


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
оптики и спектроскопии

  
подпись

Овчинников О.В.

21.06.2023г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.06 Приёмники оптического излучения

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптикоинформатика
2. Профиль подготовки: Перспективные материалы и устройства фотоники
3. Квалификация выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Смирнов Михаил Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 20.06.2023
8. Учебный год: 2024/2025 Семестр(ы): 3

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целью освоения учебной дисциплины является:* формирование профессиональной компетенции в области детектирования излучения оптического диапазона, закономерностей подходящих для этой цели процессов взаимодействия света с полупроводниковыми кристаллами и наноструктурами, подходов к систематизации данных и способах анализа научно-технической проблемы и литературы методик экспериментального исследования перспективных материалов и моделирования процессов в устройствах фотоники.

*Задачи учебной дисциплины:*

- обеспечить умение применять, знания, полученные при изучении базовых физических дисциплин в междисциплинарных областях для анализа принципов построения приемников оптического излучения;
- изучить с физические основы современных технологий в фото-детектировании;
- освоить подходы к систематизации данных и способам анализа научно-технической проблемы и литературы методик экспериментального исследования перспективных материалов и моделирования процессов в приемниках оптического излучения.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** учебная дисциплина Б1.В.06 «Приемники оптического излучения» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока Б1.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен к анализу состояния научно-технической проблемы и постановке цели и задач проводимых научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников	ПК-1.1	Составляет план поиска научно-технической информации по созданию материалов и разработке устройств фотоники	<b>знать:</b> основные подходы к систематизации данных и способы анализа научно-технической проблемы и литературы <b>уметь:</b> анализировать состояние научно-технической проблемы и ставить цель и задачи для проведения научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников <b>владеть:</b> современными подходами к анализу состояния научно-технической проблемы, методами решения задач при проведении научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников способами решения научно-инновационных задач
ПК-2	Способен экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники	ПК-2.1	Формулирует задачи для выявления принципов и путей создания перспективных материалов, моделирует процессы в устройствах фотоники	<b>знать:</b> методики экспериментального исследования перспективных материалов и моделирования процессов в устройствах фотоники <b>уметь:</b> экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники <b>владеть:</b> современными методами и подходами к экспериментальному исследованию перспективных материалов и моделированию

		ПК-2.2	Осуществляет подбор оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, разрабатывает методики оптических и фотонных исследований	процессов в устройствах фотоники
		ПК-2.3	Проводит, обрабатывает и анализирует результаты исследований, составляет научно-исследовательские отчеты	
ПК-3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники	ПК-3.1	Проводит научные исследования в области фотоники, используя специализированное исследовательское оборудование, приборы и установки	<p><b>знать:</b> подходы и критерии для выбора научно-исследовательского и технологического оборудования с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники</p> <p><b>уметь:</b> формулировать критерии для выбора научно-исследовательского и технологического оборудования с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники</p> <p><b>владеть:</b> навыками выбора научно-исследовательского и технологического оборудования с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники</p>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 4 / 144.**

**Форма промежуточной аттестации экзамен**

### 13 Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			3
Аудиторные занятия		60	30
в том числе:	лекции	30	30
	практические		
	лабораторные	30	30
Самостоятельная работа		48	48
Форма промежуточной аттестации (экзамен — <u>36 час.</u> )		36	36
Итого:		144	144

#### 13.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Введение. Назначение фотоприёмников.	Назначение фотоприёмников. Классификация фотоприёмников и фотоприёмных устройств. Параметры и характеристики приемников оптического излучения. Связь различных параметров приемников излучения.
1.2	Тепловые фотоприёмники.	Термоэлементы. Болометры. Оптико-акустические приемники излучения. Пирозлектрические приемники. Радиационные калориметры. Приемники на основе термоупругого эффекта в кристаллическом кварце.
1.3	Фотоприёмники на внешнем фотоэффекте.	Физические основы и принцип действия. Электровакуумные фотоэлементы и фотоэлектронные умножители. Диссекторы. Электронно-оптические преобразователи.
1.4	Фотоприёмники на внутреннем фотоэффекте.	Принцип действия приемников излучения на основе внутреннего фотоэффекта. Фоторезисторы. Фотодиоды. Фототранзисторы. Фототиристоры. Приемники излучения с внутренним усилением фототока.
1.5	Многоэлементные приемники излучения.	Многоэлементные приемники излучения на основе фотодиодов и фоторезисторов. Многоэлементные фотоприёмные устройства на основе приборов с зарядовой связью. Многоэлементные приемники излучения на основе приборов с зарядовой инжекцией.
<b>2. Лабораторные работы</b>		
2.1	Характеристики кремниевого фотодиода	Устройство кремниевых фотодиодов. Область спектральной чувствительности, порог чувствительности, динамический диапазон работы, постоянная времени.

