

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
**Фотоэлектроника**

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, магистерская программа: Материалы микро- и наносистемной техники

Курс: 2, семестр : 3

Факультет радиотехники и электроники,

|    |                                                                                                      | Семестр    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| №  | Вид деятельности                                                                                     | 3          |
| 1  | Всего зачетных единиц (кредитов)                                                                     | 4          |
| 2  | Всего часов                                                                                          | 144        |
| 3  | Всего занятий в контактной форме, час.                                                               | 49         |
| 4  | Лекции, час.                                                                                         | 18         |
| 5  | Практические занятия, час.                                                                           | 18         |
| 6  | Лабораторные занятия, час.                                                                           | 0          |
| 7  | из них в активной и интерактивной форме, час.                                                        | 16         |
| 8  | Аттестация, час.                                                                                     | 2          |
| 9  | Консультации, час.                                                                                   | 11         |
| 10 | Самостоятельная работа, час.                                                                         | 95         |
| 11 | Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе) | РГЗ контр. |
| 12 | Вид аттестации                                                                                       | Э          |

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №990 от 09.09.2015 г. , дата утверждения: 05.10.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

доцент, к.т.н. Филимонова Н. И.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

## 1. Внешние требования

Таблица 1.1

|                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Компетенция ФГОС: ПК.2 готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты; в части следующих результатов обучения:</b>        |
| 33. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах                                                                                                                                         |
| <b>Компетенция ФГОС: ПК.3 готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:</b> |
| 35. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне                                                                                                                                                                                 |
| 36. знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники                                                                                                                                 |
| у3. владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области                                                                                                                                                 |

## 2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

| Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)                                                                                                                                                                                  | Формы организации занятий                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>Фотоэлектроника</b>                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                      |
| <b>ПК.3.35 знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне</b>                                                                                                                                                                                           |                                                      |
| 1.о современных принципах работы оптоэлектронных приборов и систем, а также о физических процессах, протекающих в полупроводниковых приемниках излучения, о физических явлениях, определяющих предельно достижимые параметры и характеристики оптоэлектронных приборов и систем. | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.36 знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники</b>                                                                                                                                           |                                                      |
| 2.о методах теоретической физики и вычислительной математики, используемых в материаловедении, физике твердого тела и физике полупроводников при разработке оптоэлектронных систем                                                                                               | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.у3 владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области</b>                                                                                                                                                           |                                                      |
| 3.о новейших методах получения, экспериментального исследования и характеристики полупроводниковых структур, используемых в фотоэлектронике                                                                                                                                      | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.36 знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники</b>                                                                                                                                           |                                                      |
| 4.понятийный аппарат (терминологию) дисциплины "фотоэлектроника"                                                                                                                                                                                                                 | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.2.33 знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах</b>                                                                                                                                                   |                                                      |
| 5.основные характеристики материалов: структурные, термодинамические, зонные, тепловые, электрические и оптические свойства                                                                                                                                                      | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.у3 владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области</b>                                                                                                                                                           |                                                      |
| 6.теоретические методы описания работы оптоэлектронных систем, физических равновесных и неравновесных процессов в полупроводниковых структурах, предназначенных для регистрации оптического излучения                                                                            | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.35 знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне</b>                                                                                                                                                                                           |                                                      |
| 7.основные физические явления, используемые для создания современных приборов твердотельной фотоэлектроники                                                                                                                                                                      | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>ПК.3.36 знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники</b>                                                                                                                                                                  |                                                      |
| 8.О перспективных направлениях развития твердотельной электроники в области разработки и создания приемников оптического излучения и обработки оптической информации                                                                                                                                    | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| 9.использовать основы теории твердого тела и термодинамики для постановки и решения задач описания процессов, происходящих в оптоэлектронных устройствах                                                                                                                                                | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| 10.проводить характеризацию оптоэлектронных систем, а так же источников и приемников излучения в зависимости от поставленной задачи                                                                                                                                                                     | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.у3 владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области</b>                                                                                                                                                                                  |                                                      |
| 12.выбирать и использовать для расчета параметров исследуемой системы конкретные методы, сравнивать результаты расчета, полученные различными методами, вычислять основные параметры оптоэлектронной системы в целом и фотоприемников, как ее составляющей части                                        | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| 13.прогнозировать изменение свойств объектов при изменении внешних условий или воздействий, представлять результаты решения отдельных задач                                                                                                                                                             | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.36 знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники</b>                                                                                                                                                                  |                                                      |
| 14.современной научной терминологией и основными теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях нанотехнологии, связанных с фотоелектроникой                                                                                                                                    | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ПК.3.у3 владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области</b>                                                                                                                                                                                  |                                                      |
| 15.методами расчёта основных параметров наноразмерных фотоелектронных систем; - навыками анализа и идентификации новых проблем и областей исследования в области фотоелектроники; навыками и методиками разработки физико-математических моделей процессов, явлений и объектов в области фотозлетроники | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |

