

«

»

“ ”

“ ”

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Приемники излучения и фотоприемные устройства**

: 11.03.04

, :

: 4, : 7

		<b>7</b>
<b>1</b>	( )	7
<b>2</b>		252
<b>3</b>	, .	72
<b>4</b>	, .	18
<b>5</b>	, .	36
<b>6</b>	, .	0
<b>7</b>	, .	24
<b>8</b>	, .	2
<b>9</b>	, .	16
<b>10</b>	, .	180
<b>11</b>	( , , )	.
<b>12</b>		

( ): 11.03.04

218 12.03.2015 ., : 07.04.2015 .

: 1, ,

( ): 11.03.04

, 5 20.06.2017

, 6 21.06.2017

:

, . . . . . . . . . .

:

. . . . ., . - . . . . . . . . .

:

. . . . .

# 1.

1.1

<b>Компетенция ФГОС: ОПК.7 способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности; в части следующих результатов обучения:</b>	
2.	
2.	
<b>Компетенция ФГОС: ПК.1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования; в части следующих результатов обучения:</b>	
6.	
8.	
1.	
4.	

# 2.

2.1

--	--

<b>.1. 6</b>	
1. классификацию приемников излучения и фотоприемных устройств	; ;
<b>.1. 8</b>	
2. принципы действия и параметры приемников излучения и фотоприемных устройств	; ;
<b>.7. 2</b>	
3. осуществлять выбор приемников излучения и фотоприемных устройств для регистрации оптических сигналов	; ;
<b>.1. 1</b>	
4. осуществлять выбор методики исследования приемников излучения и фотоприемных устройств для регистрации оптических сигналов	; ;
<b>.1. 4</b>	
5. решать задачи обработки данных с помощью современных фотоприемных устройств	; ;
<b>.7. 2</b>	
6. перспективы направления развития приемников излучения и элементной базы фотоприемных устройств	; ;

# 3.

3.1

--	--	--	--	--

:7			
:			
1.		0	2 2, 3, 5
:			
2.	( - ), , (1/f)	0	3 1, 3
:			
3.		0	6 2, 4, 5, 6
:			
4.		0	5 1, 2, 3, 4, 5, 6
:			
5.		0	2 1, 3, 4, 5, 6

3.2

	,			
:7				
:				



6.		9	12	2, 3, 4, 5	
----	--	---	----	------------	--

:

7.	( )	2	2	1, 2, 5, 6	
----	-----	---	---	------------	--

3.3

--	--	--	--	--	--

:7

:

1.		0	10	1, 2, 3, 4, 5, 6	
----	--	---	----	------------------	--

:

2.		0	20	2, 3, 4, 5, 6	
----	--	---	----	---------------	--

:

3.	.	0	10	2, 3, 4, 5, 6	
----	---	---	----	---------------	--

4.

: 7					
1			2, 3, 5	40	4
<p>3 :</p> <p>1991. - 240 .: .,</p> <p>2007</p>					
2			1, 2, 3, 4, 5, 6	50	4
<p>4 :</p> <p>1991. - 240 .: .,</p> <p>2007</p>					
3			1, 2, 3, 4, 5, 6	20	4
<p>2 :</p> <p>1991. - 240 .: .,</p> <p>2007</p>					
4			1, 2, 3, 4, 5, 6	30	4
<p>2 :</p> <p>1991. - 240 .: .,</p> <p>2007</p>					
5			1, 2, 3, 4, 5, 6	40	0
<p>3.3 :</p> <p>2007</p>					

5.

( .5.1).