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1.1	Введение. Назначение фотоприёмников.	4			5	6	15
1.2	Тепловые фотоприёмники.	4			5	6	15
1.3	Фотоприёмники на внешнем фотоэффекте.	4			5	6	15
1.4	Фотоприёмники на внутреннем фотоэффекте.	10			5	6	21
1.5	Многоэлементные приемники излучения.	8			4	6	18
2.1	Характеристики кремниевого фотодиода			30	24	6	60
	Итого	30		30	48	36	144

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными этапами освоения дисциплины являются:

1. Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения

теоретических положений, разрешения спорных ситуаций

2. Лабораторные занятия. При подготовке к лабораторным занятиям студентам рекомендуется: внимательно ознакомиться с тематикой лабораторной работы, прочесть конспект лекции по теме, изучить рекомендованную литературу; составить краткий конспект, в котором указать цель работы, оборудование, описание установки и методики измерения; проверить свои знания, отвечая на вопросы для самопроверки; если встретятся незнакомые термины, обязательно обратиться к словарю и зафиксировать их в тетради; при затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю

3. Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.

4. Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется: изучить конспекты лекции, учебную литературу, ознакомиться с основными методами решения задач, самостоятельно решить задачи, использовать электронный образовательный портал Moodle (электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации). Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

## 15. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ишанин, Г.Г. Приемники оптического излучения / Г.Г. Ишанин, В.П. Челибанов – СПб.: Лань, 2022. - 304 с. — ISBN 978-5-8114-1048-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/211730">https://e.lanbook.com/book/211730</a> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Ишанин Г.Г. Приемники оптического излучения на внешнем фотозффе́кте / Г.Г. Ишанин, Н.К. Мальцева. – СПб НИУ ИТМО. 2013. – 103
3	Ишанин, Г.Г. Источники и приемники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов / Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев, Г.В. Польшиков. — СПб.: Политехника, 1991.— 240 с.
4	Панков, Ж. Оптические процессы в полупроводниках / Ж. Панков ; пер. с англ. под ред. Ж.И. Алферова и В.С. Вавилова .— Москва. : Мир, 1973 .— 456 с.
5	Бараночников М.Л. Приёмники и детекторы излучений. Справочник. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 1041 с.
6	Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках / В.П. Грибковский .— Минск : Наука и техника, 1975 .— 463 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

**(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)**

№ п/п	Источник
1	Блейкмор, Дж. Физика твердого тела / Дж. Блейкмор ; Пер. с англ. под ред. Д. Г. Андрианова, В. И. Фистуля. — Москва. : Мир, 1988. — 608 с.
2	Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках / В.П. Грибковский. — Минск : Наука и техника, 1975. — 463 с.
3	Галанин, М.Д. Люминесценция молекул и кристаллов / М.Д.Галанин ; Рос.акад.наук, Физ.ин-т им. П.Н.Лебедева, УНЦ "Фундамент. оптика и спектроскопия". — Москва., 1999. — 199 с.

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

В учебном процессе используются традиционные и дистанционные образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и лабораторные занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения устных вопросов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, цели занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Озвучивание темы следующего занятия.

Организационная структура лабораторного занятия: 1. Формулировка целей занятия и ответы на вопросы студентов. 2. Ознакомление с теоретической основой работы, основными приемами и техникой безопасности при работе с используемыми приборами и реактивами. 3. Выполнение экспериментальной части работы. 4. Обработка экспериментальных результатов и предоставление их для предварительной проверки преподавателю.

Защита лабораторной работы проводится с целью выявления уровня освоения материала по тематике работы, способности дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы. Защита работы заключается в оформлении работ, устной беседе преподавателя со студентом по полученным в работе результатам и основным теоретическим понятиям по теме работы.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «MOOK ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount, ANSYSHFACademicResearch фотоприемник PDF-10C/M, лазерный модуль/блок питания поворотного крепления, фотоэлектронный умножитель 928P, ПЗС-линейка ToshibaTCD1304AP, волоконно-оптический спектральный комплекс OceanOptics на базе спектрометра USB-2000+XR1 с источником излучения USB-DT, и набором зондов для измерения диффузного ISP-80-8-R и зеркального отражения RSS-VA и люминесценции R400-7-SR, пропускания и люминесценции жидких и твердых образцов CUV-VAR и CUV-ALL-UV

