

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

\_\_\_\_\_ В.А. Небольсин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.Б.ДВ.8.1 «ОПТОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОФОТОНИКА»**

для направления подготовки (специальности)

**28.03.02 «Наноинженерия»**

(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация)

**«Инженерные нанотехнологии в приборостроении»**

(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения: очная

Срок обучения: нормативный

**Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники**

(наименование кафедры-разработчика УМКД)

**УМКД разработал:** Липатов Г.И., кандидат технических наук

(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ

(наименование факультета)

Протокол № \_\_\_ от « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель методической комиссии \_\_\_\_\_ Е.Н. Коровин

Воронеж 2017 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 (ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Председатель ученого совета ФРТЭ

\_\_\_\_\_ В.А. Небольсин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
 «ОПТОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОФОТОНИКА»**

**Закреплена за кафедрой:** полупроводниковой электроники и наноэлектроники (ППЭНЭ)

**Направление подготовки (специальности):** 28.03.02 «Наноинженерия»

**Профиль:** «Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

**Часов по УП: 108 / Часов по РПД: 108**

**Часов по УП (без учета на экзамены): 108/ Часов по РПД: 108**

**Часов на самостоятельную работу по УП: 48 (44,4 %)**

**Часов на самостоятельную работу по РПД: 48 (44,4 %)**

**Общая трудоемкость в ЗЕТ: 3**

**Виды контроля в семестрах (на курсах):** Экзамены ; Зачеты 8; Курсовые проекты —; Курсовые работы —.

**Форма обучения:** очная. **Срок обучения:** нормативный

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Вид занятий	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1/18		2/18		3/18		4/18		5/18		6/18		7/18		8/12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции															24	24	24	24
Лабораторные															24	24	24	24
Практические															12	12	12	12
<b>Ауд. занятия</b>															<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
<b>Сам. работа</b>															<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>
<b>Итого</b>															<b>108</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>108</b>

Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) — государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки бакалавра по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 3 декабря 2015 г. № 1414.

Программу составил канд. техн. наук, доцент

Г.И. Липатов

Рецензент: д-р ф.-м. наук, профессор

С.И. Рембеза

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 «Наноинженерия», профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении».

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ППЭНЭ.

Протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ.

Протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н. Коровин

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Целью изучения дисциплины «Оптоэлектроника и нанофотоника» является формирование у обучающихся знаний о физических процессах, лежащих в основе современных оптоэлектронных приборов, в которых эффекты взаимодействия между электромагнитными волнами оптического диапазона и электронами вещества используются для генерации, передачи, обработки, хранения и отображения информации
1.2	Для достижения цели ставятся задачи: овладение методами измерения, анализа и расчета параметров и характеристик приборов и устройств оптоэлектроники и нанофотоники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Цикл (раздел) ОПОП: вариативная часть		Код дисциплины в УП: Б1.В.ДВ.8.1
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося: Б1.Б.10 «Физика» Б1. В.ОД.4 «Полупроводниковая электроника» Б1.Б.17 «Материалы электронной техники» Б1.В.ДВ.5.1 «Наноэлектроника» Б1.В.ДВ.5.2 «Физика низкоразмерных структур»	
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Выпускная квалификационная работа	

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Код и наименование компетенции	
ОПК-1	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования

## В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

3.1	<b>Знать:</b> физические процессы, лежащие в основе современных оптоэлектронных приборов; характеристики и параметры приборов; области их возможного применения (ОПК-1).
3.2	<b>Уметь:</b> выполнять измерения характеристик и определять параметры оптоэлектронных приборов (ОПК-1).
3.3	<b>Владеть:</b> методами анализа и расчета параметров и характеристик оптоэлектронных приборов и устройств (ОПК-1).

