



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

Крайнова Г.С.

« 15 » сентября 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
физики низкоразмерных структур

Саранин А.А.

« 15 » сентября 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Приемники излучения и фотоприемные устройства

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 7  
лекции 18 час.  
практические занятия 18 час.  
лабораторные работы 36 час.  
в том числе с использованием МАО лек. \_\_\_\_\_ /пр. \_\_\_\_\_ /лаб. 18 \_\_\_\_\_ час.  
всего часов аудиторной нагрузки 72 час.  
в том числе с использованием МАО 18 час.  
в том числе контролируемая самостоятельная работа 0 час.  
в том числе в электронной форме 0 час.  
самостоятельная работа 36 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 0 час.  
контрольные работы 7 семестр  
курсовая работа / курсовой проект нет \_\_\_\_\_ семестр  
зачет 7 семестр  
экзамен нет \_\_\_\_\_ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 18.02.2016 № 12-13-235.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 1 от «15» сентября 2017 г.

Заведующий кафедрой Саранин А.А.  
Составитель: д.ф.-м.н., Каменев О.Т.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 11.03.04 Electronics and Nanoelectronics**

**Course title: Receivers of optical radiation and a photodetector**

**Variable part of Block, 3 credits**

**Instructor:** O.T. Kamenev, doctor of physical and mathematical sciences, Professor of the General and experimental physics department, School of Natural Sciences of Far Eastern Federal University.

### **Learning outcomes:**

SPC-3 readiness to analyze and systematize research results, to present materials in the form of scientific reports, publications, presentations;

SPC-9 ability to perform works on technological preparation of production of materials and products of electronic equipment.

**Course description:** the study of the most important physical processes, phenomena and laws that determine the operation of radiation receivers, their main parameters and characteristics, their inclusion schemes and applications of various types of optical radiation receivers, the formation of skills of calculation and experimental study of the main parameters and characteristics of the main types of radiation receivers.

### **Main course literature:**

1. Kamenev O.T. Receivers of optical radiation and a photodetector.- Vladivostok : Publishing house of Far Eastern State Technical University , 2008.- 176 p.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:384880&theme=FEFU>

2. Baranochnikov M.L. Radiation detectors and receivers. – M. : Publishing house «DMK-Press», 2012. – 640 p.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=4145](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4145)

3. Yakushenkov Yu.G. Fundamentals of optical-electronic instrument making. – M.: Logos, 2013. – 376 p. <http://www.iprbookshop.ru/14323>

4. Yakushenkov Yu.G. Theory and calculation of optoelectronic devices. – M.: Logos, 2011. – 568 p. <http://www.iprbookshop.ru/9130>

**Form of final knowledge control: pass.**

## **Аннотация дисциплины**

### **«Приемники излучения и фотоприемные устройства»**

Рабочая программа учебной дисциплины «Приемники излучения и фотоприемные устройства» разработана для студентов 4 курса по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» в соответствии с требованиями ОС ВО ДВФУ по данному направлению.

Дисциплина «Приемники оптического излучения и фотоприемные устройства» входит в дисциплины по выбору вариативной части образовательной программы.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 час.), лабораторные работы (36 час.), практические занятия (18 часов), самостоятельная работа студента (36 часов). Дисциплина реализуется на 4 курсе в 7 семестре.

**Цель:** изучение важнейших физических процессов, явлений и закономерностей, определяющих работу приемников излучения, их основные параметры и характеристики, схемы их включения и области применения различных типов приемников оптического излучения, формирование навыков расчета и экспериментального исследования основных параметров и характеристик основных типов приемников излучения.

#### **Задачи:**

- формирование у студентов знаний об основных математических моделях фотоприемников и методов расчета их основных параметров;
- формирование у студентов навыков построения математических моделей приемников оптического излучения;
- формирование у студентов навыков расчета основных параметров приемников оптического излучения;
- формирование у студентов знаний об основных методах экспериментального исследования параметров приемников оптического излучения;

- формирование у студентов навыков экспериментального исследования параметров приемников оптического излучения;
- формирование у студентов знаний о методах анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения;
- формирование у студентов навыков анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения;
- формирование у студентов знаний о методах расчета и проектирования фотоприемных устройств;
- формирование у студентов навыков расчета и проектирования фотоприемных устройств.