Пакет ПО для управления спектрофотометром USB 2000+ (OceanOptics), для анализа и обработки данных, WinPro 8, OfficeStandard 2019

**19. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.1	Введение. Назначение фотоприёмников.	ПК-1 ПК-2 ПК-3	ПК-1.1, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1.	Вопросы, тесты, задачи
1.2	Тепловые фотоприёмники.	ПК-1 ПК-2 ПК-3	ПК-1.1, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1.	Вопросы, тесты, задачи
1.3	Фотоприёмники на внешнем фотоэффекте.	ПК-1 ПК-2 ПК-3	ПК-1.1, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1.	Вопросы, тесты, задачи
1.4	Фотоприёмники на внутреннем фотоэффекте.	ПК-1 ПК-2 ПК-3	ПК-1.1, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1.	Вопросы, тесты, задачи
1.5	Многоэлементные приемники излучения.	ПК-1 ПК-2 ПК-3	ПК-1.1, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1.	Вопросы, тесты, задачи
2.1	Характеристики кремниевого фотодиода	ПК-1 ПК-2 ПК-3	ПК-1.1, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1.	Вопросы, тесты, задачи
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Комплект КИМ

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Типовые задания теста, вопросы и задачи представлены в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины.

### 20.1. Текущая аттестация

**Текущая аттестация №1** проводится по результатам выполнения лабораторной работы.

- «зачтено» – составлен конспект, в котором указаны: цель работы, оборудование, теоретические основы работы, приведено описание установки и методики измерения; получен допуск к выполнению работы по итогу устной беседы с преподавателем по содержанию конспекта.
- «не зачтено» – конспект к лабораторной работе не составлен или содержит ошибки; не получен допуск к выполнению работы по итогу устной беседы с преподавателем по содержанию работы.

**Текущая аттестация №2** проводится по результатам выполнения лабораторных работ.

**Критерии и шкалы оценивания**

- «зачтено» – выполнена экспериментальная часть работы, обработаны результаты измерений, получен окончательный результат и сделаны выводы, оформлен отчет. В устной беседе с преподавателем студент «защитил» работу продемонстрировав: достаточный уровень освоения материала по тематике работы; способность дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы.
- «не зачтено» – экспериментальная часть работы не выполнена; в устной беседе с преподавателем студент не показал достаточный уровень освоения материала по тематике работы.

### 20.2. Промежуточная аттестация

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен.

Оценка за экзамен может быть выставлена по результатам текущей успеваемости обучающегося в течение семестра на заключительном занятии. Оценки вносятся в аттестационную ведомость. При несогласии студента с оценкой последний вправе сдавать экзамен на общих основаниях.

Экзамен проводится в письменной форме. Каждый КИМ включает два теоретических вопроса (и задачу (вопросы к экзамену и задачи см. в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины). Обучающийся готовит ответы на вопросы КИМа на бланках ответа и устно отвечает преподавателю. Оценивается правильность и полнота ответа на каждый вопрос, при решении задачи оценивается: знание физических основ (явлений, законов, формул), необходимых для ее решения; наличие математических преобразований; правильный ответ. Время подготовки ответа не более 45 мин, время ответа не более 15 мин.

#### **Пример КИМ:**

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии  
\_\_\_\_\_ Овчинников О.В.  
подпись, расшифровка подписи  
\_\_\_\_\_.20\_\_

Направление подготовки 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

Дисциплина \_\_\_\_\_ Приемники оптического излучения

Форма обучения \_\_\_\_\_ очная

Вид контроля \_\_\_\_\_ экзамен

Вид аттестации \_\_\_\_\_ промежуточная

#### ***Контрольно-измерительный материал № 1***

1. Оптико-акустические приемники излучения.
2. Многоэлементные приемники излучения на основе фотодиодов и фоторезисторов.
3. Во сколько раз уменьшится темновой ток фотодиода с шириной запрещенной зоны полупроводника 0.4 эВ, если температуру с 300 К понизить до 250 К?

Преподаватель \_\_\_\_\_ Смирнов М. С.