5.1

	e-mail



2. Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника. Фоторезисторы и фотоприемные устройства : [учебное пособие для вузов по направлениям подготовки: 200400 - Опотехника; 200500 - Лазерная техника и лазерные технологии; 200700 - Фотоника и оптоинформатика] / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - Москва, 2012. - 363, [2] с. : ил., табл.
  3. Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды : [учебное пособие для вузов по направлениям подготовки: 200400 - Опотехника; 200500 - Лазерная техника и лазерные технологии; 200700 - Фотоника и оптоинформатика] / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - Москва, 2011. - 446, [2] с. : ил.
  4. Филачев А. М. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - М., 2010. - 125 с. : ил., табл.
  5. 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.
  6. 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)
  7. Розеншер Э. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер ; пер. с фр. под ред. О. Н. Ермакова. - М., 2006. - 588, [1] с. : ил., табл.
- 
1. Аксененко М. Д. Приемники оптического излучения : справочник. - М., 1987. - 295, [1] с.
  2. Справочник по приемникам оптического излучения / [В. А. Волков и др.] ; под ред.: Л. З. Криксунова, Л. С. Кременчугского. - Киев, 1985. - 215, [1] с. : ил., схемы
  3. Измерение параметров приемников оптического излучения / [Н. В. Васильченко и др.] ; под ред. Л. Н. Курбатова, Н. В. Васильченко. - М., 1983. - 318 с. : ил.
  4. 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
  5. Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника : учебник для вузов по направл. "Электроника и микроэлектроника" / А. Н. Пихтин. - М., 2001. - 573 с. : ил.
  6. Илюшин В. А. Многоэлементные фотоприемные устройства и тепловизоры : учебное пособие [для 5 курса РЭФ по специальностям 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 071400 "Физическая электроника"] / В. А. Илюшин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2003. - 57 с. : ил. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000028875](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000028875)
- 
1. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Н. Игнатов. - Санкт-Петербург : Лань, 2011. - 544 с. - Режим доступа : <http://www.novsu.ru/file/1205090>. - Загл. с экрана.
  2. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
  3. 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.
  4. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>

5. Гридчин В.А., Неизвестный И.Г., Шумский В.Н. Физика микросистем [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В.А. Гридчин, И.Г. Неизвестный, В.Н. Шумский. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2006. - Ч.2. - 496с. - Режим доступа : [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000066370](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000066370). - Загл. с экрана.

6. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>

7. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>

8. :

## 8.

### 8.1

1. Тарасов В. В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения : учеб / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков. - М., 2007

### 8.2

1 Microsoft Office

2 Microsoft Windows

## 9.

-

1		

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. Хрусталева  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### **Приемники излучения и фотоприемные устройства**

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, профиль:  
Микроэлектроника и микроэлектроника

### 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Приемники излучения и фотоприемные устройства 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)
ОПК.7 способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности	32. перспективы направления развития приемников излучения и элементной базы фотоприемных устройств	Тепловые фотоприемники. Уравнение теплового баланса для теплового приемника. Расчет шумов фотоприемников. Оценка предельных значений пороговых потоков и чувствительности тепловых приемников излучения. Чувствительность пироэлектрических приемников излучения. Расчет термоэлектрического сенсора теплового потока. Компенсационная схема для болометров Многоэлементные фотоприемники и фотоприемные устройства (ФПУ). Монолитные и гибридные ФПУ Пироэлектрические приемники излучения. Устройство и принцип действия. Шумы и обнаружительная способность пироэлектрических приемников излучения. Выбор материала для пироэлектрического приемника излучения. Принцип действия и устройство тепловых приемников излучения. Шумы в тепловых приемниках излучения. Принцип действия термопары. Термобатарей. Теоретическое описание термобатарей. Эффект Пелтье. Принцип действия болометров. Теория примесной фотопроводимости. Примесные фоторезисторы. Поперечная и продольная структуры примесных фоторезисторов. Фоторезисторы на квантово-размерных структурах. Лавинный фотодиод. Устройство, принцип действия. Коэффициент ударной ионизации. Типы лавинных	Контрольные работы РГЗ, разделы 1-2, 5-6, 8-13, 17, 20-22	Экзамен, вопросы 2, 4-17, 21-27, 29-32

