	Светоиндуцированное поглощение, насыщение поглощения и изменение показателя преломления.
78	Волноводные разветвители.
79	Круглые оптические волокна со ступенчатым профилем показателя преломления.
80	Планарные гофрированные волноводы.
81	Волноводные оптические переключатели на основе эффекта Франца-Келдыша и интерферометра Маха-Цендера.
82	Характеристика и особенности оптической связи.
83	Структурные элементы ВОЛС.
84	Излучатели и приемники для ВОЛС.
85	Дисперсия и потери в ВОЛС.
86	Пассивные и активные элементы ВОЛС.
87	Волоконные усилители и регенераторы.
88	Волноводные коммутаторы оптических сигналов.
89	Технология WDM в волоконно-оптических линиях связи.
90	Волноводные и волоконные датчики температуры.
91	Волноводные оптические изоляторы и фильтры.
92	Волноводные оптические переключатели на основе связанных волноводов.
93	Числовая апертура.
94	Волноводные и волоконные датчики электрического тока.
95	Элементы радиофотоники. Взаимодействие оптического излучения и СВЧ радиочастотного сигнала при приеме, передаче и обработке информации.
96	Оптическая связь. Модули для передачи ВЧ/СВЧ и спутниковых сигналов по волокну.

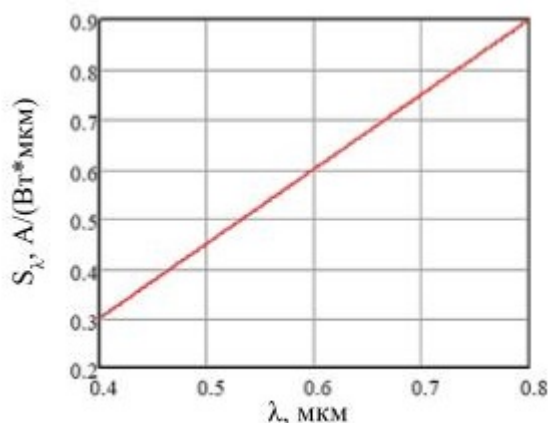
97	Элементы интегральной оптики.
98	Тонкопленочные волноводы.
99	Основные компоненты интегрально-оптических схем.
100	Интегрально-оптические модуляторы, фильтры, переключатели, детекторы.
101	Интегрально-оптические устройства на основе акустооптического эффекта.
102	Микромеханические интегральные устройства.
103	Элементы интегральной оптики на основе фотонных кристаллов.
104	Оптические методы обработки информации.
105	Оптические вычислительные машины и комплексы.
106	Сверхскоростные способы передачи и обработки информации.

## Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

### Контрольная работа 1.

1. В фотоприемнике площадью  $1 \text{ см}^2$  плотность фототока  $J_f$  составляет  $10 \text{ А/м}^2$ . На фотоприемник попадает монохроматическое излучение мощностью  $1 \text{ мВт}$ . Квантовая эффективность фотоприемника составляет  $0,1 \%$ . Определить длину волны излучения.

2. На фотоприемник падает спектрально не селективный поток оптического излучения ( $\Phi_{\lambda} \neq f(\lambda) = \text{const}$ ) общей мощностью  $1 \text{ Вт}$  в диапазоне длин волн  $0,4\text{-}0,8 \text{ мкм}$ . Спектральная чувствительность фотоприемника  $S_{\lambda}$  [ $\text{А}/(\text{Вт} \cdot \text{мкм})$ ] для данного спектрального окна может быть аппроксимирована линейной функцией (см. рисунок). Определить ток, вырабатываемый фотоприемником.