#### **Критерии и шкалы оценивания КИМ:**

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

##### **1) ответ на теоретические вопрос:**

- \_\_\_\_ 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- \_1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- \_ 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

##### **2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:**

- 2 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);

- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;

- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за КИМ оценка выставляется по четырехбалльной шкале:

оценка	«5»	«4»	«3»	«2»
балл	от 5 до 6	от 3 до 4	2	от 0 до 1

#### **ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень типовых заданий для проведения текущих и**



## **промежуточных аттестаций**

### **Вопросы:**

1. Назначение и типы фотоприёмников.
2. Параметры и характеристики приемников оптического излучения
3. Типы тепловых фотоприёмников.
4. Термoeлементы. Болoметры.
5. Оптико-акустические приемники излучения.
6. Пирoeлектрические приемники.
7. Радиационные калориметры.
8. Приемники на основе термоупругого эффекта в кристаллическом кварце.
9. Электровакуумные фотоэлементы и фотоэлектронные умножители. Диссекторы.
10. Электронно-оптические преобразователи.
11. Принцип действия приемников излучения на основе внутреннего фотоэффекта.
12. Фоторезисторы. Фотодиоды. Фототранзисторы. Фототиристоры.
13. Приемники излучения с внутренним усилением фототока.
14. Многоэлементные приемники излучения на основе фотодиодов и фоторезисторов.
15. Многоэлементные фотоприёмные устройства на основе приборов с зарядовой связью.
16. Многоэлементные приемники излучения на основе приборов с зарядовой инжекцией.

### **Типовые тестовые задания**

1. Полупроводник с какой шириной запрещённой зоной подойдёт для фотодетектора, чувствительного только в УФ области спектра?  
А) 3 эВ;  
Б) 2.5 эВ;  
В) 1.6 эВ;  
Г) 0.88 эВ
2. Полупроводник с какой шириной запрещённой зоной подойдёт для фотодетектора, чувствительного в видимой и УФ области спектра?  
А) 3 эВ;  
Б) 2.5 эВ;  
В) 1.6 эВ;  
Г) 0.88 эВ
3. Полупроводник с какой шириной запрещённой зоной подойдёт для фотодетектора, чувствительного в ближней ИК, видимой и УФ области спектра?  
А) 3 эВ;  
Б) 2.5 эВ;  
В) 1.6 эВ;  
Г) 0.88 эВ
4. Для чего предназначен фоторезистор?  
А) Для преобразования оптического сигнала в электрический;  
Б) Для преобразования электрического сигнала в оптический;  
В) Для управления интенсивностью оптического сигнала;  
Г) Для управления фазой оптического сигнала
5. Чем определяется чувствительность фотодетектора?  
А) электрическим шумом;  
Б) Интенсивностью излучения;  
В) Температурой фотоприёмника  
Г) Длиной волны излучения

6. Чем определяется отношение сигнал/шум?

- А) тепловым шумом фотоприёмника;
- Б) Интенсивностью излучения;
- В) температурой фотоприёмника.
- Г) Площадью фотоприёмника

7. Чем определяется длинноволновая граница спектра фоточувствительности фотодиода?

- А) внешней работой выхода;
- Б) шириной запрещённой зоны полупроводника;
- В) интенсивностью излучения.
- Г) Площадью фотоприёмника

8. В какой области спектра чувствителен кремниевый фотодиод?

- А) ультрафиолетовой;
- Б) видимой;
- В) средней инфракрасной;
- Г) ближней инфракрасной;

9. В какой области спектра чувствителен плёночный PbS фоторезистор?

- А) ультрафиолетовой;
- Б) видимой;
- В) средней инфракрасной;
- Г) ближней инфракрасной;

10. Какое явление лежит в основе работы вакуумного фотоэлемента?

- А) внутренний фотоэффект;
- Б) внешний фотоэффект;
- В) пирозлектрический эффект;
- Г) зависимость сопротивления от температуры;

11. Какое явление лежит в основе работы фотодиода?

- А) внутренний фотоэффект;
- Б) внешний фотоэффект;
- В) пирозлектрический эффект;
- Г) зависимость сопротивления от температуры;

12. Какое явление лежит в основе работы болометра?

- А) внутренний фотоэффект;
- Б) внешний фотоэффект;
- В) пирозлектрический эффект;
- Г) зависимость сопротивления от температуры;

13. Укажите границы видимого диапазона спектра?

- А) 380-780 нм;
- Б) 400-600 нм;
- В) 350-1050 нм;
- Г) 700-1500 нм;

14. Что такое сродство к электрону для металла?

- А) разница энергий между уровнем ферми и уровнем вакуума;
- Б) разница энергий между дном зоны проводимости и потолком валентной зоны;

- В) разница энергий между потолком валентной зоны и уровнем вакуума;  
Г) разница энергий между дном зоны проводимости и уровнем вакуума

15. Чем определяется предел обнаружения для фотодетектора?