Для успешного изучения дисциплины «Приемники оптического излучения и фотоприемные устройства» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);
- способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-3, готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в	Знает	методы анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения
	Умеет	применять методы анализа и систематизации результатов исследований

виде научных отчетов, публикаций, презентаций		параметров приемников оптического излучения
	Владеет	методами анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения
ПК-9, способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Знает	методики технологической подготовки производства приемников оптического излучения
	Умеет	осуществлять подготовку производства приемников оптического излучения
	Владеет	навыками подготовки производства приемников оптического излучения

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Приемники излучения и фотоприемные устройства» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: мозговой штурм, дискуссия.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Лекции (18 час.)**

**Раздел I. Классификация приемников оптического излучения (1 час.)**

**Тема 1. Классификация приемников оптического излучения (1 час.)**

Понятие фотоприемного устройства (ФПУ). Приемник излучения как элемент оптико-электронной системы. Тепловые, фотоэлектрические и пондеромоторные приемники излучения, их принципы действия. Фотоприемные устройства (ФПУ). Области использования приемников излучения.

**Раздел II. Основные параметры и характеристики оптического излучения и фотоприемников. (1 час.)**

**Тема 2. Основные энергетические и фотометрические единицы (0,5 час.).**

Энергетические характеристики оптического излучения.  
Фотометрические характеристики оптического излучения. Перевод фотометрических единиц в энергетические.

**Тема 3. Основные параметры и характеристики приемников излучения и ФПУ. (0,5 час.).**

Приемники излучения и их основные характеристики. Энергетические характеристики фотоприемников. Пороговые характеристики фотоприемников. Частотные характеристики фотоприемников. Пороговые параметры фотоприемников, шумы фотоприемников и ФПУ, способы снижения шумов. Устройства охлаждения чувствительных элементов фотоприемников.

**Раздел III. Тепловые приемники излучения. (1 час.)**

**Тема 4. Виды тепловых приемников излучения (1 час.).**

Тепловые и квантовые фотоприемники; термопары, болометры, термоэлементы. Пирозлектрические фотоприемники. Полостные (абсолютные) тепловые приемники. Теплофизические параметры приемника. Уравнение теплового баланса приемника и его решения при действии на приемник немодулированного, периодически модулированного излучения и одиночного импульса. Факторы, определяющие чувствительность и инерционность тепловых приемников излучения. Области применения тепловых приемников излучения.

**Раздел IV. Фотоэлектронные приемники оптического излучения. (3 час.)**

**Тема 5. Фотокатоды. Фотоэлементы (1 час.).**

Виды фотокатодов, фотоэлементы.

**Тема 6. Фотоэлектронные умножители. Электронно-оптические преобразователи (2 час.).**

Фотоэлектронные умножители (ФЭУ), электронно-оптические преобразователи (ЭОП).

**Раздел V. Фотоэлектрические приемники оптического излучения (4 час.).**

**Тема 7. Отражение и поглощение света в твердых телах (1 час.)**

Отражение в полупроводниках. Поглощение излучения в полупроводниках.

**Тема 8. Фоторезисторы (1 час.)**

Фоторезисторы на основе собственной и примесной проводимости. Устройство фоторезистора, схемы включения, основные параметры и характеристики. Влияние оптических, электрических и конструктивных свойств чувствительного элемента ФР на его чувствительность, инерционность, шумы.

**Тема 9. Фотодиоды (1 час.).**

Фотодиоды на основе р-п-перехода. Р-і-п-фотодиоды. Лавинные фотодиоды. Фотодиоды с барьером Шоттки. МДП-фотодиоды.

**Тема 10. Фототранзисторы (12 час.).**

Фототранзисторы. МДП-фототранзисторы.

**Раздел VI. Многоэлементные фотоприемники излучения. (2 час.)**

**Тема 11. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью (1 час.).**

Приборы с зарядовой связью. МДП-фотодиодные многоэлементные приемники.

**Тема 12. Сканисторы. Матрицы фотодиодов. (1 часа).**

**Раздел VII. Солнечные элементы. (1 час.)**

**Тема 13. Солнечные фотоэлементы (1 час.).**

КПД солнечного элемента. Солнечные преобразователи с концентрацией излучения. Современные тенденции развития солнечных элементов.