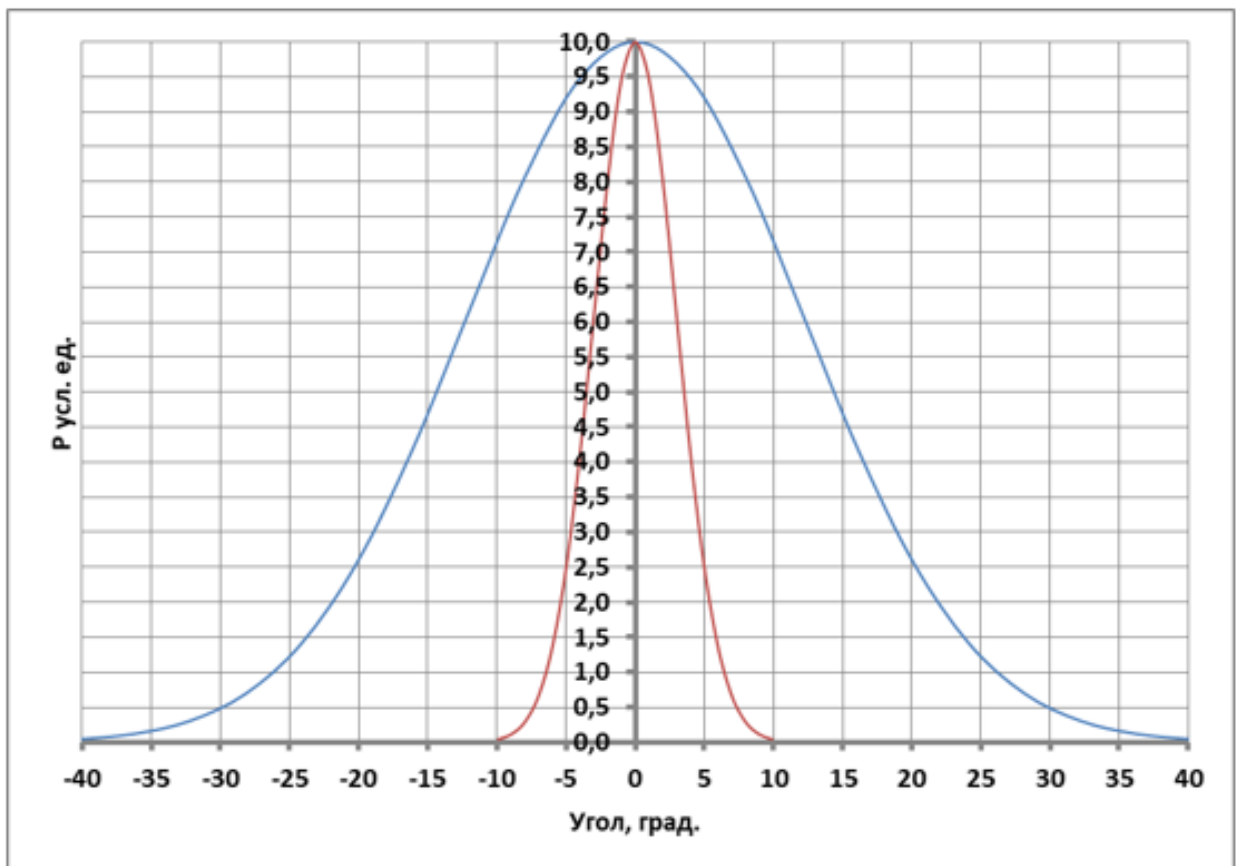
3. Во сколько раз изменится значение фототока в кремниевом фотоприем-

нике ( $n_{Si}=3,42$ ), если на поверхность кристалла установить стекло ( $n_{стек}=1,5$ ), излучение распространяется в воздухе ( $n_0=1$ ). Нормальное падение, поглощением пренебречь, учесть однократное отражение на каждой из границ раздела сред.

4. В результате эксперимента были получены данные о ширине запрещенной зоны ZnSe при двух температурах:  $E_g(-173\text{ }^\circ\text{C}) = 2.789\text{ эВ}$ ;  $E_g(-73\text{ }^\circ\text{C}) = 2.750\text{ эВ}$ . Определите  $\alpha$  параметр Варшни, если известно, что  $\beta=175\text{ К}$ .

### Контрольная работа 2.

1. На основании измеренной угловой характеристики лазерного диода найдите размеры сторон излучающей области данного источника. Длина волны излучения 650 нм.



2. В светоизлучающей структуре формируют отражатель на основе брегговской дифракции. Определите материал одного из слоев, если другой это  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ .

