

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 10.07.2023 15:46:04  
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**

**«КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»**

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

по профилю

**«Квантовая и оптическая электроника»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

ведущий научный сотрудник, д.т.н., доцент Тарасов С.А.

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)	5
Курс	3
Семестр	6
<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)	94
Всего (академ. часов)	180
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	3

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»**

В курсе подробно рассмотрены основные физические процессы, протекающие при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом, а также дан обзор основных квантовых и оптоэлектронных приборов. Рассмотрены принципы работы квантовых усилителей и генераторов. Изучаются основные типы газовых, твердотельных, жидкостных и полупроводниковых лазеров, а также фотоприемных приборов.

## **SUBJECT SUMMARY**

### **«QUANTUM AND OPTICAL ELECTRONICS»**

The basic physical processes occurring in the interaction of electromagnetic radiation with matter are reviewed. The main quantum and optoelectronic devices are described. The principles of operation of quantum amplifiers and generators are studied. The basic types of gas, solid, liquid and semiconductor lasers and photodetectors devices are explored.

## **3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **3.1 Цели и задачи дисциплины**

1. Цели дисциплины: изучение основных разделов квантовой и оптической электроники, формирование умений применять полученные знания для объяснения принципов работы приборов и устройств квантовой и оптической электроники, а также оптических методов передачи и обработки информации, формирование навыков построения оптоэлектронных систем и приборов оптической электроники.

2. Задачи изучения дисциплины:

1) Изучение основных разделов квантовой и оптической электроники.

2) Формирование умений применять полученные знания для объяснения принципов работы приборов и устройств квантовой и оптической электроники, а также оптических методов передачи и обработки информации.

3) Формирование навыков построения оптоэлектронных систем и приборов оптической электроники.

3. Знания основных разделов квантовой и оптической электроники, сформулированных в программе

4. Умения применять полученные знания для объяснения принципов работы приборов и устройств квантовой и оптической электроники, а также оптических методов передачи и обработки информации

5. Навыки построения оптоэлектронных систем и приборов оптической электроники основными методами

### **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»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Основы фотоники»
2. «Применение лазеров»
3. «Производственная практика (производственно-технологическая практика)»
4. «Полупроводниковые лазеры»
5. «Производственная практика (преддипломная практика)»
6. «Солнечная энергетика»
7. «Фотоприемники»

### 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-3	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
<i>ПК-3.1</i>	<i>Знает принципы конструирования отдельных аналоговых блоков электронных приборов</i>
<i>ПК-3.2</i>	<i>Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов</i>
<i>ПК-3.3</i>	<i>Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем</i>
ПК-6	Способен организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники
<i>ПК-6.1</i>	<i>Знает методическую базу измерений параметров технологических процессов и тестирования продукта производства</i>
<i>ПК-6.2</i>	<i>Умеет осуществлять поверку, настройку и калибровку электронной измерительной аппаратуры</i>
<i>ПК-6.3</i>	<i>Владеет навыками метрологического сопровождения технологических процессов</i>
СПК-1	Готов участвовать в разработке элементов, узлов и блоков приборов квантовой электроники и фотоники
<i>СПК-1.1</i>	<i>Знает принципы разработки элементов, узлов и блоков приборов квантовой электроники, микро-, нано-и оптоэлектроники</i>
<i>СПК-1.2</i>	<i>Умеет использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации элементов, узлов и блоков приборов квантовой электроники, микро-, нано-и оптоэлектроники</i>
<i>СПК-1.3</i>	<i>Владеет навыками оформления проектно-конструкторской документации элементов, узлов и блоков приборов квантовой электроники, микро-, нано-и оптоэлектроники</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	Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами.	3	4	2		8
3	Усиление и генерация электромагнитного излучения	3	4	3		8
4	Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков	3	4	3		10
5	Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах	4	4	3		10
6	Мазеры	2	2	0	1	10
7	Газовые лазеры	2	2	0		8
8	Твердотельные и жидкостные лазеры	2	2	3		10
9	Светодиоды и полупроводниковые лазеры	4	4	3		10
10	Фотоприемники и приборы управления оптическим излучением	5	4			10
11	Оптические методы передачи и обработки информации	4	4			10
12	Заключение	1				
	Итого, ач	34	34	17	1	94
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5				