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
			Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	Всего часов
1	Излучение оптического диапазона	1	2	2	—	4	8
2	Источники некогерентного излучения	2, 3	4	2	4	10	20
3	Источники когерентного излучения	4, 5	4	2	—	6	12
4	Полупроводниковые фотоприемные приборы	6—9	8	4	16	16	44
5	Нанопотонные приборы, устройства и системы	10—12	6	2	4	12	24
<b>Итого часов:</b>			<b>24</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>108</b>

### 4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
<b>1 Излучение оптического диапазона</b>		
1	Особенности оптической электроники. Фотометрические и энергетические характеристики и параметры оптического излучения. Излучение и поглощение света полупроводниковыми структурами	2
<b>2 Источники некогерентного излучения</b>		
2	Механизм генерации излучения в полупроводниках. Внешний квантовый выход и потери излучения	2
3	Светоизлучающие диоды (СИД). Параметры и характеристики СИД	2
<b>3 Источники когерентного излучения</b>		
4	Квантовые переходы и вероятности излучательных переходов. Ширина спектральной линии. Использование вынужденных переходов для усиления электромагнитного поля	2
5	Полупроводниковые лазеры. Конструкции, параметры и режимы работы лазеров	2
<b>4 Полупроводниковые фотоприемные приборы</b>		
8	Принцип работы фотоприемных приборов. Характеристики, параметры и модели фотоприемников	2
7	Фоторезисторы	2
8	Фотодиоды	2
9	Фототранзисторы и фототиристоры	2
<b>5 Нанофотонные приборы, устройства и системы</b>		
10	Физические основы нанофотоники	2
11	Излучающие приборы на основе органических наноматериалов (OLED)	2
12	Фотоприемные нанoeлектронные приборы	2
<b>Итого часов:</b>		<b>24</b>

#### 4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Тема и содержание практического занятия	Объем часов	Виды контроля
<b>1 Излучение оптического диапазона</b>			Текущий контроль выполнения практических заданий
1, 2	Излучение света полупроводниковыми структурами	2	
<b>2 Источники некогерентного излучения</b>			
3, 4	Светоизлучающие диоды	2	
<b>3 Источники когерентного излучения</b>			
5, 6	Полупроводниковые лазеры	2	
<b>4 Полупроводниковые фотоприемные приборы</b>			
7, 8	Фоторезисторы на основе полупроводников с собственной проводимостью	2	
9, 10	Фотодиоды на основе $p-n$ -перехода	2	
<b>5 Нанофотонные приборы, устройства и системы</b>			
11, 12	Оптические свойства квантовых ям и квантовых точек	2	
<b>Итого часов:</b>		<b>12</b>	

#### 4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
1, 2	Исследование спектрального состава излучения полупроводниковых светодиодов	4	Проверка отчета по лабораторной
3, 4	Исследование характеристик фоторезистора	4	
5, 6	Исследование характеристик фотодиода	4	

7, 8	Исследование характеристик фототранзистора	4	работе
9, 10	Исследование устройств на оптопарах	4	
11, 12	Изучение оптических свойств наноматериалов	4	
<b>Итого часов:</b>		<b>24</b>	

#### 4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1—12	Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы	Опрос	16
1—12	Подготовка к лабораторным работам	Ответы на контрольные вопросы	12
1—12	Подготовка к практическим занятиям	Выполнение заданий	8
6	Подготовка к контрольным работам	Выполнение контрольного задания	3
12	Подготовка к зачету	Зачет	9
<b>Итого часов:</b>			<b>48</b>

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:**

5.1	Лекции
5.2	Лабораторные работы
5.3	Практические занятия
5.4	Самостоятельная работа
5.5	Консультации по всем вопросам учебной программы

### 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

<b>6.1</b>	<b>Контрольные вопросы и задания</b>
6.1.1	Для текущего контроля успеваемости используются контрольные вопросы, помещенные в конце каждой лабораторной работы
<b>6.2</b>	<b>Темы письменных работ</b> не предусмотрены
<b>6.3</b>	<b>Другие виды контроля</b> не предусмотрены