### 3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

| Темы лекций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|
| <b>Семестр: 3</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                      |      |                               |
| <b>Дидактическая единица: Общая характеристика объектов изучения и промежуточной среды. Источники излучения и их классификация. Методы оптического поиска и его оптимизация</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                      |      |                               |
| 1. Введение. Источники и приемники излучения. Цели и фоны. Определения и термины. Общая характеристика оптоэлектронных систем. Области применения и классификация                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0                    | 1    | 10, 4                         |
| 2. Оптический поиск. Типы полей излучения. Методы оптического поиска (последовательный, параллельный и их комбинации). Сканирование в пространстве предметов и в пространстве изображений. Матричные фотоприемники - устройства для параллельного оптического поиска. Оптимизация оптического поиска. Критерии оптимизации оптического поиска. Оптимизация оптического поиска с использованием априорной и текущей информации. Аппаратурная реализация оптического поиска. Многостадийный и зонально-поэлементный поиск. | 0                    | 2    | 1, 10, 12, 6                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |   |                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-------------------------------|
| 3. Энергетические характеристики источников излучения. Яркость и освещенность. Интегральные и спектральные характеристики. Излучение точечных и протяженных источников. Единицы измерения. Закон Ламберта. Равновесное тепловое и неравновесное излучение. Излучение абсолютно черного тела                                                                                                                                                        | 0 | 2 | 10, 4, 9                      |
| <b>Дидактическая единица: Основные типы приёмников излучения, их классификация. Параметры и характеристики приемников излучения. Чувствительность и шум. Виды шумов. Пороговые параметры приемников излучения</b>                                                                                                                                                                                                                                  |   |   |                               |
| 4. Фотоэлектрические приемники излучения. Внешний фотоэффект. Устройство и характеристики фотокатодов. Квантовый выход и ампер-ваттная чувствительность. Распределение электронов по энергии, спектральные характеристики.                                                                                                                                                                                                                         | 0 | 2 | 1, 10, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8    |
| 5. Фотоэлементы. Устройство и характеристики. Преимущества перед фотоприемниками на внутреннем фотоэффекте. Быстродействие и динамический диапазон. Фотоэлектрические умножители (ФЭУ). Вторичные электронные умножители (ВЭУ). Коэффициенты умножения. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП). Устройство и характеристики. Пространственное разрешение и кружок рассеяния. Многокаскадные ЭОП. Области применения. Приборы ночного видения. | 0 | 2 | 1, 10, 12, 14, 2, 7, 8        |
| 6. Основные параметры и характеристики ПИ. Шум. Чувствительность. Быстродействие. Пороговая чувствительность. Обнаружительная способность. Интегральные и спектральные параметры. Особенности многоэлементных фотоприемников.                                                                                                                                                                                                                      | 0 | 2 | 1, 2, 5, 9                    |
| 10. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) излучения - солнечные элементы. Конструкция, принцип работы, коэффициент преобразования, многокаскадные ФЭП. Коэффициент преобразования энергии в оптимизированных конструкциях ФЭП.                                                                                                                                                                                                                   | 0 | 2 | 10, 14, 3, 4, 5, 7            |
| <b>Дидактическая единица: Общие принципы построения и функционирования оптических систем ОЭС. Системы сканирования. Ограничения в оптических системах: аберрации, дифракционные ограничения</b>                                                                                                                                                                                                                                                    |   |   |                               |
| 7. ФЭУ и ЭОП в телевизионных передающих трубках. Принципиальный переход от последовательного просмотра к системам с накоплением фотосигнала. Выигрыш в отношении сигнал/шум. Матричные полупроводниковые фотоприемники - разновидность телевизионных передающих трубок. Иконоскоп, ортикон и их модификации                                                                                                                                        | 0 | 2 | 1, 10, 12, 13, 14, 2, 3, 9    |
| 8. Принципы построения, основные методы изготовления и сборки многоэлементных фотоприемников (МФП) и фотоприемных устройств (ФПУ). Полупроводниковые материалы для изготовления МФП и МФПУ. Мультиплексоры: принципы работы. Перспективные направления.                                                                                                                                                                                            | 0 | 2 | 1, 10, 12, 13, 15, 2, 3, 5, 9 |
| 9. Основы геометрической оптики. Идеальная оптическая система. Погрешности (аберрации) оптических систем. Интерференция и дифракция. Дифракционные ограничения оптических систем. Предельное угловое разрешение.                                                                                                                                                                                                                                   | 0 | 1 | 1, 15                         |

Таблица 3.2

| Темы практических занятий | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения | Учебная деятельность |
|---------------------------|----------------------|------|-------------------------------|----------------------|
|---------------------------|----------------------|------|-------------------------------|----------------------|