#### 4.1.2 Содержание

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



№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами.	<p>Способы описания электромагнитного излучения. Световые лучи. Принцип Ферма. Приближение геометрической оптики. Уравнения Максвелла. Поляризация света. Фотон и его основные свойства. Фотонные коллективы.</p> <p>Энергетические состояния атомов и молекул. Квантовые числа. Символика энергетических состояний атомов. Молекулярные уровни. Вращательные и колебательные уровни. Квантовые переходы. Вероятность перехода. Матричный элемент. Дипольное приближение. Правила отбора для электронных переходов.</p> <p>Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение. Рассеяние света. Оптические характеристики вещества. Комплексный показатель преломления. Показатель поглощения. Соотношения Крамерса-Кронига.</p>
3	Усиление и генерация электромагнитного излучения	<p>Принцип работы лазеров и мазеров. Инверсия населенностей. Возбуждение активного вещества-накачка. Методы накачки. Кинетические уравнения. Двух-, трех- и четырехуровневые схемы работы. Пороговая мощность источника накачки.</p> <p>Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Потери в оптических резонаторах. Собственные типы колебаний-моды. Требования к резонаторам оптического диапазона. Типы резонаторов. Конфокальные резонаторы. Спектральные характеристики и распределение поля. Условие устойчивости. Неустойчивые резонаторы. Селекция аксиальных и неаксиальных типов колебаний.</p> <p>Условие самовозбуждения лазеров. Пороговая энергия накачки по генерации. Насыщение усиления. Одномодовая и многомодовая генерация. Нестационарная генерация. Модуляция добротности резонатора. Гигантские импульсы. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод и сверхкороткие лазерные импульсы.</p>
4	Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков	<p>Монохроматичность. Поляризация. Когерентность. Пространственная и временная когерентность. Направленность лазерного излучения. Яркость. Энергетическая и фотометрическая яркость. Гауссовы пучки. Распространение и преобразование гауссовых пучков. Оптические свойства атмосферы.</p> <p>Преобразование лазерных пучков. Пространственное, амплитудное и фазовое преобразования. Поляризационные преобразования. Фазовые (волновые) пластинки. Частотное и временное преобразования лазерного импульса. Управляемые оптические системы.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах	<p>Оптические переходы в полупроводниках. Правила отбора и законы сохранения. Экситонные эффекты. Особенности зонной структуры и оптических свойств полупроводниковых соединений АЗВ5, А2В6 и А4В6. Электронные состояния и оптическое поглощение в твердых растворах и сильнолегированных полупроводниках. Рефракция света.</p> <p>Люминесценция полупроводников. Квазиуровни Ферми. Механизмы излучательной рекомбинации. Связь спектров поглощения и люминесценции. Квантовый выход и эффективность люминесценции.</p> <p>Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах. Спектры и кинетика фотопроводимости. Увлечение носителей заряда фотонами. Фотоэлектрические эффекты в неоднородных структурах и р-п-переходах. Гетеропереходы в полупроводниках. Свойства гетеропереходов. Эффект односторонней инжекции. Эффект сверхинжекции. Эффект широкозонного окна. Волноводный эффект. Фотоэлектрические эффекты в р-п-гетеропереходах и варизонных структурах. Оптические эффекты в сверхтонких слоях. Квантовые ямы.</p>
6	Мазеры	<p>Особенности квантовых приборов радиодиапазона. Пучковые мазеры. Молекулярный мазер на пучке молекул аммиака. Мазер на пучок атомов водорода. Квантовые парамагнитные усилители. Усилители резонаторного типа и усилители бегущей волны. Активные материалы и элементы КПУ.</p>
7	Газовые лазеры	<p>Общая характеристика и особенности газовых лазеров. Требования к материалам и методы накачки. Процессы в газовом разряде. Особенности устройства газоразрядных лазеров. лазеры несоограниченных переходах. Атомарные газовые лазеры. Гелий -неоновый лазер. Лазер на парах меди. Ионные газовые лазеры. Аргонный лазер. Гелий -кадмиевый лазер. Молекулярные СО2-лазеры. Газодинамические лазеры. Азотный лазер. Эксимерные лазеры. Химические и фотохимические лазеры.</p>
8	Твердотельные и жидкостные лазеры	<p>Общая характеристика и особенности твердотельных лазеров. Активные материалы. Требования к матрицам. Требования к активаторам. Рубиновый лазер. Лазеры на кристаллах и стеклах, активированных неодимом. Твердотельные перестраиваемые лазеры.</p> <p>Общая характеристика и особенности жидкостных лазеров. Активные материалы. Лазеры на органических красителях. Перестройка частоты жидкостных лазеров.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
9	Светодиоды и полупроводниковые лазеры	<p>Общая характеристика и особенности полупроводниковых лазеров и светодиодов. Светодиоды на основе полупроводников с прямой и непрямой структурой энергетических зон. Активные материалы. Гетеросветодиоды. Особенности конструкции и характеристики. Многоэлементные полупроводниковые индикаторы. Электролюминесцентные экраны. Индикаторы на жидких кристаллах. Газоразрядные индикаторы.</p> <p>Полупроводниковые лазеры. Требования к активным материалам. Лазеры с электронной и оптической накачкой. Инжекционные лазеры на гетеропереходах. Лазеры на двойных гетероструктурах. Лазеры с разделным оптическим и электронным ограничением. Лазеры с использованием квантово-размерных эффектов. Полосковые гетеролазеры. Гетеролазеры с распределенной обратной связью. Перестраиваемые полупроводниковые ИК-лазеры.</p>
10	Фотоприемники и приборы управления оптическим излучением	<p>Классификация и технические характеристики приемников оптического излучения. Фотоэлектронные умножители. Полупроводниковые фотоприемники. Фоторезисторы. Фотодиоды. P-i-n фотодиоды и лавинные фотодиоды. Многоэлементные фотоприемники. Приемники оптических изображений. Приборы с зарядовой связью в качестве фотоприемников. Фотоэлектрические преобразователи солнечного излучения.</p> <p>Особенности приборов управления оптическим излучением. Модуляторы лазерного излучения. Электрооптические модуляторы. Магнитооптические модуляторы. Абсорбционные модуляторы. Акустооптические модуляторы света. Пассивные затворы. Методы сканирования света. Дефлекторы. Приборы нелинейной оптики. Преобразователи частоты. Генераторы гармоник. Параметрические генераторы света. Управляемые оптические системы.</p>
11	Оптические методы передачи и обработки информации	<p>Характеристика и особенности оптической связи. Структурные элементы оптоэлектроники. Оптроны как структурные элементы оптоэлектроники. Типы оптронов. Передача оптических сигналов по световодам. Волоконно-оптические линии связи.</p> <p>Элементы интегральной оптики. Тонкопленочные волноводы. Связь между волноводами. Оптическая бистабильность. Направленные ответвители. Тонкопленочные модуляторы, фильтры, переключатели, детекторы.</p> <p>Принципы голографии. Свойства голограмм. Оптические методы обработки информации. Оптические вычислительные машины и комплексы.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
12	Заключение	Основные тенденции развития квантовой и оптической электроники.