		<p>фотодиодов. P-i-n фотодиоды и диоды Шоттки. Шумы и обнаружительная способность фотодиодов. Устройство и принципы функционирования современных многоэлементных фотоприемников и фотоприемных устройств. Приемники оптических изображений. МДП - структуры и приборы с зарядовой связью. Приборы с зарядовой инжекцией.. Шумы фотоприемных устройств. Перспективные области применения и тенденции развития. Фотонные приемники излучения. Классификация и режимы работы фотонных приемников излучения. Фотоэлектрические явления в однородных полупроводниках. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости: линейная и квадратичная рекомбинация. Принцип действия фоторезистора. Характеристики, параметры, шумы и схемы включения. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. Принцип действия и режимы работы фотодиодов. Спектральная зависимость фототока фотодиодов.</p>		
ОПК.7	у2. осуществлять выбор приемников излучения и фотоприемных устройств для регистрации оптических сигналов	<p>Тепловые фотоприемники. Уравнение теплового баланса для теплового приемника. Расчет шумов фотоприемников. Оценка предельных значений пороговых потоков и чувствительности тепловых приемников излучения. Чувствительность пироэлектрических приемников излучения. Расчет термоэлектрического сенсора теплового потока. Компенсационная схема для болометров 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</p>	Контрольные работы РГЗ, разделы 1-20	Экзамен, вопросы 1-3, 6-17, 19-30

		<p>Вина. Источники излучения. Поглощение излучения в атмосфере. Коэффициент пропускания атмосферы. Пересчет параметров из энергетической системы единиц в светотехническую и обратно. Классификация приемников излучения. Основные параметры и характеристики приемников излучения. Чувствительность. Быстродействие. Пороговая чувствительность. Обнаружительная способность. Интегральные и спектральные параметры. Шумы. Фотонный (фоновый), тепловой, дробовой, генерационно-рекомбинационный и токовый (1/f) шумы. Оптическое излучение. Энергетические и фотометрические единицы измерения и соотношение между ними. 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. Законы теплового излучения. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка и Вина. Источники и приемники излучения. Цели и фоны. Определения и термины. Окна прозрачности атмосферы. Пироэлектрические приемники излучения. Устройство и принцип действия. Шумы и обнаружительная способность пироэлектрических приемников излучения. Выбор материала для пироэлектрического приемника излучения. Приемники оптического излучения. Интегральные и спектральные параметры. Расчет характеристик: интегральная и спектральная чувствительности, удельный порог чувствительности, обнаружительная способность. Шумы. Расчет параметров фотонных приемников излучения. Оценка максимального выходного сигнала и максимальной</p>		
--	--	---	--	--

	<p>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. Теория примесной фотопроводимости. Примесные фоторезисторы. Поперечная и продольная структуры примесных фоторезисторов. Фоторезисторы на квантово-размерных структурах. Лавинный фотодиод. Устройство, принцип действия. Коэффициент ударной ионизации. Типы лавинных фотодиодов. P-i-n фотодиоды и диоды Шоттки. Шумы и обнаружительная способность фотодиодов. Устройство и принципы функционирования современных многоэлементных фотоприемников и фотоприемных устройств. Приемники оптических изображений. МДП - структуры и приборы с зарядовой связью. Приборы с зарядовой инжекцией. Шумы фотоприемных устройств. Перспективные области применения и тенденции развития. Фотонные приемники излучения. Классификация и режимы работы фотонных приемников излучения. Фотоэлектрические явления в однородных полупроводниках. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости: линейная и квадратичная рекомбинация. Принцип действия фоторезистора. Характеристики, параметры, шумы и схемы включения. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. Принцип действия и режимы работы фотодиодов. Спектральная зависимость фототока фотодиодов.</p>		
--	---	--	--

<p>ПК.1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования</p>	<p>36. классификацию приемников излучения и фотоприемных устройств</p>	<p>Классификация приемников излучения . Основные параметры и характеристики приемников излучения. Чувствительность. Быстродействие. Пороговая чувствительность. Обнаружительная способность. Интегральные и спектральные параметры. Шумы. Фотонный (фоновый), тепловой, дробовой, генерационно-рекомбинационный и токовый (1/f) шумы. Многоэлементные фотоприемники и фотоприемные устройства (ФПУ). Монолитные и гибридные ФПУ Устройство и принципы функционирования современных многоэлементных фотоприемников и фотоприемных устройств. Приемники оптических изображений. МДП - структуры и приборы с зарядовой связью. Приборы с зарядовой инжекцией.. Шумы фотоприемных устройств. Перспективные области применения и тенденции развития.</p>	<p>Контрольные работы РГЗ, разделы 1-20</p>	<p>Экзамен, вопросы 3-5, 12, 15,25, 28-29</p>
<p>ПК.1</p>	<p>38. принципы действия и параметры приемников излучения и фотоприемных устройств</p>	<p>Тепловые фотоприемники. Уравнение теплового баланса для теплового приемника. Расчет шумов фотоприемников. Оценка предельных значений пороговых потоков и чувствительности тепловых приемников излучения. Чувствительность пироэлектрических приемников излучения. Расчет термоэлектрического сенсора теплового потока. Компенсационная схема для болометров 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</p>	<p>Контрольные работы РГЗ, разделы 1-20</p>	<p>Экзамен, вопросы 4-8, 10-13, 15-18, 20-27, 31-32</p>