## **Раздел VIII. Оптроны. (1 час.)**

### **Тема 14. Виды оптронов. Оптопары. Принципы действия (1 час.).**

Назначение оптронов. Принцип действия оптрона. Типы оптронов. Оптопары.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Лабораторные работы (36 час.).**

**Лабораторная работа № 1.** Характеристики и параметры фотоприемников (6 час.).

**Лабораторная работа №2** Фотоэлектронные умножители (6 час.)

**Лабораторная работа № 3.** Фоторезисторы (6 час.).

**Лабораторная работа № 4.** Фотодиоды (6 час.).

**Лабораторная работа № 5.** Фоточувствительные приборы с зарядовой связью (6 час.).

**Лабораторная работа №6.** Солнечные элементы (6 час.).

## **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Приемники излучения и фотоприемные устройства» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

– критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Классификация приемников оптического излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопрос 1
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
2	Основные параметры и характеристики оптического излучения и фотоприемников	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 2 - 3
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
3	Тепловые приемники излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 4 - 7
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
4	Фотоэлектронные приемники оптического излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 8 - 11
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
5	Фотоэлектрические приемники оптического излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 12 - 18
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
6	Многоэлементные фотоприемники излучения	ПК-9,	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 19 - 22
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
7	Солнечные элементы	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 23 - 24
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
8	Оптроны	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 25- 26
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Приемники оптического излучения и фотоприёмные устройства: учебно-методический комплекс /О. Т. Каменев.- Владивосток : Изд-во Дальневосточного технического университета , 2008.- 176 с. (24 экз.)

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:384880&theme=FEFU>

2. Бараночников, М.Л. Приемники и детекторы излучений [Электронный ресурс] : справочник. – Электрон. дан. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 640 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=4145](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4145)

3. Основы оптико-электронного приборостроения [Электронный ресурс] / Ю.Г. Якушенков. – М.:Логос, 2013. – 376 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14323>

4. Теория и расчет оптико-электронных приборов [Электронный ресурс] / Ю.Г. Якушенков. – М.:Логос, 2011. – 568 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9130>

### **Дополнительная литература**

1. Ишанин, Г. Г. Приемники оптического излучения на внешнем фотоэффекте [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Г. Г. Ишанин, Н. К. Мальцева. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2013. — 103 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67824.html>

## **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Мартынова Г.П. Оптика: Конспект лекций. – Самара: Изд-во "Самарский университет", 2005. – 155 с.

<http://window.edu.ru/resource/933/74933>

2. Кузнецов С.И. Колебания и волны. Геометрическая и волновая оптика: учебное пособие. 2-е изд., перераб., дополн. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 170 с.

<http://window.edu.ru/resource/208/75208>

3. Молотков Н.Я., Ломакина О.В., Егоров А.А. Оптика и квазиоптика СВЧ: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. – 380с.

<http://window.edu.ru/resource/345/68345>

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Приступить к освоению дисциплины следует в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы учебной дисциплины (РПУД). Обратить внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, результаты которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все аудиторные и самостоятельные задания необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с планом-графиком.

### **Использование материалов учебно-методического комплекса**

Для успешного освоения дисциплины следует использовать содержание разделов учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД): рабочей программы, лекционного курса, материалов практических занятий, методических рекомендаций по организации самостоятельной работы студентов, глоссария, перечня учебной литературы и других источников информации, контрольно-измерительных материалов (тесты, опросы, вопросы зачета), а также дополнительных материалов.

### **Рекомендации по подготовке к лекционным и практическим занятиям**

Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний.

При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники. В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

При подготовке к текущему контролю использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

При подготовке к промежуточной аттестации, использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

На самостоятельную работу выносятся подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с материалами из основной и дополнительной литературы, выучить основной теоретический материал по теме, при необходимости, воспользоваться литературой на русском языке и/или источниками в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет".

Основными видами аудиторной работы студентов по дисциплине «Приемники оптического излучения и фотоприемные устройства» являются лекции и практические занятия.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации по подготовке к лабораторным работам и указания на самостоятельную работу.

Тематика практических занятий направлена на закрепление и углубление теоретических знаний.