- А) приложенным напряжением к фотоприёмнику;  
Б) площадью фоточувствительной части фотоприёмника;  
В) темновым током фотоприёмника;  
Г) Уровнем шума фотоприёмника;

16. Какие из перечисленных характеристик относятся к фотоприёмнику?

- А) Область спектральной чувствительности;  
Б) эффективная масса электронов и дырок;  
В) дрейфовая подвижность электронов и дырок;  
Г) постоянная времени нарастания сигнала;

17. В каких единицах принято измерять пороговую чувствительность фотоприёмника?

- А) Вт;  
Б) В;  
В) Ом;  
Г) Люмен;

18. В каких единицах принято измерять обнаружительную способность фотоприёмника?

- А)  $\text{Вт}^{-1}$ ;  
Б)  $\text{В}^{-1}$ ;  
В)  $\text{Гц}^{1/2}/\text{Вт}$ ;  
Г)  $\text{Вт}/\text{Гц}^{1/2}$ ;

### **Задачи**

**Задача 1.** Определить красную границу области спектральной чувствительности для кремниевого фотодетектора, если ширина запрещённой зоны монокристалла кремния равна 1.12 эВ?

**Задача 2.** Определить ширину запрещённой зоны InGaAs полупроводникового кристалла, если длинноволновая граница области спектральной чувствительности расположена на длине волны 1550 нм?

**Задача 3.** Определить токовую чувствительность в А/Вт фотодиода на длине волны 620 нм, если квантовая эффективность равна 1.

**Задача 4.** Определить квантовую эффективность фотодиода, если при его освещении излучением мощностью 1 Вт с длиной волны 530 нм возникает фототок, равный 0.2 А.

**Задача 5.** Определить минимальную мощность детектируемого оптического излучения фотодиодом с квантовой чувствительностью равной 1, на длине волны 780 нм, если его темновой ток равен  $I_{\text{темн}} = 1 \text{ нА}$

**Задача 6.** На сколько градусов необходимо охладить кремниевый фотодетектор с температуры 300 К для того, чтобы уменьшить темновой ток в 10 раз. Постоянная Больцмана  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ , ширина запрещённой зоны кремния  $E_g = 1.12 \text{ эВ}$ .

**Задача 7.** До какой температуры необходимо охладить InGaAs фотодетектор с краем фоточувствительности 1720 нм и температуры 300 К для того, чтобы уменьшить темновой ток в 10 раз. Постоянная Больцмана  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ .

**Задача 8.** До какой температуры необходимо охладить InGaAs фотодетектор с шириной запрещённой зоны 0.75 эВ и температурой 300 К для того, чтобы уменьшить темновой ток в 100 раз. Постоянная Больцмана  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

**Задача 9.** Определить средне-квадратичное значение напряжения теплового шума на PbS фоторезисторе при  $T = 300$  К в полосе частот 1 Гц и его темновом сопротивлении 10 кОм

**Задача 10.** Определить отношение сигнал/шум если фотодиод с квантовой чувствительностью 100% освещается излучением с длиной волны 678 нм мощностью 1 мкВт, а темновой ток фотодиода составляет  $I_{\text{темн}} = 1$  пА?

**Задача 11.** Определить динамический диапазон кремниевого фотодиода, если его темновой ток равен 55 нА, внешняя квантовая эффективность, а допустимая максимальная мощность излучения равна 0.1 Вт и длиной волны 950 нм?

**Задача 12.** Во сколько раз уменьшится темновой ток фотодиода с шириной запрещённой зоны полупроводника 1.12 эВ, если температуру с 300 К понизить до 250 К?

**Задача 13.** Определить ширину запрещённой зоны полупроводника в эВ, из которого необходимо создать фотоприёмник, чувствительный в УФ области спектра?

**Задача 14.** Определить средне-квадратичное значение напряжения теплового шума на PbS фоторезисторе при  $T = 300$  К в полосе частот 10 Гц и его темновом сопротивлении 10 кОм

**Задача 15.** Определить средне-квадратичное значение тока теплового шума на PbS фоторезисторе при  $T = 300$  К в полосе частот 10 Гц и его темновом сопротивлении 10 кОм

**Задача 16.** Определить работу выхода для кислород-сурьмяно-цезиевого фотокатода в электрон-вольтах, если область спектральной чувствительности занимает диапазон от 200 до 900 нм?

**Задача 17.** Определить ширину запрещённой зоны полупроводника в эВ, из которого необходимо создать фотоприёмник, чувствительный в видимой и УФ области спектра?

**Задача 18.** Во сколько раз уменьшится темновой ток фотодиода с шириной запрещённой зоны полупроводника 0.4 эВ, если температуру с 300 К понизить до 250 К?