### 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы/составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспеченность
7.1.1 Основная литература				
Л1.1	Игнатов А.Н.	Оптоэлектроника и нанофотоника. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2011. — 544 с.	Учеб. для вузов, 2011	1
Л1.2	Астайкин А.И., Смирнов М.К.	Основы оптоэлектроники. — М.: Высш. шк., 2007. — 277 с.	Учеб. для вузов, 2007	0,7
Л1.3	Пихтин А.Н.	Оптическая и квантовая электроника. — М.: Высш. шк., 2001. — 573 с.	Учеб. для вузов, 2001	1
7.1.2 Дополнительная литература				
Л2.1	Мальшев В.А.	Основы квантовой электроники и лазерной техники. — М.: Высш. шк., 2006. — 543 с.	Учеб. пособие, 2006	0,3

Л2.2	Игнатов А.Н.	Оптоэлектронные приборы и устройства. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 272 с.	Учеб. пособие, 2006	1
Л2.3	Розеншер Э., Винтер Б.	Оптоэлектроника. — М.: Техносфера, 2004. — 592 с.	Учеб. пособие, 2004	0,2
Л2.4	Ермаков О.	Прикладная оптоэлектроника. — М.: Техносфера, 2004. — 416 с.	Учеб. пособие, 2004	0,2
Л2.5	Мартынов В.Н., Кольцов Г.И.	Полупроводниковая оптоэлектроника. — М.: МИСиС, 1999. — 400 с.	Учеб. для вузов, 1999	0,1
Л2.6	Верещагин И.К., Косяченко Л.А., Кокин С.М.	Введение в оптоэлектронику. — М.: Высш. шк., 1991. — 191 с.	Учеб. для вузов, 1991	0,1
Л2.7	Зи С.	Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. — М.: Мир, 1984. Кн. 2. — 456 с.	Монография, 1984	0,4

### 7.1.3 Методические разработки

Л3.1	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2 по курсу «Квантовая и оптическая электроника». — Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. — 30 с.	Метод. указ., 2005	1
Л3.2	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3—5 по курсу «Квантовая и оптическая электроника». — Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. — 42 с.	Метод. указ., 2008	1

### 7.1.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Системы компьютерной математики MathCAD, MATLAB

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1	Учебный компьютерный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в Интернет
8.2	Контрольно-измерительное оборудование

## 9. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонды оценочных средств по дисциплине представляют собой: перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий, варианты контрольных заданий.

### 9.1. Перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий

- Какая длина соответствует верхней границе оптического диапазона:  
а) 0,1 мкм; б) 0,5 мкм; в) 1 мм; г) 10 мм?
- Какая длина соответствует нижней границе оптического диапазона:  
а) 1 нм; б) 10 нм; в) 100 н; г) 1 мкм?
- Какая длина соответствует инфракрасному излучению:  
а) 0,3 мкм; б) 0,6 мкм; в) 0,5 мкм; г) 1 мкм?
- Какая длина соответствует ультрафиолетовой области спектра:  
а) 0,3 мкм; б) 0,7 мкм; в) 0,9 мкм; г) 12 мкм?
- Какое из обозначений соответствует излучательному прибору:  
а) КТ315А; б) КД252В; в) АЛ102В; г) КП103Ж?
- Какое из обозначений соответствует фотоприемному прибору:  
а) КТ814А; б) ФД252; в) АОУ103; г) АЛС331А?
- Какое из обозначений соответствует индикаторному прибору:  
а) ЦИЖ-2; б) АЛ103А; в) АЛ102В; г) АОТ101А?
- Какое из обозначений соответствует оптрону:  
а) АЛС316А; б) АП601В; в) АОТ301А; г) ЗЛ341Г?
- С помощью каких частиц переносится оптическая энергия:

- а) фотонов; б) фононов; в) электронов; г) дырок?
10. Какой длине волны соответствует максимальная чувствительность глаза:  
а) 0,41 мкм; б) 0,56 мкм; в) 0,63 мкм; г) 0,72 мкм?
11. Какой длине волны соответствует минимальная чувствительность глаза в области, близкой к ультрафиолетовому излучению:  
а) 0,4 мкм; б) 0,45 мкм; в) 0,5 мкм; г) 0,6 мкм?
12. Какой длине волны соответствует минимальная чувствительность глаза в области, близкой к инфракрасному излучению:  
а) 0,72 мкм; б) 0,62 мкм; в) 0,55 мкм; г) 0,5 мкм?
13. Какое из материалов относится к непрямозонным материалам:  
а) ZnSe; б) GaP; в) GaN; г) CdS?
14. Что предусматривается в структуре фотоприемника для повышения чувствительности:  
а) короткая поглощающая свет область; б) длинная поглощающая свет область;  
в) узкая поглощающая свет область; г) оптические контакты с низким сопротивлением?
15. От чего зависит частота излучения светодиода:  
а) напряжения; б) прямого тока; в) ширины запрещенной зоны; г) обратного напряжения?
16. При каком напряжении светодиод эффективно излучает свет:  
а)  $U_{обр}=5$  В; б)  $U_{пр}=5$  В; в)  $U_{обр}=2$  В; г)  $U_{пр}=2$  В?
17. Какие два условия необходимо выполнить для возникновения лазерной генерации:  
а) баланс фаз; б) баланс амплитуд; в) использование элемента накачки;  
г) использование оптического резонатора?
18. Какого типа лазеры обладают минимальными пороговыми токами:  
а) на основе моноперехода; б) на основе одиночной гетероструктуры;  
в) на основе квантовых ям; г) на основе квантовых точек?
19. Зависят ли свойства полупроводниковых наночастиц от их размера:  
а) не зависят;  
б) с уменьшением размеров спектр поглощения не меняется;  
в) с уменьшением размеров спектр поглощения сдвигается в красную сторону;  
г) с уменьшением размеров спектр поглощения смещается в голубую сторону?
20. Какие фотонные кристаллы способны к интенсивному испусканию света:  
а) GaAs; б) GaAlAs; в) GaS; г) InS?
21. Что называют модой оптического излучения:  
а) электромагнитную волну; б) частоту излучения;  
в) степень когерентности; г) поляризацию излучения?

## 9.2. Варианты контрольных заданий

### Контрольное задание № 1

1. Перечислите энергетические и световые параметры. В чем их различие?
2. Чем определяется вид спектральной зависимости обнаружительной способности фоторезистора?
3. Факторы, определяющие внешнюю квантовую эффективность СИД.
4. Находится ли излучение GaP ( $E_g=2,25$  эВ) в видимой части спектра?
5. Опишите типичные конструкции оптопар.
6. С какой целью в оптопарах в качестве детекторов используют фототранзисторы?
7. Что такое токовая и вольтовая чувствительность фотоприемника?
8. Дайте определение фотопроводимости. Чем определяется величина фотопроводимости полупроводника?

### Контрольное задание № 2

1. Виды генерации оптического излучения.
2. С какими тремя основными типами переходов между двумя энергетическими уровнями  $E_1$

- и  $E_2$  связана работа лазера?
3. Чем определяется вид диаграммы направленности полупроводникового лазера?
  4. СИД на основе гетероструктур.
  5. Параметры и характеристики СИД.
  6. Охарактеризуйте оптопары с управляемым оптическим каналом.
  7. Что такое коэффициент поглощения излучения и как он зависит от уровня легирования полупроводника?
  8. Дайте определение фото-э.д.с. Чем определяется величина фото-э.д.с. в фотодиоде?