Весь курс разбит на 8 тем. Формами текущего контроля являются собеседование, тест и контрольная работа. Формой промежуточного контроля является зачет.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебная лаборатория, автоматизированная лабораторная установка для исследования оптических свойств материалов электронной техники, установка для демонстрации фотодиодов и светодиодов.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
по дисциплине  
«Приемники излучения и фотоприемные устройства»  
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток  
2017**

## 1. План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1.	В течение семестра	Изучение разделов теоретической части курса	12 час.	Собеседование (УО-1) Контрольная работа (ПР-2)
2.	В течение семестра	Подготовка к лабораторным работам	12 час.	Тест (ПР-1)
3.	В течение семестра	Подготовка реферата	12 час.	Реферат (ПР-4)

## 2. Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Самостоятельная работа студентов включает в себя: изучение разделов теоретической части курса, подготовка к практическим занятиям, подготовка реферата.

Изучение разделов теоретической части курса и подготовка к практическим занятиям осуществляется студентом в период между посвященной данной теме лекцией и соответствующим практическим занятием. Задание и литературу для изучения разделов теоретической части курса преподаватель сообщает в конце лекции. Подготовка к практическим занятиям осуществляется студентом по лекциям и литературе, использовавшейся при изучении разделов теоретической части курса.

Тема реферата выдается преподавателем в начале семестра. Готовый реферат сдается преподавателю не позднее, чем за 2 недели до конца семестра.

Самоконтроль и определение степени готовности к промежуточному контролю осуществляется студентом по контрольным вопросам, представленным в приложении 2.

### **3. Темы рефератов**

1. Боллометры.
2. Пироэлектрические приемники излучения.
3. Видиконы.
4. Суперортиконы.
5. Фотоэлектронные умножители.
6. Электронно-оптические преобразователи.
7. Р-і-п-фотодиоды.
8. Лавинные фотодиоды.
9. МДП-фотодиоды.
10. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью.

### **4. Методические рекомендации по подготовке реферата**

В учебном процессе реферат является частью самостоятельной, внеаудиторной работы студента по выбранной теме. Цель выполнения реферативной работы - самостоятельное глубокое изучение и анализ конкретных вопросов, получение навыков библиографического поиска, аналитической работы с литературой, письменного оформления текста. Реферат - это самостоятельное творческое исследование студентом определенной темы, он должен быть целостным и законченным, творческой научной работой. Автор реферата должен показать умение разбираться в проблеме, систематизировать научные знания, применять теоретические знания на практике.

Реферат выполняется самостоятельно, плагиат недопустим. Мысли других авторов, цитаты, изложение учебных и методических материалов должны иметь ссылки на источник.

Реферат выполняется по одной из предложенных тем по выбору студента. Студент может предложить собственную тему исследования, обосновав ее

целесообразность. Выполнение студентами одной группы реферативной работы на одну и ту же тему не допускается.

При написании работы необходимо использовать рекомендуемую литературу: учебные и практические пособия, учебники, монографические исследования, статьи в научных журналах.

Реферат - самостоятельное, творческое исследование. Структурно реферативная работа должна выглядеть следующим образом:

- титульный лист;
- план реферативной работы (оглавление);
- текст реферативной работы, состоящий из введения, основной части (главы и параграфы) и заключения;
- список использованной литературы.

Рекомендуемый объем реферата - 15-20 страниц машинописного текста. Название работы, глав и подглав не должны быть громоздкими и не должны совпадать. Работа над рефератом начинается с составления плана. Продуманность плана – основа успешной и творческой работы над проблемой.

Во введении автор обосновывает выбор темы, ее актуальность, место в существующей проблематике, степень ее разработанности и освещенности в литературе, определяются цели и задачи исследования. Желателен сжатый обзор научной литературы.

В основной части выделяют 2-3 вопроса рассматриваемой проблемы (главы, параграфы), в которых формулируются ключевые положения темы. При необходимости главы, параграфы должны заканчиваться логическими выводами, подводящими итоги соответствующего этапа исследования. Желательно, чтобы главы не отличались сильно по объему. Приступать к написанию реферата лучше после изучения основной литературы, вдумчивого осмысления принципов решения проблемы, противоположных подходов к ее рассмотрению. Основное содержание реферата излагается по вопросам плана последовательно, доказательно, аргументировано, что является основным достоинством самостоятельной работы.