		<p>единиц в светотехническую и обратно. Многоэлементные фотоприемники и фотоприемные устройства (ФПУ). Монолитные и гибридные ФПУ Оптическое излучение. Энергетические и фотометрические единицы измерения и соотношение между ними. 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. Законы теплового излучения. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка и Вина. Источники и приемники излучения. Цели и фоны. Определения и термины. Окна прозрачности атмосферы Пироэлектрические приемники излучения. Устройство и принцип действия. Шумы и обнаружительная способность пироэлектрических приемников излучения. Выбор материала для пироэлектрического приемника излучения. Приемники оптического излучения. Интегральные и спектральные параметры. Расчет характеристик: интегральная и спектральная чувствительности, удельный порог чувствительности, обнаружительная способность. Шумы. Принцип действия и устройство тепловых приемников излучения. Шумы в тепловых приемниках излучения. Принцип действия термобатарей. Термобатарей. Теоретическое описание термобатарей. Эффект Пелтье. Принцип действия болометров. 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</p>		
--	--	--	--	--

		<p>фотометрических величинах. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в энергетических фотометрических величинах для излучения одного источника в параметры для излучения другого источника. Теория примесной фотопроводимости. Примесные фоторезисторы. Поперечная и продольная структуры примесных фоторезисторов. Фоторезисторы на квантово-размерных структурах. Лавинный фотодиод. Устройство, принцип действия. Коэффициент ударной ионизации. Типы лавинных фотодиодов. Р-і-n фотодиоды и диоды Шоттки. Шумы и обнаружительная способность фотодиодов. Фотонные приемники излучения. Классификация и режимы работы фотонных приемников излучения. Фотоэлектрические явления в однородных полупроводниках. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости: линейная и квадратичная рекомбинация. Принцип действия фоторезистора. Характеристики, параметры, шумы и схемы включения. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. Принцип действия и режимы работы фотодиодов. Спектральная зависимость фототока фотодиодов.</p>		
ПК.1	у1. осуществлять выбор методики исследования приемников излучения и фотоприемных устройств для регистрации оптических сигналов	<p>Тепловые фотоприемники. Уравнение теплового баланса для теплового приемника. Расчет шумов фотоприемников. Оценка предельных значений пороговых потоков и чувствительности тепловых приемников излучения. Чувствительность пирозлектрических приемников излучения. Расчет термоэлектрического сенсора теплового потока. Компенсационная схема для болометров Энергетические и светотехнические единицы измерения. Фотометрические величины и фотометрические расчеты. Излучение точечных и протяженных источников.</p>	Контрольные работы РГЗ, разделы 1,3, 5, 7-17, 19-20	Экзамен, вопросы 4—5, 7-11, 13-14, 17, 21, 29-32

		<p>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. Пироэлектрические приемники излучения. Устройство и принцип действия. Шумы и обнаружительная способность пироэлектрических приемников излучения. Выбор материала для пироэлектрического приемника излучения. Принцип действия и устройство тепловых приемников излучения. Шумы в тепловых приемниках излучения. Принцип действия термопары. Термобатареи. Теоретическое описание термобатареи. Эффект Пелтье. Принцип действия болометров. 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. Теория примесной фотопроводимости. Примесные фоторезисторы. Поперечная и продольная структуры примесных фоторезисторов. Фоторезисторы на квантово-размерных структурах. Лавинный фотодиод. Устройство, принцип действия. Коэффициент ударной</p>		
--	--	---	--	--