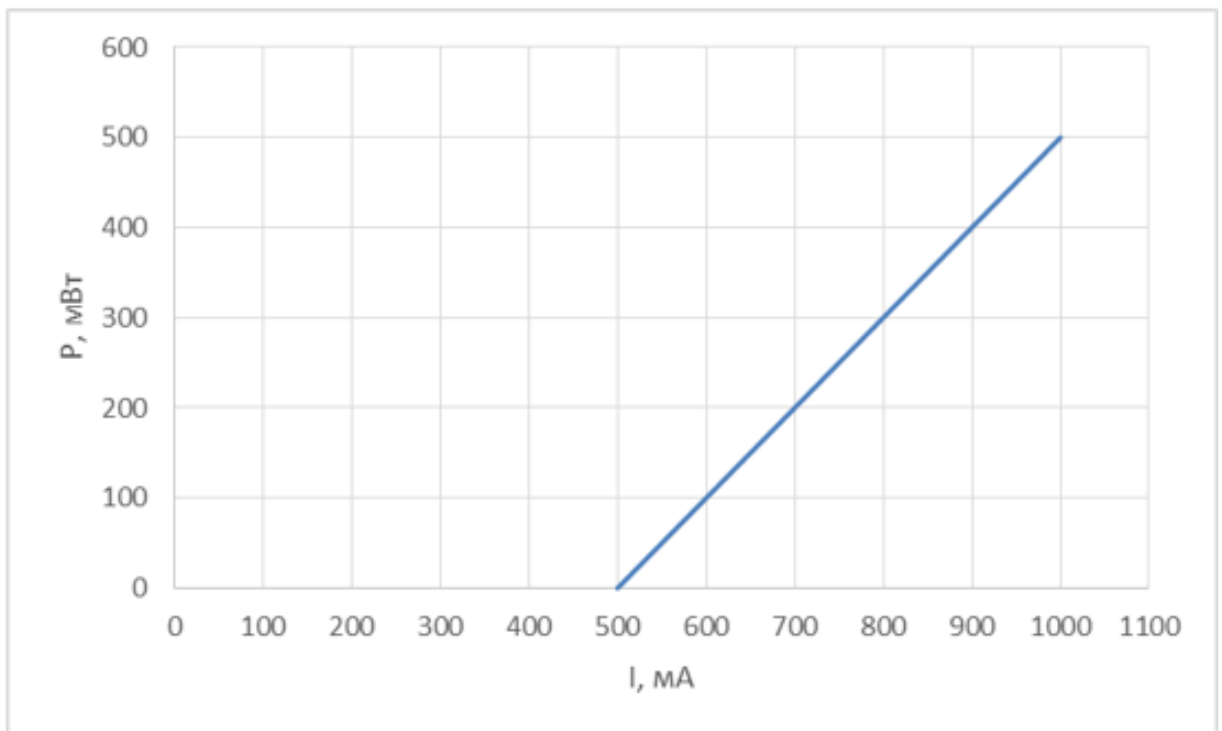


при этом обеспечивается полоса пропускания не менее 100 нм с центральной длиной волны 1,2 мкм.

Справочные данные: коэффициенты преломления для разных материалов

Материал	1	2	3	4	4'	5	6	7
$n (\lambda=1,2 \text{ мкм})$	3,61	3,56	3,5	3,1	3,07	3,515	3,43	2,94
$n (\lambda=1,55 \text{ мкм})$	3,5	3,47	3,42	3,57	3,5	3,52	3,57	2,91
Примечание: 1 - $\text{In}_{0,21}\text{Ga}_{0,79}\text{As}$ ; 2 - $\text{In}_{0,21}\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,69}\text{As}$ ; 3 - $\text{In}_{0,21}\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,59}\text{As}$ ; 4 - $\text{In}_{0,24}\text{Ga}_{0,76}\text{As}$ ; 4' - $\text{In}_{0,21}\text{Al}_{0,79}\text{As}$ ; 5 - $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ ; 6 - GaAs; 7 - AlAs.								

3. На рисунке изображена зависимость выходной оптической мощности от тока накачки для полупроводникового инжекционного лазера с активной областью из GaAs (при  $T=300\text{K}$ ). Самонагрев не учитывать. Определить дифференциальную квантовую эффективность, а также число фотонов испущенных лазером за 5 с при токе накачки 800 мА.



4. Имеется п/п лазер излучающий на длине волны 650 нм. Торцы активной

области имеет следующие размеры:  $d=1$  мкм,  $d_{||}=5$  мкм. На расстоянии  $l=100$  мкм от грани кристалла установлен ввод в оптоволокно. Оптоволокно имеет круглое сечение диаметром  $D_f=20$  мкм. Определить эффективность ввода излучения в оптоволокно. Коэффициент преломления материала оптоволокна  $n=1,5$ . Между лазером и оптоволокном воздушная прослойка. Учесть отражение лазерного излучения от оптоволокна. Ввиду малости углов расходимости лазерного излучения коэффициент отражения  $R$  принять равным коэффициенту отражения при нормальном падении.