В заключении подводятся итоги исследования, обобщаются полученные результаты, делаются выводы по реферативной работе, рекомендации по применению результатов. В оглавлении введению и заключению не присваивается порядковый номер. Нумеруются лишь главы и параграфы основной части работы.

Реферат завершается списком использованной литературы, который служит показателем изученности темы автором.

## **5. Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Контроль выполнения работы по изучению разделов теоретической части курса осуществляется на практических занятиях выборочно в форме собеседования. Оформление ответов на вопросы не требуется.

Контроль выполнения работы по подготовке к практическим занятиям осуществляется на практических занятиях в форме теста или контрольной работы. На тестировании ответы оформляются на листе бумаги с указанием ФИО и номера группы студента. Студент проставляет номер вопроса и букву, соответствующую выбранному варианту ответа.

Контрольные работы завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Количество работ – 4. Вопросы контрольных работ представлены в приложении 2.

## **6. Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Критерии оценивания теста:

90-100 % тестовых вопросов верны – «отлично»;

60-80 % – «хорошо»;

40-50% – «удовлетворительно»;

0-30 % – «неудовлетворительно».

Критерии оценивания контрольной работы:

ответ на два вопроса без ошибок – «отлично»;

ответ на два вопроса с одной ошибкой – «хорошо»;

ответ на два вопроса с двумя ошибками – «удовлетворительно»;

ответ только на один вопрос или на два вопроса с более чем двумя ошибками – «неудовлетворительно».

При получении оценки «неудовлетворительно» считается, что студент не прошел текущий контроль. В этом случае проводится повторный контроль на консультации.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Приемники излучения и фотоприемные устройства»  
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2017**

## ПАСПОРТ ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Знает	методы экспериментального исследования параметров приемников оптического излучения
	Умеет	осуществлять экспериментальное исследование параметров приемников оптического излучения
	Владеет	навыками экспериментального исследования параметров приемников оптического излучения
ПК-3 готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Знает	методы анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения
	Умеет	применять методы анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения
	Владеет	методами анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения
ПК-9 способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Знает	методики технологической подготовки производства приемников оптического излучения
	Умеет	осуществлять подготовку производства приемников оптического излучения
	Владеет	навыками подготовки производства приемников оптического излучения

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Классификация приемников оптического излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопрос 1
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
2	Основные параметры и характеристики	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 2 - 3

	оптического излучения и фотоприемников		умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
3	Тепловые приемники излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 4 - 7
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
4	Фотоэлектронные приемники оптического излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 8 - 11
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
5	Фотоэлектрические приемники оптического излучения	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 12 - 18
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
6	Многоэлементные фотоприемники излучения	ПК-9,	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 19 - 22
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
7	Солнечные элементы	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 23 - 24
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
8	Оптроны	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 25- 26
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-3 готовность анализировать и систематизировать результаты исследований,	Знает	методы анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников	воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности	способность показать базовые знания основных методов анализа и систематизации результатов исследований

представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций		оптического излучения	полноты	параметров приемников оптического излучения
	Умеет	применять методы анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения	выполнять задания по анализу и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения	способность применить знания и практические умения при выполнении заданий по анализу и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения
	Владеет	методами анализа и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения	выполнять усложненные задания в нетипичных ситуациях на основе приобретенных знаний, умений и навыков	способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения при выполнении усложненных заданий по анализу и систематизации результатов исследований параметров приемников оптического излучения
ПК-9 способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Знает	методики технологической подготовки производства приемников оптического излучения	воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	способность показать базовые знания и основные умения в области методик технологической подготовки производства приемников оптического излучения
	Умеет	осуществлять подготовку производства	осуществлять подготовку производства	способность применить знания и

		приемников оптического излучения	приемников оптического излучения	практические умения при подготовке производства приемников оптического излучения
	Владеет	навыками подготовки производства приемников оптического излучения	самостоятельно анализировать полученные результаты, строить коридор достоверности результатов	способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения по получению новых знаний при подготовке производства приемников оптического излучения

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

### Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине "Приемники излучения и фотоприемные устройства"

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка зачета (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86 -100	«зачтено»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

76 - 85	«зачтено»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61 -75	«зачтено»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0 -60	«не зачтено»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### Вопросы к зачету