| Семестр: 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |   |                     |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---------------------|---------------|
| Дидактическая единица: Общая характеристика объектов изучения и промежуточной среды. Источники излучения и их классификация. Методы оптического поиска и его оптимизация                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   |                     |               |
| 1. Энергетические и светотехнические единицы измерения. Фотометрические величины и фотометрические расчеты. Излучение точечных и протяженных источников. Закон Ламберта. Расчет освещенности фотоприемника источником излучения с заданными параметрами. Излучение абсолютно черного тела. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка и Вина. Источники излучения. Поглощение излучения в атмосфере. Коэффициент пропускания атмосферы. Пересчет параметров из энергетической системы единиц в светотехническую и обратно. | 3 | 4 | 10, 13, 14, 4       | решение задач |
| Дидактическая единица: Основные типы приёмников излучения, их классификация. Параметры и характеристики приемников излучения. Чувствительность и шум. Виды шумов. Пороговые параметры приемников излучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |   |                     |               |
| 2. Приемники оптического излучения. Интегральные и спектральные параметры. Расчет характеристик: интегральная и спектральная чувствительности, удельный порог чувствительности, обнаружительная способность. Шумы.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3 | 4 | 1, 10, 12, 2        | решение задач |
| 3. Расчет параметров фотонных приемников излучения. Оценка максимального выходного сигнала и максимальной чувствительности. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в световых фотометрических величинах в параметры в энергетических фотометрических величинах. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в энергетических фотометрических величинах для излучения одного источника в параметры для излучения другого источника.                      | 4 | 4 | 1, 12, 13, 15, 2, 3 | решение задач |
| 5. Параметры и характеристики приемников излучения на внешнем фотоэффекте и их пересчет                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2 | 2 | 1, 12, 15, 2, 3, 5  | решение задач |

|                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   |                             |                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 6. Тепловые приемники излучения. Устройство , шумы и параметры                                                                                                                                                                                          | 2 | 2 | 12, 13, 15, 3, 5, 7         | решение задач                                                       |
| <b>Дидактическая единица: Общие принципы построения и функционирования оптических систем ОЭС. Системы сканирования. Ограничения в оптических системах: абберации, дифракционные ограничения</b>                                                         |   |   |                             |                                                                     |
| 4. Принципы построения, основные методы изготовления и сборки многоэлементных фотоприемников (МФП) и фотоприемных устройств (ФПУ). Полупроводниковые материалы для изготовления МФП и МФПУ. Мультиплексоры: принципы работы. Перспективные направления. | 2 | 2 | 1, 12, 14, 3, 4, 5, 6, 8, 9 | практические занятия в форме презентации и дискуссии на данную тему |

#### 4. Самостоятельная работа обучающегося

| №                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Виды самостоятельной работы | Ссылки на результаты обучения                 | Часы на выполнение | Часы на консультации |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Семестр: 3</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                             |                                               |                    |                      |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Контрольные работы          | 1, 10, 12, 14, 15, 2, 4, 5, 6, 9              | 20                 | 0                    |
| выполнение, оформление и защита контрольной работы, подробная информация приведена в приложении №3 : Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / В. П. Драгунов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043</a> . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".                                             |                             |                                               |                    |                      |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | РГЗ                         | 1, 10, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | 40                 | 6                    |
| самостоятельная работа с литературой, выполнение , оформление и защита индивидуального задания, подробная информация приведена в приложении №4 : Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / В. П. Драгунов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043</a> . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии". |                             |                                               |                    |                      |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Подготовка к занятиям       | 1, 10, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | 20                 | 0                    |
| работа с литературой и справочными материалами. Подготовка к экзамену: Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / В. П. Драгунов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043</a> . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".                                                                           |                             |                                               |                    |                      |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Подготовка к аттестации     | 1, 10, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | 15                 | 5                    |
| самостоятельная работа с литературой и справочными материалами, подготовка к экзамену, подробная информация приведена в приложении №2 : Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / В. П. Драгунов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043</a> . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".          |                             |                                               |                    |                      |

## 5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

| Деятельность                  | Информационно-коммуникационные технологии |
|-------------------------------|-------------------------------------------|
| Информирование                | e-mail                                    |
| Консультирование              | e-mail                                    |
| Контроль                      | e-mail                                    |
| Размещение учебных материалов | ЭБС                                       |

## 6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

| Оцениваемые виды деятельности обучающихся                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Мин. балл | Максимальный балл |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------|
| <b>Семестр: 3</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |           |                   |
| <i>Лекция:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3         | 5                 |
| <i>Практические занятия:</i> практические занятия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5         | 10                |
| <i>Контрольные работы:</i> выполнение контрольной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 7         | 15                |
| <i>РГЗ:</i> выполнение и защита РГЗ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 15        | 30                |
| Контролирующие материалы - список тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |           |                   |
| <i>Экзамен:</i> постановка задачи, количественное обоснование результата и качественный анализ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 20        | 40                |
| Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / В. П. Драгунов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043</a> . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии"." |           |                   |

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

| Коды компетенций ФГОС | Результаты обучения                                                                                                         | Формы контроля |            |         |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|---------|
|                       |                                                                                                                             | Контр. раб.    | Защита РГЗ | Экзамен |
| ПК.2                  | з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах разделах фаз в различных нано- и микросистемах        | +              | +          | +       |
| ПК.3                  | з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне                                                 | +              | +          | +       |
|                       | з6. знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники | +              | +          | +       |
|                       | у3. владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области                 | +              | +          | +       |