		<p>ионизации. Типы лавинных фотодиодов. P-i-n фотодиоды и диоды Шоттки. Шумы и обнаружительная способность фотодиодов. Устройство и принципы функционирования современных многоэлементных фотоприемников и фотоприемных устройств. Приемники оптических изображений. МДП - структуры и приборы с зарядовой связью. Приборы с зарядовой инжекцией.. Шумы фотоприемных устройств. Перспективные области применения и тенденции развития. Фотонные приемники излучения. Классификация и режимы работы фотонных приемников излучения. Фотоэлектрические явления в однородных полупроводниках. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости: линейная и квадратичная рекомбинация. Принцип действия фоторезистора. Характеристики, параметры, шумы и схемы включения. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. Принцип действия и режимы работы фотодиодов. Спектральная зависимость фототока фотодиодов. Фотосигнал и шум фотоприемного устройства. Минимизация шумов ФПУ</p>		
ПК.1	у4. решать задачи обработки данных с помощью современных фотоприемных устройств	<p>Тепловые фотоприемники. Уравнение теплового баланса для теплового приемника. Расчет шумов фотоприемников. Оценка предельных значений пороговых потоков и чувствительности тепловых приемников излучения. Чувствительность пироэлектрических приемников излучения. Расчет термоэлектрического сенсора теплового потока. Компенсационная схема для болометров 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.</p>	Контрольные работы РГЗ, разделы 2, 4-5, 17-18, 20-22	Экзамен, вопросы 8, 10, 12, 19, 22-27, 29-32

		<p>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. Многоэлементные фотоприемники и фотоприемные устройства (ФПУ). Монолитные и гибридные ФПУ Оптическое излучение. Энергетические и фотометрические единицы измерения и соотношение между ними. 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. Законы теплового излучения. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка и Вина. Источники и приемники излучения. Цели и фоны. Определения и термины. Окна прозрачности атмосферы Пирозлектрические приемники излучения. Устройство и принцип действия. Шумы и обнаружительная способность пирозлектрических приемников излучения. Выбор материала для пирозлектрического приемника излучения. Приемники оптического излучения. Интегральные и спектральные параметры. Расчет характеристик: интегральная и спектральная чувствительности, удельный порог чувствительности, обнаружительная способность. Шумы. Принцип действия и устройство тепловых приемников излучения. Шумы в тепловых приемниках излучения. Принцип действия термопары. Термобатарей. Теоретическое описание термобатарей. Эффект Пелтье. Принцип действия болометров. 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. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных в энергетических фотометрических величинах для излучения одного источника в параметры для излучения другого источника. Теория примесной фотопроводимости. Примесные фоторезисторы. Поперечная и продольная структуры примесных фоторезисторов. Фоторезисторы на квантово-размерных структурах. Лавинный фотодиод. Устройство, принцип действия. Коэффициент ударной ионизации. Типы лавинных фотодиодов. Р-і-п фотодиоды и диоды Шоттки. Шумы и обнаружительная способность фотодиодов. Устройство и принципы функционирования современных многоэлементных фотоприемников и фотоприемных устройств. Приемники оптических изображений. МДП - структуры и приборы с зарядовой связью. Приборы с зарядовой инжекцией. Шумы фотоприемных устройств. Перспективные области применения и тенденции развития. Фотонные приемники излучения. Классификация и режимы работы фотонных приемников излучения. Фотоэлектрические явления в однородных полупроводниках. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости: линейная и квадратичная рекомбинация. Принцип действия фоторезистора. Характеристики, параметры, шумы и схемы включения. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. Принцип действия и режимы</p>		
--	--	--	--	--

		работы фотодиодов. Спектральная зависимость фототока фотодиодов.		
--	--	--	--	--

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

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 7 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.7, ПК.1.

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 7 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 ОПК.7, ПК.1, 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 «Приемники излучения и фотоприемные устройства», 7 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 «Приемники излучения и фотоприемные устройства»

---

1. Оптическое излучение. Энергетические и светотехнические единицы измерения. Функция видности. Оптические свойства атмосферы.
2. Фоторезисторы: параметры, шумы.