1. Классификация приемников оптического излучения
2. Характеристики оптического излучения
3. Параметры и характеристики приемников оптического излучения
4. Болометры
5. Пироэлектрические приемники излучения
6. Термоэлементы
7. Тепловые приемные устройства
8. Фотоэлементы
9. Фотоэлектронные умножители
10. Передающие телевизионные электронно-лучевые трубки
11. Электронно-оптические преобразователи
12. Отражение и поглощение в полупроводнике

13. Фоторезисторы
14. Фотодиоды на основе  $p-n$ -перехода.
15.  $p-i-n$ -фотодиоды
16. МДП-фотодиоды
17. Фотоприемники с внутренним усилением
18. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью
19. МДП-фотодиодные многоэлементные приемники
20. Сканисторы
21. Матрицы фотодиодов
22. Формирователи видеосигнала на основе фотоприемников световых образов
23. КПД солнечного элемента.
24. Солнечные преобразователи с концентрацией излучения
25. Принципы действия и применение оптронов
26. Разновидности оптронов

### **Оценочные средства для текущей аттестации**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется преподавателем.

## **2. Вопросы для контрольных работ**

### **Контрольная работа № 1**

#### **Классификация и основные характеристики приемников оптического излучения**

#### **Вариант 1**

1. Дать краткую характеристику основных видов приемников оптического излучения. Какие виды фотоэлектронных приемников вы знаете?

2. Перечислить энергетические характеристики оптического излучения. Дать им определения.

3. Что является основной характеристикой фотоприемника. Какие характеристики она определяет? Рассказать о них.

4. Задача. Для немодулированного света с длиной волны  $\lambda = 0,61$  мкм имеем поток излучения  $\Phi_{\text{ф}} = 200$  лм. Определить поток фотонов.

### **Вариант 2**

1. Дать краткую характеристику основных видов приемников оптического излучения. Какие виды тепловых приемников вы знаете?

2. Фотометрические характеристики оптического излучения.

3. Рассказать о пороговых характеристиках фотоприемников.

4. Задача. Одиночный ультракороткий импульс излучения неодимового лазера ( $\lambda = 1,06$  мкм) с энергией  $W = 10$  мДж и длительностью  $t = 100$  пс сфокусирован на площади  $A = 0,05$  см<sup>2</sup>. Определить энергетическую освещенность мишени и плотность потока фотонов.

## **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2**

### **Фотоэлектронные приемники оптического излучения**

#### **Вариант 1**

1. Фотоэлементы.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

2. Секвидикон

Устройство. Принцип работы. Достоинства и недостатки.

3. Фотоумножитель ФЭУ-28 с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом паспортизовался по источнику типа "А" с температурой 2856 К.

Найти удельный порог чувствительности фотоумножителя для излучения ЧТ с температурой 2360 К в световых и энергетических ФМВ.

### **Вариант 2**

1. Фотоэлектронные умножители.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

2. Диссектор.

Устройство. Принцип работы. Достоинства и недостатки.

3. Фотоэлемент Ф-5 с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом паспортизовался по источнику типа "А" с температурой 2856 К при полосе пропускания усилительного тракта 160 Гц. Найти: порог чувствительности фотоэлемента в заданной полосе частот для излучения паспортного источника в световых ФМВ. Указание: считать преобладающим дробовой шум.

### **Вариант 3**

1. Электронно-оптические преобразователи.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

2. Суперортикон.

Устройство. Принцип работы. Достоинства и недостатки.

3. Определить максимальную вольтовую чувствительность и постоянную времени схемной релаксации для фотоэлемента Ф-5, у которого межэлектродная ёмкость равна 50 пФ, если на фотоэлемент падает максимальный световой поток 0,4 лм.

### **Вариант 4**

1. Электронно-лучевые трубки.

Назначение электронно-лучевых трубок. Принципы формирования видеоизображения.

2. Суперкремникон.

Устройство. Принцип работы. Достоинства и недостатки.

3. Фотоэлемент Ф-5 с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом паспортизовался по источнику типа "А" с температурой 2856 К при полосе пропускания усилительного тракта 160 Гц. Найти интегральную чувствительность к потоку излучения ЧТ с температурой 2360 К. Указание. Считать преобладающим дробовой шум.