#### 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Спектры поглощения материалов активных элементов оптических квантовых генераторов	2
2. Исследование генерации второй гармоники твердотельного лазера с диодной накачкой	3
3. Фотолюминесценция полупроводниковых твёрдых растворов	3
4. Исследование электрооптического модулятора	3
5. Интерференционный светофильтр	3
6. Исследование прохождения лазерного излучения через световод	3
Итого	17

#### 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Расчет спектров поглощения материалов активных элементов оптических квантовых генераторов	4
2. Расчет времени жизни атомов в возбужденном состоянии	6
3. Оптические константы полупроводников	6
4. Расчет рабочих параметров газовых и полупроводниковых лазеров	6
5. Расчет рабочих параметров полупроводниковых фотоприемников	6
6. Расчет характеристик светодиодов	6
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. Газоразрядные лампы. История развития.
2. Газоразрядные лампы. Принцип работы, виды и применение.
3. Абсолютно черное тело.
4. Коротковолновое излучение (УФ, Рентген). Виды, свойства и применение.
5. ИК излучение. Виды, свойства и применение.
6. Поляризация света. Применение.
7. Поглощение, пропускание и отражение света.
8. Мазеры.
9. Лазеры. История развития.
10. Лазеры. Принцип работы.
11. Коэффициенты Эйнштейна.
12. Резонаторы.
13. Твердотельные лазеры.
14. Газовые лазеры.
15. Атомарный газовый лазер
16. Ионный газовый лазер
17. Молекулярный лазер
18. Эксимерный лазер

19. Химический лазер
20. Рентгеновские лазеры
21. Лазеры на свободных электронах
22. Рубиновый лазер
23. Твердотельные перестраиваемые лазеры
24. Волоконные лазеры
25. Жидкостные лазеры
26. Электрооптические модуляторы
27. Акустооптические модуляторы
28. Оптические дефлекторы
29. Преобразователи частоты в оптике
30. Принципы голографии
31. Оптоволоконные линии связи. История развития.
32. Оптоволоконные линии связи. Принцип работы.
33. Оптоволоконные линии связи. Источники и приемники излучения.

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.

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.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники, учебные пособия, конспект лекций и т.п.), выполненными в печатном или электронном виде.

По каждой теме содержания рабочей программы могут быть предусмотрены индивидуальные домашние задания (расчетно-графические работы, рефераты, конспекты изученного материала, доклады и т.п.).