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

## 7. Литература

### *Основная литература*

1. Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы : [учебное пособие для вузов по направлениям 200200 (Опtotехника), 200600 (Фотоника и оптоинформатика) и оптическим специальностям] / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Тришенков. - М., 2007. - 381 с. : ил.
2. Мартинес-Дуарт Д. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Рueda ; пер. с англ. А. В. Хачояна : под ред. Е. Б. Якимова. - М., 2009. - 367 с. : ил.
3. Филачев А. М. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Тришенков. - М., 2010. - 125 с. : ил., табл.
4. Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника. Фоторезисторы и фотоприемные устройства : [учебное пособие для вузов по направлениям подготовки: 200400 - Опtotехника; 200500 - Лазерная техника и лазерные технологии; 200700 - Фотоника и оптоинформатика] / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Тришенков. - Москва, 2012. - 363, [2] с. : ил., табл.
5. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, И. Г. Неизвестный, В. Н. Шумский ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2006. - 495 с. : ил. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000066370](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000066370)
6. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : [учебное пособие по направлениям подготовки "Электроника и микроэлектроника" и "Телекоммуникации"] / А. Н. Игнатов. - Санкт-Петербург [и др.], 2011. - 538 с. : ил., табл.

### *Дополнительная литература*

1. Источники и приемники излучения : учебное пособие для оптических специальностей / Ишанин Г. Г., Панков Э. Д., Андреев А. Л., Польщиков Г. В. - СПб., 1991. - 240 с. : ил., схемы
2. Здор С. Е. Оптический поиск и распознавание / С. Е. Здор, В. Б. Широков. - М., 1973. - 238, [1] с. : ил., схемы
3. Стельбанс Л. С. Физика полупроводников / Л. С. Стельбанс. - М., 1967. - 451 с. : ил.
4. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов : учебное пособие для [приборостроительных] вузов / М. М. Мирошников. - Л., 1983. - 695, [1] с., [8] л., фото. : ил.
5. Носов Ю. Р. Основы физики приборов с зарядовой связью / Ю. Р. Носов, В. А. Шилин. - М., 1986. - 318, [1] с. : ил.
6. Ландсберг Г. С. Оптика : учебное пособие для физ. специальностей вузов / Г. С. Ландсберг. - М., 1976. - 926 с.
7. Шалимова К. В. Физика полупроводников : Учебник для вузов по спец. "Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы" / К. В. Шалимова. - М., 1976. - 416 с. : ил.

### *Интернет-ресурсы*

1. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Игнатов. - Санкт-Петербург : Лань, 2011. - 544 с. - Режим доступа: <http://www.novsu.ru/file/120590>. - Загл. с экрана.
2. Гридчин В. А. Физика микросистем [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. А. Гридчин, И. Г. Неизвестный, В. Н. Шумский. - Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2006. - Ч.2. - 496 с. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000066370](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000066370). - Загл. с экрана.
3. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>

4. Ландсберг Г. С. Оптика [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Ландсберг. - 6-е изд. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 848 с. - Режим доступа: [http://www.newlibrary.ru/book/landsberg\\_g\\_s\\_/optika\\_\(2003\).html](http://www.newlibrary.ru/book/landsberg_g_s_/optika_(2003).html). - Загл. с экрана.
5. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
6. Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А. Н. Пихтин. - Москва, 2001. - 573 с. - Режим доступа: <http://www.padaread.com/?book=16837>. - Загл. с экрана.
7. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 354 с. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000113265](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000113265). - Загл. с экрана.
8. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
9. ЭБС "Znaniyum.com" : <http://znaniyum.com/>
10. :

## **8. Методическое и программное обеспечение**

### *8.1 Методическое обеспечение*

1. Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / В. П. Драгунов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000074043](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000074043). - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

### *8.2 Специализированное программное обеспечение*

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

## **9. Материально-техническое обеспечение**

Комплект оборудования

| № | Наименование                          | Назначение                     |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Комплект мультимедийного оборудования | используется при чтении лекций |

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН РЭФ  
д.т.н., профессор В.А. Хрусталев  
“    ”    \_\_\_\_\_ г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### **Фотоэлектроника**

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника,  
магистерская программа: Материалы микро- и наносистемной техники