### **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3**

#### **Фотоэлектрические приемники оптического излучения**

##### **Вариант 1**

1. Фоторезисторы.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

2. МДП-фототранзисторы.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

3. Эффективность преобразования внешней (электрической) мощности планарного GaAs светодиода  $\eta$  равна 2 % при прямом токе  $I = 30$  мА и разности потенциалов  $U = 2,1$  В. Оценить генерируемую прибором оптическую мощность  $P_i$ , если коэффициент отражения  $R$  на границе GaAs-воздух равен  $R = 0,8$ . Коэффициент преломления GaAs  $n = 3,6$ .

##### **Вариант 2**

1. Фотодиоды на основе  $p$ - $n$ -перехода.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

2. Фотодиоды с барьером Шоттки.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

3. Оценить эффективность преобразования внешней мощности планарного GaAs светодиода  $\eta$ , когда внутренняя оптическая мощность  $P_i$  составляет 40 % от приложенной электрической мощности. Коэффициент преломления GaAs  $n = 3,6$ .

### Вариант 3

1. *p-i-n*-фотодиоды.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

2. Фототранзисторы.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

3. Рекомбинационное время жизни неосновных носителей заряда фотодиода  $\tau = 2$  нс. При протекании постоянного тока оптическая выходная мощность равна  $P_{dc} = 200$  мкВт. Определить выходную мощность  $P_f$ , когда сигнал через диод модулирован на частоте 30 МГц.

### Вариант 4

1. МДП – фотодиоды.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

2. Фототеристоры.

Принцип действия. Основные параметры. Область применения.

3. Идеальный фотодиод (т.е. с квантовым выходом равным 1) освещается излучением мощностью  $P = 20$  мВт при длине волны 0,8 мкм. Рассчитать ток и напряжение на выходе прибора, когда детектор используется в режиме фототока и фотоЭДС соответственно. Ток утечки при обратном смещении  $I_0 = 20$  нА, рабочая температура  $T = 320$  К.

### Вариант 5

1. Лавинные фотодиоды. Принцип действия. Основные параметры.

Область применения.

2. Гетерофототранзисторы. Принцип действия. Основные параметры.

Область применения.

3. Фотодиод на основе *p-n*-перехода имеет квантовый выход 40 % на длине волны 0,8 мкм. Рассчитать чувствительность  $R$ , поглощенную оптическую мощность  $P$  ( $I_p = 1$  мкА) и число фотонов, поглощенных в секунду на этой длине волны  $\gamma_p$ .

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4**  
**Многоэлементные фотоприемники**

**Вариант 1**

1. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью.
2. Определить коэффициент использования излучения источника типа "А" (ЧТ с температурой 2856 К) кремниевым ФПЗС 1200ЦМ1.
3. Рассчитать по паспортным данным порог чувствительности матричного ФПЗС 1200ЦМ1 со стандартным временем накопления 20 мс, паспортизованного по источнику типа "А" с температурой 2856 К, при освещении его лампой накаливания с истинной температурой нити накала 3500 К, если коэффициенты использования излучения лампы глазом и ФПЗС равны соответственно 0,082 и 0,36, а коэффициент использования излучения источника типа "А" ФПЗС составляет 0,22. ФПЗС используется в телекамере с фокусным расстоянием объектива 58 мм и расстоянием до движущегося со скоростью 0,1 м/с объекта 810 мм. Допустимый "смаз" изображения равен 1/4 элемента ФПЗС.

**Вариант 2**

1. МДП-фотодиодные многоэлементные приемники.
2. Рассчитать токовую чувствительность матричного ФПЗС 1200ЦМ1 к потоку излучения и к световому потоку лампы накаливания, если квантовая эффективность материала ФПЗС составляет 0,6, а коэффициенты использования излучения лампы матричным ФПЗС и глазом равны соответственно 0,36 и 0,082.
3. Найти дисперсию шума матричного ФПЗС, обусловленного зарядовым пакетом, генерированным потоком излучения, если освещённость ФПЗС равна 850 лк, токовая чувствительность составляет 0,14 А/Вт, время

накопления равно 0,7 мс, число строк элементов в секции накопления составляет 144, а число столбцов элементов в каждой из секций накопления и хранения - 232, неэффективность переноса равна  $10^{-3}$ , количество фаз управления - 3.