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения дисциплины»).

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
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	20
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	20
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	26
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>94</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 библ.
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
5	Характеристики элементов квантовой электроники [Текст] : методические указания к лаб. работам / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2006. -32 с.	59
Дополнительная литература		
1	Звелто, Орацио. Принципы лазеров [Текст] / О. Звелто ; пер. с англ. Д.Н. Козлова [и др.] под науч. ред. Т.А. Шмаонова, 2008. -719 с.	9
2	Розеншер Э. Оптоэлектроника [Текст] : монография / Э. Розеншер, Б. Винтер ; пер. с фр. под ред. О.Н. Ермакова, 2004. -589 с.	28
3	Панов, Михаил Федорович. Физические основы интегральной оптики [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов, Ю.В. Филатов, 2010. -427 с.	149
4	Пихтин, Александр Николаевич. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники [Текст] : учеб. пособие для вузов по специальностям "Полупроводники и диэлектрики", "Полупроводниковые и микроэлектронные приборы" / А.Н. Пихтин, 1983. -304 с.	185

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

№ п/п	Электронный адрес
1	Старовойтов А.А. Введение в фотонику и оптоформатику. <a href="http://books.ifmo.ru/book/1735/vvedenie_v_fotoniku_i_optoformatiku:_dlya_bakalavrov_profiley_fizika_nanos_truktur_i_optika_nanostruktur:_uchebnoe_posobie..htm">http://books.ifmo.ru/book/1735/vvedenie_v_fotoniku_i_optoformatiku:_dlya_bakalavrov_profiley_fizika_nanos_truktur_i_optika_nanostruktur:_uchebnoe_posobie..htm</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=12555>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» формой промежуточной аттестации является дифф. зачет. Оценивание качества освоения дисциплины производится с использованием рейтинговой системы.

#### Дифференцированный зачет

Оценка	Количество баллов	Описание
Неудовлетворительно	0 – 51	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	52 – 67	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	68 – 84	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	85 – 100	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 две контрольные работы, каждая из которых оценивается по шестибалльной шкале. На практических занятиях каждый студент обязан представить доклад, оцениваемый по десятибалльной шкале, написать 2 контрольные работы, оцениваемые по двадцатибалльной шкале каждая. На лабораторных занятиях выполняется 6 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	Особенности оптической электроники
2	Квантовые состояния атома водорода и квантовые числа
3	Электронные состояния атомов и молекул
4	Способы описания электромагнитного излучения
5	Квантовые переходы. Временные диаграммы квантовых переходов
6	Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна.
7	Уширение спектральных линий.
8	Молекулярное рассеяние света
9	Оптические характеристики вещества
10	Принцип работы квантовых усилителей и генераторов
11	Возбуждение активного вещества (накачка)
12	Кинетические уравнения. Схемы работы лазеров.
13	Оптические резонаторы. Основные понятия.
14	Плоский резонатор
15	Конфокальный резонатор
16	Другие виды резонаторов
17	Самовозбуждение и насыщение усиления
18	Нестационарная генерация
19	Модуляция добротности и синхронизация мод
20	Мазеры.
21	Газовые лазеры. Особенности и основные характеристики
22	Гелий -неоновый лазер
23	Газовые лазеры на самоограниченных переходах

24	Лазеры на парах металлов
25	Лазеры на парах металлов
26	Молекулярные газовые лазеры
27	Газоразрядные CO <sub>2</sub> -лазеры
28	Рентгеновские лазеры.
29	Лазеры на свободных электронах
30	Особенности твёрдотельных лазеров
31	Рубиновый лазер.
32	Лазеры на кристаллах и стёклах, активированных неодимом
33	Твёрдотельные перестраиваемые лазеры
34	Волоконные лазеры
35	Особенности жидкостных лазеров. Лазеры на органических красителях. Перестройка частоты жидкостных лазеров
36	Возбуждение и инверсия в полупроводниках. Люминесценция в полу-проводниках
37	Светодиоды. Эффективность светодиодов
38	Основные характеристики светодиодов
39	Конструкции светодиодов
40	Белые светодиоды
41	Органические светодиоды
42	Полупроводниковые лазеры с электронной и оптической накачкой
43	Инжекционные лазеры на гетеропереходах
44	Инжекционные ДГС -лазеры
45	Полосковые лазеры
46	РО ДГС -лазеры
47	РОС-лазеры
48	Основные характеристики полупроводниковых лазеров. Конструкции ИПЛ
49	Поглощение в полупроводниках
50	Технические характеристики и основные типы фотоприёмников
51	Полупроводниковые фотоприёмники. Фоторезисторы
52	Фотодиоды