# 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Фотоэлектроника приведена в Таблице.

Таблица

| Формируемые компетенции                                                                                                                                                                         | Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)                                                    | Темы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Этапы оценки компетенций                                      |                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.) | Промежуточная аттестация (экзамен, зачет) |
| ПК.2/НИ<br>готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты        | з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах | Параметры и характеристики приемников излучения на внешнем фотоэффекте и их пересчет Принципы построения, основные методы изготовления и сборки многоэлементных фотоприемников (МФП) и фотоприемных устройств (ФПУ). Полупроводниковые материалы для изготовления МФП и МФПУ. Мультиплексоры: принципы работы. Перспективные направления. Тепловые приемники излучения. Устройство , шумы и параметры Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) излучения - солнечные элементы. Конструкция, принцип работы, коэффициент преобразования, многокаскадные ФЭП. Коэффициент преобразования энергии в оптимизированных конструкциях ФЭП. Фотоэлектрические приемники излучения. Внешний фотоэффект. Устройство и характеристики фотокатодов. Квантовый выход и ампер-ваттная чувствительность. Распределение электронов по энергии, спектральные характеристики. | Контрольные работы РГЗ, разделы.1, 9-11                       | Экзамен, вопросы.23-30                    |
| ПК.3/НИ<br>готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники | з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне                                         | Оптический поиск. Типы полей излучения. Методы оптического поиска (последовательный, параллельный и их комбинации). Сканирование в пространстве предметов и в пространстве изображений. Матричные фотоприемники - устройства для параллельного оптического поиска. Оптимизация оптического поиска. Критерии оптимизации оптического поиска. Оптимизация                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Контрольные работы РГЗ, разделы.2-4, 11..                     | Экзамен, вопросы.3, 16-19, 23-30          |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  | <p>оптического поиска с использованием априорной и текущей информации.</p> <p>Аппаратурная реализация оптического поиска.</p> <p>Многостадийный и зонально-поэлементный поиск.</p> <p>Основные параметры и характеристики ПИ. Шум.</p> <p>Чувствительность.</p> <p>Быстродействие. Пороговая чувствительность.</p> <p>Обнаружительная способность. Интегральные и спектральные параметры.</p> <p>Особенности многоэлементных фотоприемников. Основы геометрической оптики.</p> <p>Идеальная оптическая система. Погрешности (абберации) оптических систем. Интерференция и дифракция. Дифракционные ограничения оптических систем. Предельное угловое разрешение. Параметры и характеристики приемников излучения на внешнем фотоэффекте и их пересчет</p> <p>Приемники оптического излучения. Интегральные и спектральные параметры.</p> <p>Расчет характеристик: интегральная и спектральная чувствительности, удельный порог чувствительности, обнаружительная способность. Шумы.</p> <p>Принципы построения, основные методы изготовления и сборки многоэлементных фотоприемников (МФП) и фотоприемных устройств (ФПУ). Полупроводниковые материалы для изготовления МФП и МФПУ.</p> <p>Мультиплексоры: принципы работы. Перспективные направления. Расчет параметров фотонных приемников излучения.</p> <p>Оценка максимального выходного сигнала и максимальной чувствительности. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в световых фотометрических величинах в параметры в энергетических фотометрических величинах.</p> <p>Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в энергетических</p> |  |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|         |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |                                   |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
|         |                                                                                                                     | <p>фотометрических величинах для излучения одного источника в параметры для излучения другого источника. Тепловые приемники излучения. Устройство , шумы и параметры</p> <p>Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) излучения - солнечные элементы. Конструкция, принцип работы, коэффициент преобразования, многокаскадные ФЭП. Коэффициент преобразования энергии в оптимизированных конструкциях ФЭП. Фотоэлектрические приемники излучения. Внешний фотоэффект. Устройство и характеристики фотокатодов. Квантовый выход и ампер-ваттная чувствительность. Распределение электронов по энергии, спектральные характеристики. Фотоэлементы. Устройство и характеристики.</p> <p>Преимущества перед фотоприемниками на внутреннем фотоэффекте. Быстродействие и динамический диапазон. Фотоэлектрические умножители (ФЭУ). Вторичные электронные умножители (ВЭУ). Коэффициенты умножения. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП). Устройство и характеристики. Пространственное разрешение и кружок рассеяния. Многокаскадные ЭОП. Области применения. Приборы ночного видения. ФЭУ и ЭОП в телевизионных передающих трубках. Принципиальный переход от последовательного просмотра к системам с накоплением фотосигнала. Выигрыш в отношении сигнал/шум. Матричные полупроводниковые фотоприемники - разновидность телевизионных передающих трубок. Иконоскоп, ортископ и их модификации</p> |                                      |                                   |
| ПК.3/НИ | зб. знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной | <p>Введение. Источники и приемники излучения. Цели и фоны. Определения и термины. Общая характеристика оптоэлектронных систем. Области применения и</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Контрольные работы РГЗ, разделы 1-11 | Экзамен, вопросы.12-18, 23-30, 32 |