### **Вариант 3**

1. Матрицы фотодиодов.

2. Найти порог чувствительности матричного ФПЗС, если дисперсия шума, обусловленного зарядовым пакетом, генерированным потоком излучения, составляет  $14,64 \cdot 10^{-6}$ , а дисперсия шума, обусловленного внутренними факторами ФПЗС, -  $5 \cdot 10^4$ , время накопления равно 0,7 мс, токовая чувствительность ФПЗС к потоку излучения составляет  $2,5 \cdot 10^{-3}$  А/лм.

3. Найти дисперсию шума матричного ФПЗС, обусловленного внутренними факторами, если средняя плотность темнового тока равна 40 нА/см<sup>2</sup>, время накопления составляет 0,7 мс, среднее количество переносов зарядового пакета равно 996, температура окружающей среды составляет 293 К, плотность поверхностных состояний равна  $671031 \text{ Дж}^{-1} \text{ м}^{-2}$ , ёмкость выходной цепи усилителя ФПЗС, выполненного на одном кристалле с выходным регистром ФПЗС, составляет 0,2 пФ.

### **4. Вопросы для самоконтроля**

#### **Тема 1. Классификация приемников оптического излучения.**

1. Понятие фотоприемного устройства (ФПУ).
2. Приемник излучения как элемент оптико-электронной системы.
3. Тепловые, фотоэлектрические и пондеромоторные приемники излучения, их принципы действия.
4. Фотоприемные устройства (ФПУ).
5. Области использования приемников излучения.

## **Тема 2. Основные энергетические и фотометрические единицы.**

1. Поток излучения (световой поток)
2. Энергетическая светимость (светимость)
3. Энергетическая освещенность (освещенность)
4. Сила излучения (сила света)
5. Энергетическая яркость (яркость)
6. Относительная спектральная световая эффективность (относительная видность)
7. Фотометрический эквивалент излучения
8. Поток фотонов
9. Плотность потока фотонов

## **Тема 3. Основные параметры и характеристики приемников излучения и ФПУ.**

1. Энергетические характеристики фотоприемников.
2. Пороговые характеристики фотоприемников.
3. Частотные характеристики фотоприемников.
4. Пороговые параметры фотоприемников, шумы фотоприемников и ФПУ, способы снижения шумов.

## **Тема 4. Виды тепловых приемников излучения.**

1. Пироэлектрические фотоприемники.
2. Болометры
3. Термоэлементы.
4. Тепловые приемные устройства.

### **Тема 5. Фотокатоды. Фотоэлементы.**

1. Виды фотокатодов
2. Фотоэлементы.

### **Тема 6. Фотоэлектронные умножители. Электронно-оптические преобразователи.**

1. Фотоэлектронные умножители (ФЭУ)
2. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП).

### **Тема 7. Отражение и поглощение света в твердых телах.**

1. Отражение в полупроводниках.
2. Поглощение излучения в полупроводниках.

### **Тема 8. Фоторезисторы.**

1. Фоторезисторы на основе собственной и примесной проводимости.
2. Устройство фоторезистора, схемы включения, основные параметры и характеристики.
3. Влияние оптических, электрических и конструктивных свойств чувствительного элемента фоторезистора на его параметры.

### **Тема 9. Фотодиоды.**

1. Фотодиоды на основе p-n-перехода.
2. P-i-n-фотодиоды.
3. Лавинные фотодиоды.
4. Фотодиоды с барьером Шоттки.
5. МДП-фотодиоды.

### **Тема 10. Фототранзисторы.**

1. Фототранзисторы.

2. МДП-фототранзисторы.

### **Тема 11. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью.**

1. Приборы с зарядовой связью.
2. МДП-фотодиодные многоэлементные приемники.

### **Тема 12. Сканисторы. Матрицы фотодиодов.**

1. Сканисторы.
2. Матрицы фотодиодов.

### **Тема 13. Солнечные фотоэлементы.**

1. КПД солнечного элемента.
2. Солнечные преобразователи с концентрацией излучения.
3. Современные тенденции развития солнечных элементов.

### **Тема 14. Виды оптронов. Оптопары. (2 час.).**

1. Виды оптронов.
2. Оптопары.