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 знает классификацию и принцип действия приемников излучения, не умеет осуществлять выбор приемников излучения и фотоприемных устройств для регистрации оптических сигналов, оценка составляет 0-19 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, знает основные параметры фотоприемников, их классификацию и принцип действия, умеет осуществлять выбор приемников излучения и фотоприемных устройств для регистрации оптических сигналов, оценка составляет 20-26 балла.
- Ответ на экзаменационный билет билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент

при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, знает основные параметры фотоприемников, их классификацию и принцип действия, умеет описывать процессы, происходящие в приемниках излучения с помощью соответствующих моделей и способен провести теоретико-математический анализ данных процессов, проводит анализ причин шумов и знает методы их устранения, оценка составляет 27-33 балла.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ, теорий, подходов, пределов применимости той или иной модели, способен провести теоретико-математический анализ данных процессов, знает пути и методы оптимизации параметров приемников излучения и ФПУ, проводит анализ причин шумов и знает методы их устранения, знает основные параметры фотоприемников, их классификацию и принцип действия, знает особенности различных типов фотоприемников, умеет описывать процессы, происходящие в приемниках излучения с помощью соответствующих моделей, 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 «Приемники излучения и фотоприемные устройства»

1. Оптическое излучение. Энергетические и светотехнические единицы измерения. Функция видности. Оптические свойства атмосферы.
2. Тепловое излучение. Понятие АЧТ. Законы АЧТ.
3. Классификация приемников оптического излучения.
4. Шумы приемников оптического излучения.
5. Параметры приемников оптического излучения: чувствительность, обнаружительная способность, NEP.
6. Принцип действия тепловых приемников. Понятие теплового сопротивления.
7. Шумы тепловых приемников.
8. Термоэлементы. Принцип действия термопары. Чувствительность и обнаружительная способность.
9. Выбор материала для термобатареи.
10. Принцип действия болометров (терморезисторов) и схема включения. Параметры и характеристики, достоинства и недостатки, применение.
11. Типы болометров. Шумы болометров.
12. Пирозлектрические приемники. Особенности и области применения.
13. Шумы и обнаружительная способность пирозлектрических приемников.
14. Выбор материала для пирозлектрического фотоприемника.
15. Фотонные приемники излучения. Принцип действия и режимы работы.
16. Фотоэлектрические явления в однородных полупроводниках. Фоторезисторы.
17. Фоторезисторы : параметры, шумы.
18. Релаксация фотопроводимости.
19. Примесные фоторезисторы. Продольная и поперечная конфигурации.

20. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. Принцип действия фотодиода.
21. Шумы и обнаружительная способность фотодиодов.
22. Лавинный фотодиод.
23. Типы лавинных фотодиодов.
24. P-i-n фотодиод.
25. МДП- структуры в качестве фотоприемников. Приборы с зарядовой связью.
26. Приемники изображения на ПЗС.
27. Приборы с зарядовой инжекцией.
28. ФПУ. Классификация ФПУ.
29. Основные типы ФПУ. Одноканальные и мозаичные ФПУ.
30. Основные шумы ФПУ.
31. Чувствительность тепловых приемников и предельная обнаружительная способность.
32. Спектральная зависимость фототока фотодиода.

## Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Приемники излучения и фотоприемные устройства», 7семестр

### 1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам Энергетические и светотехнические единицы измерения. Фотометрические величины и фотометрические расчеты, 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, Расчет параметров фотонных приемников излучения. Пересчет параметров селективных приемников оптического излучения, заданных для излучения одного источника в параметры для излучения другого источника, Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах. Принцип действия и режимы работы фотодиодов, 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 0-9 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если студент при решении трех задач допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Оценка составляет 10-13 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если студент при решении одной задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Оценка составляет 14-16 баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если студент не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи. Оценка составляет 17-20 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. Вычислить монохроматические световые потоки  $d\Phi_{\nu,1}(\lambda_1)$ ,  $d\Phi_{\nu,2}(\lambda_2)$ ,  $d\Phi_{\nu,3}(\lambda_3)$  источника излучения с линейчатым спектром на длинах волн  $\lambda_1 = 0,45$  мкм,  $\lambda_2 = 0,55$  мкм,  $\lambda_3 = 0,65$  мкм, если каждый из

соответствующих потоков излучения равен **2 Вт**.

Задание 2. Найти световой поток и освещённость, создаваемую этим потоком на плоскости площадью **3 мм<sup>2</sup>**, находящейся на расстоянии **1 м** от АЧТ площадью **1 мм<sup>2</sup>** с температурой **2856 К**. Поверхность излучателя параллельна освещаемой поверхности, которая перпендикулярна падающему излучению.