|  |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |
|--|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  | техники | <p>классификация Приемники оптического излучения. Интегральные и спектральные параметры. Расчет характеристик: интегральная и спектральная чувствительности, удельный порог чувствительности, обнаружительная способность. Шумы. Принципы построения, основные методы изготовления и сборки многоэлементных фотоприемников (МФП) и фотоприемных устройств (ФПУ). Полупроводниковые материалы для изготовления МФП и МФПУ.</p> <p>Мультиплексоры: принципы работы. Перспективные направления. Расчет параметров фотонных приемников излучения. Оценка максимального выходного сигнала и максимальной чувствительности. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в световых фотометрических величинах в параметры в энергетических фотометрических величинах. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в энергетических фотометрических величинах для излучения одного источника в параметры для излучения другого источника. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) излучения - солнечные элементы. Конструкция, принцип работы, коэффициент преобразования, многокаскадные ФЭП. Коэффициент преобразования энергии в оптимизированных конструкциях ФЭП. Фотоэлектрические приемники излучения. Внешний фотоэффект. Устройство и характеристики фотокатодов. Квантовый выход и ампер-ваттная чувствительность. Распределение электронов по энергии, спектральные характеристики. Фотоэлементы. Устройство и характеристики. Преимущества перед фотоприемниками на внутреннем фотоэффекте.</p> |  |  |
|--|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|         |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                     |                                          |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|
|         |                                                                           | <p>Быстродействие и динамический диапазон. Фотоэлектрические умножители (ФЭУ). Вторичные электронные умножители (ВЭУ). Коэффициенты умножения. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП). Устройство и характеристики. Пространственное разрешение и кружок рассеяния. Многокаскадные ЭОП. Области применения. Приборы ночного видения. ФЭУ и ЭОП в телевизионных передающих трубках. Принципиальный переход от последовательного просмотра к системам с накоплением фотосигнала. Выигрыш в отношении сигнал/шум. Матричные полупроводниковые фотоприемники - разновидность телевизионных передающих трубок. Иконоскоп, ортископ и их модификации Энергетические и светотехнические единицы измерения. Фотометрические величины и фотометрические расчеты. Излучение точечных и протяженных источников. Закон Ламберта. Расчет освещенности фотоприемника источником излучения с заданными параметрами. Излучение абсолютно черного тела. Законы теплового излучения. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка и Вина. Источники излучения. Поглощение излучения в атмосфере. Коэффициент пропускания атмосферы. Пересчет параметров из энергетической системы единиц в светотехническую и обратно. Энергетические характеристики источников излучения. Яркость и освещенность. Интегральные и спектральные характеристики. Излучение точечных и протяженных источников. Единицы измерения. Закон Ламберта. Равновесное тепловое и неравновесное излучение. Излучение абсолютно черного тела</p> |                                                     |                                          |
| ПК.3/НИ | у3. владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, | <p>Основы геометрической оптики. Идеальная оптическая система. Погрешности (абберации) оптических систем. Интерференция и дифракция. Дифракционные</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Контрольные работы РГЗ, разделы.1-2, 5, 8-10</p> | <p>Экзамен, вопросы 1-8, 19-24,31-32</p> |

|  |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |  |
|--|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  | используемых в предметной области | <p>ограничения оптических систем. Предельное угловое разрешение. Параметры и характеристики приемников излучения на внешнем фотоэффекте и их пересчет Приемники оптического излучения. Интегральные и спектральные параметры. Расчет характеристик: интегральная и спектральная чувствительности, удельный порог чувствительности, обнаружительная способность. Шумы. Принципы построения, основные методы изготовления и сборки многоэлементных фотоприемников (МФП) и фотоприемных устройств (ФПУ). Полупроводниковые материалы для изготовления МФП и МФПУ.</p> <p>Мультиплексоры: принципы работы. Перспективные направления. Расчет параметров фотонных приемников излучения. Оценка максимального выходного сигнала и максимальной чувствительности. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в световых фотометрических величинах в параметры в энергетических фотометрических величинах. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в энергетических фотометрических величинах для излучения одного источника в параметры для излучения другого источника. Тепловые приемники излучения. Устройство , шумы и параметры</p> <p>Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) излучения - солнечные элементы. Конструкция, принцип работы, коэффициент преобразования, многокаскадные ФЭП. Коэффициент преобразования энергии в оптимизированных конструкциях ФЭП. Фотоэлектрические приемники излучения. Внешний фотоэффект. Устройство и характеристики фотокатодов. Квантовый выход и ампер-ваттная чувствительность.</p> |  |  |
|--|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  | Распределение электронов по энергии, спектральные характеристики.<br>Фотоэлементы. Устройство и характеристики.<br>Преимущества перед фотоприемниками на внутреннем фотоэффекте.<br>Быстродействие и динамический диапазон.<br>Фотоэлектрические умножители (ФЭУ).<br>Вторичные электронные умножители (ВЭУ).<br>Коэффициенты умножения.<br>Электронно-оптические преобразователи (ЭОП).<br>Устройство и характеристики.<br>Пространственное разрешение и кружок рассеяния.<br>Многокаскадные ЭОП.<br>Области применения.<br>Приборы ночного видения.<br>ФЭУ и ЭОП в телевизионных передающих трубках.<br>Принципиальный переход от последовательного просмотра к системам с накоплением фотосигнала. Выигрыш в отношении сигнал/шум.<br>Матричные полупроводниковые фотоприемники - разновидность телевизионных передающих трубок.<br>Иконоскоп, ортископ и их модификации |  |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 3 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.2/НИ, ПК.3/НИ.

Экзамен проводится в устной форме, по билетам, составленным из вопросов, приведенных в паспорте экзамена, позволяющих оценить показатели сформированности соответствующих компетенций.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 3 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ(Р), контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р), контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.2/НИ, ПК.3/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

### Общая характеристика уровней освоения компетенций.

**Ниже порогового.** Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований,

теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

**Пороговый.** Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

**Базовый.** Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

**Продвинутый.** Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Фотоэлектроника», 3 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-16, второй вопрос из диапазона вопросов 17-32 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет РЭФ

Билет № 1  
к экзамену по дисциплине «Фотоэлектроника»

---

1. Обобщенная схема оптоэлектронных систем (ОЭС). Общие характеристики оптоэлектронных систем (порог чувствительности, дальность действия и т.д.)
2. Внутренний фотоэффект. ЭДС Дембера, фотоманнитный эффект, фотопроводимость, поверхностная фотоэдс, фотовольтаический эффект