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

### Контрольная работа №1 на практических занятиях.

1. Определить энергию, длину волны, круговую частоту и волновое число для фотона с частотой  $\nu = 4 \cdot 10^{15}$  Гц. Рассчитать мощность источника излучения, испускающего за 1 секунду  $3 \cdot 10^{16}$  таких фотонов.
2. Определить минимальный диаметр оптического диска, позволяющий записать 16 Гб информации с использованием лазера на нитриде галлия. Ширина запрещенной зоны GaN составляет 3.4 эВ. Диаметр отверстия в

центре диска 3,5 см. (Ширину буферной дорожки принять равной ширине битовой дорожки. Бит информации представить в виде квадрата со стороной равной дифракционному пределу. Дорожки представляют собой окружности.)

3. Свет падает на поверхность материала с показателем преломления 1,5 под углом 70 градусов к нормали. Определить толщину образца, если известно, что пропускание составило 30%. Коэффициент поглощения 102 см<sup>-1</sup>. Отражение не учитывать.
4. Оптический волновод состоит из областей с показателями преломления 2 и 1.5. Определить максимальный угол, под которым можно вводить свет в волновод, чтобы сохранился волноводный эффект.

### **Контрольная работа №2 на практических занятиях.**

1. Радиусы зеркал сферического резонатора  $R_1 = 0,5$  м и  $R_2 = 2$  м. Определить область значений расстояний между зеркалами, при которых они образуют устойчивую конфигурацию.
2. В резонаторе неодимового лазера возбуждилось 100 аксиальных типов колебаний. Определить длину резонатора  $L$  и ширину резонансной линии  $\Delta\nu$  для аксиального колебания. Ширина линии спонтанной люминесценции  $\Delta\lambda_{\text{люм}} = 1$  нм, длина волны излучения  $\lambda = 1,06$  мкм, коэффициент преломления стекла 1,55.
3. В газовом лазере с длиной волны излучения 3 мкм коэффициент Эйнштейна для спонтанных излучательных переходов составляет  $5 \cdot 10^6$  с<sup>-1</sup>. Рассчитать время жизни в возбужденном состоянии и коэффициент Эйнштейна для вынужденных переходов.
4. Частотный интервал между  $T_{3m_q}$  и  $T_{58q}$  модами конфокального резонатора составляет  $4 \cdot 10^8$  Гц. Определить значение  $m$ , если известно, что длина резонатора составляет 1,5 м.

### **Контрольная работа №1 на лекциях.**

1. Квантовые состояния атома водорода и квантовые числа.

2. Конфокальный резонатор.

**Контрольная работа №2 на лекциях.**

1. Фотодиоды.
2. Конструкции светодиодов.

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	Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами.	Отчет по лаб. работе
4	Усиление и генерация электромагнитного излучения	Отчет по лаб. работе
5	Усиление и генерация электромагнитного излучения	Контрольная работа
6	Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков	Контрольная работа
7	Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков	Отчет по лаб. работе
8	Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах	Коллоквиум
9	Газовые лазеры Твердотельные и жидкостные лазеры Светодиоды и полупроводниковые лазеры Фотоприемники и приборы управления оптическим излучением Оптические методы передачи и обработки информации	Доклад / Презентация
10	Мазеры	Отчет по лаб. работе
11	Мазеры	Контрольная работа
12	Газовые лазеры	Отчет по лаб. работе
13	Твердотельные и жидкостные лазеры	Контрольная работа
14	Светодиоды и полупроводниковые лазеры	Отчет по лаб. работе
15	Газовые лазеры Твердотельные и жидкостные лазеры Светодиоды и полупроводниковые лазеры Фотоприемники и приборы управления оптическим излучением Оптические методы передачи и обработки информации	Доклад / Презентация
16	Оптические методы передачи и обработки информации	Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

#### на лекционных занятиях

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

Каждый из вопросов контрольной работы оценивается отдельно по шести балльной 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 «Квантовая и оптическая электроника» студент обязан выполнить 6 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После каждых 3 лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиума на 8 и 16 неделях, на которых 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 обсуж-

дении 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.

- 5 баллов - оформление презентации частично соответствует требованиям; студент частично читает с листка или со слайдов, во время доклада запинаясь, 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.
- 10 баллов - 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 шести балльной 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, лабораторные стенды (газовые лазеры, твердотельные лазеры, спектрометры быстрого сканирования, установки для исследования светодиодов), ПК	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше 3) Ocean Optics Spectroscopy Software
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>