#### Контрольное задание № 3

1. На какие три группы можно разделить оптоэлектронные приборы?
2. Почему спектр излучения лазерного СИД претерпевает качественное изменение при переходе из диодного режима работы в режим оптической квантовой генерации?
3. Какие режимы работы фотодиода возможны?
4. Чем характеризуют инерционность фотоприемников?
5. Перечислите и охарактеризуйте предельные параметры оптопар.
6. Применение оптопар в цифровых устройствах.
7. Конструкции лазеров.
8. Какие условия необходимо соблюдать для уверенного приема оптического излучения?

#### Контрольное задание № 4

1. Что такое люминесценция? Чем она отличается от теплового излучения?
2. Сопоставьте характеристики СИД и полупроводникового лазера, оцените их преимущества и недостатки.
3. Проанализируйте факторы, определяющие быстродействие диодных оптопар.
4. Физические условия генерации и усиления лазерного излучения.
5. Находится ли излучение GaAs ( $E_g=1,45$  эВ) в видимой части спектра?
6. Какой фотоэлемент допускает изменение полярности приложенного напряжения?
7. Нарисуйте схему наблюдения фотопроводимости.
8. Какая из приведенных вольт-амперных характеристик принадлежит полупроводниковому излучателю инфракрасного спектра излучения, а какая — видимого спектра излучения?



#### Контрольное задание № 5

1. Что такое инжекционная электролюминесценция?
2. Проанализируйте факторы, определяющие быстродействие СИД.
3. Чем определяется и от чего зависит коэффициент передачи по току в диодных оптопарах?
4. Параметры и характеристики фотоприемников.
5. На какую длину волны приходится максимум излучения Солнца (температура 6000 °С) и человека?
6. Будет ли изменяться фототок, если вместо дневного света осветить фотоэлемент через красный или зеленый светофильтр? Обоснуйте свой ответ.
7. Почему для преобразования энергии солнечных лучей в электрическую используют  $p-n$ -переходы в кремнии?
8. Предложите оптоэлектронный метод определения скорости движения тела.

#### Контрольное задание № 6

1. Чем определяется ширина спектра электролюминесцентного излучения?
2. Что определяет спектральную характеристику фотоэлемента?
3. Чем определяется диаграмма направленности излучения СИД?
4. Проанализируйте факторы, ограничивающие чувствительность фоторезисторов.
5. Назначение оптопар и область применения диодных оптопар.
6. В чем различие в спектральных характеристиках теплового и люминесцентного излуче-

ния?

7. Нарисуйте зависимости фототока и фото-э.д.с.  $p-n$ -перехода от светового потока.
8. Нарисуйте энергетическую схему инжекционного лазера и структуру лазера с двумя переходами.

#### Контрольное задание № 7

1. Перечислите основные возможные переходы в полупроводнике.
2. Чем определяется положение максимума электролюминесцентного излучения?
3. Опишите типовые конструкции индикаторных СИД и СИД для систем волоконной оптической связи ВОЛС.
4. Порог генерации лазера.
5. Спектр излучения лазерного СИД в диодном режиме работы и режиме оптической квантовой генерации.
6. Какие материалы считаются базовыми в технологии оптопар?
7. Как по передаточной характеристике оптопары определить статический и дифференциальный коэффициенты передачи по току?
8. Нарисуйте выходные вольт-амперные характеристики фототранзистора.

#### Контрольное задание № 8

1. Какими факторами определяется внешняя квантовая эффективность СИД?
2. Перечислите и охарактеризуйте полупроводниковые материалы, применяемые для изготовления фоторезисторов, работающих в видимом диапазоне.
3. Какие причины вызывают возникновение темнового тока?
4. Лазерное усиление в полупроводниках.
5. С какой целью в фотодиоде используют  $p-i-n$ -переход?
6. В каком направлении происходит излучение в лазере с  $p-n$ -переходом?
7. Параметры и характеристики оптопар.
8. Предложите оптоэлектронный метод определения уровня жидкости.