### **Контрольная работа 3.**

*Распределение вариантов:*

a – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **А, Д, И (Й)**

b – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Б, Е (Ё), К**

c – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **В, Ж, Л**

d – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Г, З, М**

e – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Н, С, Х, Щ**

f – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **О, Т, Ц, Э**

g – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **П, У, Ч, Ю**

h – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Р, Ф, Ш, Я**

Вопросы:

a – Внутренний квантовый выход. Влияющие факторы.

b – Коэффициент инжекции. Влияющие факторы.

c – Коэффициент вывода света. Влияющие факторы.

d – Линзы в светодиодах. Причины использования.

e – ДГС-структура. Причины использования.

f – Конструкция маломощных СИД

g – Спектральные характеристики СИД

h – Белые светодиоды

#### **Контрольная работа 4.**

*Распределение вариантов:*

a – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **А, Д, И (Й)**

b – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Б, Е (Ё), К**

c – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **В, Ж, Л**

d – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Г, З, М**

e – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Н, С, Х, Щ**

f – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **О, Т, Ц, Э**

g – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **П, У, Ч, Ю**

h – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Р, Ф, Ш, Я**

Вопросы:

a – Факторы, влияющие на пороговый ток.

b – Коэффициент оптического ограничения.

c – РО ДГС.

d – Полосковый лазер и моды.

e – Влияние температуры на спектр излучения лазера.

f – ВТАХ. Влияние температуры.

g – КПД лазера

h – Диаграмма направленности.

#### **Контрольная работа 5.**

*Распределение вариантов:*

a – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **А, Д, И (Й)**

b – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Б, Е (Ё), К**

c – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **В, Ж, Л**

d – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Г, З, М**

e – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Н, С, Х, Щ**

f – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **О, Т, Ц, Э**

g – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **П, У, Ч, Ю**

h – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Р, Ф, Ш, Я**

*Вопросы:*

a – Легирование лазерных структур

b – Коротковолновые (синие) лазеры

c – РОС-лазеры

d – Деграация п/п-лазеров

e – Корпусирование лазеров

f – Лазерные линейки

g – Вертикально-излучающие лазеры

h – Каскадный лазер

**Контрольная работа 6.**

*Распределение вариантов:*

a – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **А, Д, И (Й)**

b – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Б, Е (Ё), К**

c – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **В, Ж, Л**

d – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Г, З, М**

e – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Н, С, Х, Щ**

f – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **О, Т, Ц, Э**

g – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **П, У, Ч, Ю**

h – для студентов, чьи фамилии начинаются с букв **Р, Ф, Ш, Я**

*Вопросы:*

a – Фоторезисторы

b – Фотодиоды. Принцип действия.

c – Р-і-п-фотодиоды

d – Фотодиод на гетероструктурах

e – Фотодиод на барьере Шоттки

f – Лавинный фотодиод

g – ФЭУ

h – МДП-фотоприемник

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
2	Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	Отчет по лаб. работе
4	Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	Отчет по лаб. работе
5	Фотонные и нелинейные кристаллы Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	Контрольная работа
6	Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	Отчет по лаб. работе
7	Фотонные и нелинейные кристаллы Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	Контрольная работа
	Приемники оптического излучения и солнечные элементы Приборы фотоники на основе органических материалов	
8	Приемники оптического излучения и солнечные элементы	Отчет по лаб. работе
9	Приемники оптического излучения и солнечные элементы Приборы фотоники на основе органических материалов	Контрольная работа
10	Приемники оптического излучения и солнечные элементы	
11	Приборы фотоники на основе органических материалов	
12	Оптические волноводы Волоконно-оптические линии связи и волноводные оптические устройства Элементы радиофотоники Элементы интегральной оптики Фотонные и нелинейные кристаллы Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур.	Доклад / Презентация
13	Оптические волноводы Волоконно-оптические линии связи и волноводные оптические устройства	Контрольная работа
14	Элементы интегральной оптики Элементы радиофотоники Оптические волноводы Волоконно-оптические линии связи и волноводные оптические устройства	Контрольная работа
15	Элементы радиофотоники Элементы интегральной оптики	Контрольная работа
16	Излучатели на основе квантоворазмерных наноструктур. Приемники оптического излучения и солнечные элементы	Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

#### на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий) и написание четырех контрольных работ по теоретическому материалу.