Задание 3. Рассчитать интегральную чувствительность кремниевого фотодиода ФД-28КП к потоку излучения ЧТ с температурой **2856 К**

Задание 4. Пересчитать интегральную чувствительность и пороговый поток кремниевого фотодиода ФД-24К из световых ФМВ в энергетические по паспортному источнику типа "А" (ЧТ с температурой **2856 К**)

## **Паспорт расчетно-графического задания (работы)**

по дисциплине «Приемники излучения и фотоприемные устройства», 7 семестр

### **1. Методика оценки**

В рамках расчетно-графического задания по дисциплине студенты должны рассчитать параметры входных и выходных сигналов приемников оптического излучения в соответствии с исходными данными.

При выполнении расчетно-графического задания студенты должны провести анализ основных параметров и шумов приемника излучения, указать пути оптимизации параметров данного приемника излучения, проанализировать особенности рассматриваемого приемника излучения, указать режимы работы и схемы включения, привести достоинства и недостатки данного приемника, и области 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, и выводы и заключения в которых должны содержаться сведения о достоинствах и недостатках данного устройства, области практических применений и перспективы направления развития приемников излучения рассматриваемого типа.

### **2. Критерии оценки**

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, не приведены основные виды шумов, не указаны режимы работы и схемы включения рассматриваемого приемника, нет анализа особенностей данного приемника, при расчете входных и выходных параметров приемника допущены принципиальные ошибки, оценка составляет 0-9 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 приемника, его шумов и режимов работы, при расчете входных и выходных параметров приемника допущены непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 10-13 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ приемника излучения выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, проведен теоретико-математический анализ процессов, положенных в основу принципа действия приемника, проведен анализ особенностей данного приемника, его шумов и режимов работы, нет ошибок при расчете входных и выходных параметров приемника, но нет анализа путей и методов оптимизации параметров, оценка составляет 14-16

баллов.

- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ приемника излучения выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, проведен теоретико-математический анализ процессов, положенных в основу принципа действия приемника, проведен анализ особенностей данного приемника, его шумов и режимов работы, проанализированы пути и методы оптимизации параметров приемников излучения и ФПУ, нет ошибок при расчете входных и выходных параметров приемника, оценка составляет 17-20 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. Сверхпроводящие болометры.
2. Болометрические матрицы фокальной плоскости.
3. Кремниевые терморезисторы.
4. Матрицы фокальной плоскости на основе термобатарей.
5. Пироэлектрические видиконы.
6. Области применения пироэлектрических приемников.
7. Оптико-акустические приёмники (элементы Голея).
8. Фоторезисторы, использующие эффект вытягивания (фоторезисторы с затененными контактами и спрайт-фоторезисторы).
9. Фоторезисторы, чувствительные в ультрафиолетовой области спектра и их применение.
10. Фоторезисторы на основе структур с квантовыми точками (QDIP–фоторезисторы).
11. Фотодиоды на основе квантово-размерных структур.
12. Ультрафиолетовые фотодиоды
13. Солнечно- и видимо-слепые фотодиоды.
14. Германиевые фотодиоды.
15. Фотодиоды на основе барьера Шоттки.
16. Лавинные фотодиоды с отдельными областями поглощения и умножения.
17. Фоторезисторы на основе множественных квантовых ям.
18. Матрицы фокальной плоскости на основе термобатарей.
19. Диэлектрические болометры.
20. Лавинные фотодиоды на основе гетероструктур.
21. МФПУ на основе ПЗС
22. МФПУ на основе ПЗИ

Вариант задания для расчета входных и выходных сигналов приемников оптического излучения

**Задание.** Рассчитать: 1) поток излучения, падающий на фотодиод ФД-4Г в интервале спектра от  $1,2$  до  $1,7$  мкм от АЧТ с температурой  $2898$  К и площадью  $1$  см<sup>2</sup>, находящегося на расстоянии  $10$  м от фотодиода; 2) фототок в режиме короткого замыкания, если фотодиод паспортизовался по АЧТ с температурой  $2856$  К. Указание. Считать спектральную чувствительность фотодиода в этом диапазоне постоянной и равной максимальному значению.