#### Контрольное задание № 9

1. Чем определяется эффективность люминесценции?
2. Перечислите известные вам прямозонные полупроводниковые материалы и определите спектральные диапазоны излучения СИД на их основе.
3. В чем состоят особенности фоторезисторов, используемых в далекой ИК-области спектра?
4. Опишите типичные конструкции оптопар.
5. Лазеры с гетерогенной структурой.
6. Применение оптопар в аналоговых устройствах.
7. Какие структуры используют в качестве многоэлементных фотоприемников для записи и считывания оптической информации?
8. Нарисуйте зонную диаграмму, отображающую принцип действия фототранзистора.

#### Контрольное задание № 10

1. Почему спектр излучения СИД зависит от температуры?
2. Охарактеризуйте важнейшие параметры фоторезистора.
3. Какие законы должны выполняться при поглощении электроном фотона в непрямозонном полупроводнике?
4. Нарисуйте семейство ВАХ выходной цепи оптодиода для разных величин входного тока.
5. Виды генерации оптического излучения.
6. Находится ли излучение GaSe ( $E_g=1,8$  эВ) в видимой части спектра?
7. Применение оптопар в импульсных устройствах.
8. Нарисуйте схемы включения фотодиода в фотогенераторном и фотодиодном режимах работы.

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Председатель ученого совета ФРТЭ

\_\_\_\_\_ В.А. Небольсин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД  
«Оптоэлектроника и нанофотоника»**

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

---

---

---

---

---

---

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники.

Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.А. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н.Коровин

«Согласовано»

С.А. Рембеза

## Карта обеспеченности рекомендуемой литературой

№ п/п	Авторы/ составители	Заглавие	Вид и го- ды изда- ния	Обеспе- чен- ность
<b>7.1.1 Основная литература</b>				
Л1.1	Игнатов А.Н.	Оптоэлектроника и нанофотоника. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2011. — 544 с.	Учеб. для вузов, 2011	1
Л1.2	Астайкин А.И., Смирнов М.К.	Основы оптоэлектроники. — М.: Высш. шк., 2007. — 277 с.	Учеб. для вузов, 2007	0,7
Л1.3	Пихтин А.Н.	Оптическая и квантовая электроника. — М.: Высш. шк., 2001. — 573 с.	Учеб. для вузов, 2001	1
<b>7.1.2 Дополнительная литература</b>				
Л2.1	Мальшев В.А.	Основы квантовой электроники и лазерной техники. — М.: Высш. шк., 2006. — 543 с.	Учеб. пособие, 2006	0,3
Л2.2	Игнатов А.Н.	Оптоэлектронные приборы и устройства. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 272 с.	Учеб. пособие, 2006	1
Л2.3	Розеншер Э., Винтер Б.	Оптоэлектроника. — М.: Техносфера, 2004. — 592 с.	Учеб. пособие, 2004	0,2
Л2.4	Ермаков О.	Прикладная оптоэлектроника. — М.: Техносфера, 2004. — 416 с.	Учеб. пособие, 2004	0,2
Л2.5	Мартынов В.Н., Кольцов Г.И.	Полупроводниковая оптоэлектроника. — М.: МИСиС, 1999. — 400 с.	Учеб. для вузов, 1999	0,1
Л2.6	Верещагин И.К., Косяченко Л.А., Кокин С.М.	Введение в оптоэлектронику. — М.: Высш. шк., 1991. — 191 с.	Учеб. для вузов, 1991	0,1
Л2.7	Зи С.	Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. — М.: Мир, 1984. Кн. 2. — 456 с.	Монография, 1984	0,4
<b>7.1.3 Методические разработки</b>				
Л3.1	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2 по курсу «Квантовая и оптическая электроника». — Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. — 30 с.	Метод. указ., 2005	1
Л3.2	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3—5 по курсу «Квантовая и оптическая электроника». — Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. — 42 с.	Метод. указ., 2008	1

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Зам. директора НТБ

Т.И. Буковшина