Контрольная работа состоит из одного теоретического вопроса или зада-

чи. Контрольная работа оценивается по пятибалльной системе:

- 0 баллов - отсутствует ответ на вопрос, отсутствует решение задачи.
- 1 балл - содержание ответа не совпадает с темой поставленного вопроса, задача не решена, ход решения задачи неверный и не соответствует теме задачи.
- 2 балла - содержание ответа не совпадает с поставленным вопросом, задача не решена, ход решения неправильный.
- 3 балла - в ответе на вопрос имеются существенные ошибки; задача не решена или решена неправильно, ход решения правильный.
- 4 балла - вопрос раскрыт не полностью, задача решена частично, допущены арифметические ошибки, допущены ошибки в размерностях.
- 5 баллов - вопрос раскрыт полностью, задача решена правильно

#### **на лабораторных занятиях**

*Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты*

В процессе обучения по дисциплине «Основы фотоники» студент обязан выполнить 4 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После 4 лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиума на 16 неделе, на котором осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется в бригадах до 3 человек. Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый

студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

*Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам.*

Оценка за лабораторную работу формируется исходя из оценивания каждого из критериев:

- 0 баллов - измерения выполнены полностью неверно; обработка данных проведена полностью неправильно; отчет оформлен с грубыми нарушениями; студент не ответил на все контрольные вопросы.
- 1 балл - измерения выполнены со значительными отклонениями от методики; обработка данных проведена частично неправильно; отчет оформлен с отдельными нарушениями; студент не ответил на большинство контрольных вопросов.
- 2 балла - измерения выполнены с отдельными отклонениями от методики; обработка данных проведена с отдельными ошибками; отчет оформлен с отдельными нарушениями; студент не ответил на часть контрольных вопросов.



- 3 балла - измерения выполнены с верно; обработка данных проведена с небольшими недочётами; отчет оформлен с небольшими недочётами; студент не ответил на часть контрольных вопросов.
- 4 балла - измерения выполнены с верно; обработка данных проведена верно; представление данных с небольшими недочётами; отчет оформлен с небольшими недочётами; студент не ответил на отдельные контрольные вопросы.
- 5 баллов - измерения выполнены с верно; обработка данных проведена верно; представление данных без замечаний; отчет оформлен без нарушений; студент ответил на все контрольные вопросы; отчет сдан в срок.

#### **на практических (семинарских) занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), подготовку доклада и написание двух контрольных работ.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

В течение семестра каждый студент обязан подготовить доклад. За доклад студент может получить максимум десять баллов.

Критерии оценивания докладов:

1. Оформление презентации.
2. Стил ь устного изложения.
3. Полнота раскрытия темы.
4. Актуальность изложенного материала.
5. Ответы на вопросы.

Оценка формируется исходя из оценивания каждого из критериев:

- 0 баллов - оформление презентации не соответствует требованиям; студент читает с листка или со слайдов, время доклада меньше 5 минут или больше 20 минут; тема не раскрыта; изложенный материал не актуален/устарел; студент не ответил на вопросы.
- 1 балл - оформление презентации частично соответствует требованиям; студент частично читает с листка или со слайдов, во время доклада запинаятся, делает частые паузы, время доклада меньше 7 минут или больше 10 минут, но меньше 15 минут; тема раскрыта неполностью; изложенный материал частично устарел; студент частично ответил на вопросы.
- 2 балла - оформление презентации полностью соответствует требованиям; студент обладает хорошим стилем устного изложения материала, время доклада 9-10 минут; тема раскрыта полностью; изложенный материал актуален; студент ответил на все вопросы.

Далее эти баллы суммируются и формируется итоговая оценка.

Контрольная работа состоит из четырех задач. Каждый из пунктов контрольной работы оценивается отдельно по пятибалльной системе:

- 0 баллов - отсутствует решение задачи.
- 1 балл - задача не решена, ход решения задачи неверный и не соответствует теме задачи.
- 2 балла - задача не решена, ход решения неправильный.
- 3 балла - задача не решена или решена неправильно, ход решения правильный.
- 4 балла - задача решена частично, допущены арифметические ошибки, допущены ошибки в размерностях.
- 5 баллов - задача решена правильно

**самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, доска, экран, проектор, ПК, ноутбук,	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, персональные компьютеры, лабораторные стенды для исследования полупроводниковых лазеров и светодиодов, спектрометр быстрого сканирования; рабочее место преподавателя.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, доска, экран, проектор, ПК, ноутбук,	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>