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись) (дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, не знает современные принципы работы оптоэлектронных приборов и систем, а также о физические процессы, протекающих в полупроводниковых приемниках излучения, оценка составляет 0-19 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, знает современные принципы работы оптоэлектронных приборов и систем, а также о физические процессы, протекающих в полупроводниковых приемниках излучения, о физических явлениях, определяющих предельно достижимые параметры и характеристики оптоэлектронных приборов и

систем, обобщенную схему оптоэлектронных систем, умеет осуществлять выбор источников, приемников излучения и методики их исследования, оценка составляет 20-26 балла.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, умеет описывать процессы, происходящие в приемниках излучения с помощью соответствующих моделей и способен провести теоретико-математический анализ данных процессов, знает современные принципы работы оптоэлектронных приборов и систем, обобщенную схему оптоэлектронных систем, умеет осуществлять выбор источников, приемников излучения и методики их исследования, имеет опыт самостоятельного поиска, изучения и анализа специальной научной и методической литературы, оценка составляет 27-33 балла.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ оптоэлектронных приборов и систем, знает современные принципы работы оптоэлектронных приборов и систем, обобщенную схему оптоэлектронных систем, умеет осуществлять выбор источников, приемников излучения и методики их исследования, знает особенности различных типов фотоприемников, умеет описывать процессы, происходящие в приемниках излучения с помощью соответствующих моделей, проводит сравнительный анализ теорий, подходов, пределов применимости той или иной модели, способен провести теоретико-математический анализ физических явлений, определяющих предельно достижимые параметры и характеристики оптоэлектронных приборов и систем, знает пути и методы оптимизации параметров приемников излучения и ФПУ, владеет опытом самостоятельного поиска, изучения и анализа специальной научной и методической литературы, знает перспективы направления развития элементной базы оптоэлектронных приборов и систем, оценка составляет 34-40 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

#### 4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Фотоэлектроника»

1. Обобщенная схема оптоэлектронных систем (ОЭС). Общие характеристики оптоэлектронных систем (порог чувствительности, дальность действия и т.д.)
2. Источники и приемники излучения. Цели и фоны. Источники шума.
3. Оптическая система и система сканирования ОЭС.
4. Объектив. Основные представления. Относительное отверстие и светосила. Общие понятия о дифракционных ограничениях предельного разрешения объектива. Критерии разрешения двух точечных источников излучения.
5. Простейшие способы сканирования. Угол обзора, поле обзора. Мгновенное поле зрения.
6. Поле излучения и его структура. Виды полей излучения. Задачи и методы оптического поиска.
7. Оптимизация оптического поиска. Оптический поиск с использованием априорной и текущей информации.
8. Аппаратная реализация оптического поиска: двухстадийный и зонально-поэлементный поиск.
9. Назначение и классификация приемников излучения.

10. Многоэлементные фотоприемники и фотоприемные устройства. Их преимущества перед одиночными фотоприемниками.
11. Системы охлаждения фотоприемников.
12. Тепловые приемники излучения. Термопары. Устройство. Чувствительность. Быстродействие.
13. Тепловые приемники излучения. Боллометры. Устройство. Чувствительность. Быстродействие. Микроболлометрические матрицы.
14. Оптико-акустические приемники (ОАП) излучения. Селективные и неселективные ОАП.
15. Пироэлектрические приемники. Принцип работы. Устройство.
16. Внешний фотоэффект. Фотоэлектрические умножители (ФЭУ) и фотоэлементы.
17. Внутренний фотоэффект. ЭДС Дембера, фотомагнитный эффект, фотопроводимость, поверхностная фотоэдс, фотовольтаический эффект.
18. Электронно-оптические преобразователи и их параметры.
19. Энергетические характеристики источников излучения. Яркость и освещенность. Интегральные и спектральные характеристики. Излучение точечных и протяженных источников. Единицы измерения.
20. Основные параметры и характеристики ПИ. Шум.
21. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка и Вина. Равновесное тепловое и неравновесное излучение. Излучение абсолютно черного тела. Модели АЧТ.
22. Погрешности (абберации) оптических систем. Интерференция и дифракция. Дифракционные ограничения оптических систем. Предельное угловое разрешение.
23. Многоэлементные фотоприемники и фотоприемные устройства (ФПУ). Их преимущества перед одиночными ФП. Монолитные и гибридные ФПУ. Мультиплексоры.
24. Шумы в полупроводниковых фотоприемниках. Фотонный (фоновый), тепловой, дробовой, генерационно-рекомбинационный и токовый ( $1/f$ ) шумы.
25. Уравнения рекомбинации. Линейная и квадратичная рекомбинация. Понятие мгновенного времени жизни.
26. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Принцип детального равновесия и микроскопической обратимости. Излучательная рекомбинация.
27. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Оже-рекомбинация.
28. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация через уровни в запрещенной зоне.
29. Фотоактивное и нефотоактивное поглощение света. Фотоприемники на собственном и примесном поглощении. Зависимость края поглощения от температуры, давления, концентрации носителей заряда, магнитного и электрического полей.
30. Распределение фотовозбужденных носителей заряда по толщине полупроводника. Уравнение непрерывности, поверхностная рекомбинация.
31. Основы геометрической оптики, основные понятия: фокусное расстояние, относительное отверстие и светосила, построение изображений. Погрешности (абберации) оптических систем.
32. Солнечные преобразователи. Принцип работы. Коэффициент преобразования, причины ограничения и пути его увеличения.

## Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Фотоэлектроника», 3 семестр

### 1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам Излучение точечных и протяженных источников. Единицы измерения. Закон Ламберта. Равновесное тепловое и неравновесное излучение. Излучение абсолютно черного тела. Законы теплового излучения, Параметры приемников оптического излучения. Основные параметры и характеристики приемников излучения Шумы Внешний фотоэффект. Устройство и характеристики фотокатодов. Квантовый выход и ампер-ваттная чувствительность, один вариант включает 4 задания. Выполняется письменно .

### 2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если студент при решении всех задач допускает принципиальные ошибки . Оценка составляет 0-6 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если студент при решении двух задач допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные. Оценка составляет 7-9 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если студент при решении одной задачи допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные Оценка составляет 10-12 баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если студент не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи. Оценка составляет 13-15 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### 4. Пример варианта контрольной работы

Задание 1 Поток излучения  $\Phi_e$  от источника типа АЧТ в форме отверстия площадью  $A_1 = 1 \text{ мм}^2$  с энергетической светимостью  $M_e^0 = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{мм}^2}$  падает нормально на плоскость площадью  $A_2 = 3 \text{ мм}^2$ , находящуюся на расстоянии  $l = 1 \text{ м}$ . Найти  $\Phi_e$ , если плоскость отверстия и облучаемая плоскость параллельны. Указание: воспользоваться следствием из закона Ламберта.

Задание 2 Рассчитать интегральную чувствительность кремниевого фотодиода ФД-28КП к потоку излучения АЧТ с температурой **2856 K**.

Задание 3 Определить коэффициент яркости ЭОП ЭП-15, если световая отдача экрана  $\eta_v = 15 \frac{K\delta}{Bm}$ .

Задание 4 Фотоумножитель ФЭУ-28 с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом паспортizовался по источнику типа "А" с температурой **2856 K**. Найти удельный порог чувствительности фотоумножителя для излучения АЧТ с температурой **2360 K** в световых и энергетических фотометрических величинах .

## Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Фотоэлектроника», 3 семестр

### 1. Методика оценки

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны провести анализ объекта диагностирования, выбрать и обосновать диагностические признаки и параметры, описать физические процессы, протекающих в приемниках излучения, сделать анализ предельно достижимых параметров и характеристик оптоэлектронных приборов и систем, привести достоинства и недостатки данных устройств и области их практических применений.

Обязательные структурные части РГЗ.

- Введение
- Основная часть
- Выводы и заключение
- Список литературы

Оцениваемые позиции: основная часть, в которой должен быть анализ объекта диагностирования, физические основы принципа действия приемника излучения, теоретико-математический анализ основных параметров приемника излучения и его режимы работы, анализ предельно достижимых параметров и характеристик оптоэлектронных приборов и систем, и выводы и заключения в которых должны содержаться сведения о достоинствах и недостатках данного устройства, а также области практических применений.

### 2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, не указаны режимы работы и схемы включения рассматриваемого фотоприемного устройства, нет анализа особенностей данного фотоприемного устройства и его шумов, отсутствуют данные об области применения и перспективах развития данного фотоприемного устройства, оценка составляет 0-14 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, нет анализа особенностей данного фотоприемного устройства и его шумов, отсутствуют данные о перспективах развития данного фотоприемного устройства, оценка составляет 15-20 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ фотоприемного устройства выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, проведен теоретико-математический анализ процессов, положенных в основу принципа действия приемника и фотоприемного устройства в целом, проведен анализ особенностей данного фотоприемного устройства, его шумов и режимов работы, но нет анализа путей и методов оптимизации параметров, приведены данные об области применения и перспективах развития данного фотоприемного устройства, оценка составляет 21-25 балла.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ фотоприемного

устройства выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, проведен теоретико-математический анализ процессов, положенных в основу принципа действия приемника и фотоприемного устройства в целом, проведен анализ особенностей данного фотоприемного устройства, его шумов и режимов работы, проанализированы пути и методы оптимизации параметров ФПУ, приведены данные об области применения данного фотоприемного устройства, анализируются перспективы развития данного фотоприемного устройства, оценка составляет 26-30 баллов.

### **3. Шкала оценки**

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### **4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)**

1. Общая характеристика, области применения, классификация оптоэлектронных систем.
2. Общие принципы построения и функционирования оптических систем ОЭС.
3. Системы сканирования.
4. Ограничения в оптических системах: абберрации, дифракционные ограничения
5. Устройство современных фотоприемных устройств
6. Основы технологии изготовления современных фотоприемных устройств .
7. Перспективные направления развития современных фотоприемных устройств ИК диапазона.
8. Шумы и пороговая чувствительность лавинных фотодиодов.
9. Фотосигнал и шум фотоприемного устройства.
10. Минимизация шумов ФПУ
11. Эффективность оптико-электронных систем технического зрения. потенциал оптического изображения.