


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

**УТВЕРЖДАЮ**

  
Заведующий кафедрой  
оптики и спектроскопии  
\_\_\_\_\_ (Овчинников О.В.)  
подпись, расшифровка подписи

14.06.2024 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.03 Фотоприемники

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:  
\_\_\_\_\_ 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки / специализация: Материалы и устройства фотоники и оптоинформатики
3. Квалификация (степень) выпускника: высшее образование (магистр)
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:  
\_\_\_\_\_ кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: \_\_\_\_\_ Смирнов Михаил Сергеевич  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)  
\_\_\_\_\_ доктор физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 13.06.2024  
(наименование recommending structure, date, protocol number)
8. Учебный год: \_\_\_\_\_ 2024/2025 \_\_\_\_\_ Семестр(ы): **2**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

**Целями освоения учебной дисциплины являются:** познакомить студентов, обучающихся по программе “Материалы и устройства фотоники и оптоинформатики” с процессами преобразования энергии электромагнитной волны в электрический сигнал, процессами взаимодействия света полупроводниковыми кристаллами и наноструктурами, основными параметрами фотоприёмников и способами их измерения.

### **Задачи учебной дисциплины:**

- обеспечить умение применять, знания, полученные при изучении базовых физических дисциплин в междисциплинарных областях;
- изучить с физические основы современных технологий в фото-детектировании.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, блок 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-2	Способен экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники	ПК-2.1	Ставит задачи и определяет набор параметров, с учетом которых должно быть проведено моделирование процессов, явлений и особенностей работы устройств фотоники и оптоинформатики	знать: методики экспериментального исследования перспективных материалов и моделирования процессов в устройствах фотоники уметь: экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники владеть: современными методами и подходами к экспериментальному исследованию перспективных материалов и моделированию процессов в устройствах фотоники
		ПК-2.2	Осуществляет подбор оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, разрабатывает методики оптических и фотонных исследований	
		ПК-2.3	Проводит анализ полученных результатов моделирования работы устройств фотоники и оптоинформатики на основе физических процессов и явлений	

ПК-3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники	ПК-3.2	Применяет знания физических принципов работы приборов квантовой электроники и фотоники, базовых технологических процессов создания наноматериалов и устройств фотоники и оптоинформатики.	знать: подходы и критерии для выбора научно-исследовательского и технологического оборудования с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники уметь: формулировать критерии для выбора научно-исследовательского и технологического оборудования с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники владеть: навыками выбора научно-исследовательского и технологического оборудования с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники
------	--	--------	---	---

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2 / 72**

**Форма промежуточной аттестации зачет**

### 13 Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
Аудиторные занятия		72	72
в том числе:	лекции	16	16
	практические		
	лабораторные	32	32
Самостоятельная работа		24	24
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации			зачет
Итого:		72	72

### 13.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1.	<i>Введение. Назначение фотоприёмников.</i>	<i>Назначение фотоприёмников. Классификация фотоприёмников и фотоприёмных устройств. Параметры и характеристики приемников оптического излучения. Пересчет параметров приемников излучения.</i>
2.	<i>Тепловые фотоприёмники.</i>	<i>Термоэлементы. Боллометры. Оптико-акустические приемники излучения. Пирозлектрические приемники. Радиационные калориметры. Приемники на основе термоупругого эффекта в кристаллическом кварце.</i>
3.	<i>Фотоприёмники на внешнем фотоэффекте.</i>	<i>Физические основы и принцип действия. Электровакуумные фотозлементы и фотозлектронные умножители.</i>

		<i>Диссекторы. Электронно-оптические преобразователи.</i>
4.	<i>Фотоприёмники на внутреннем фотоэффекте.</i>	<i>Принцип действия приемников излучения на основе внутреннего фотоэффекта. Фоторезисторы. Фотодиоды. Фототранзисторы. Фототиристоры. Приемники излучения с внутренним усилением фототока.</i>
5.	<i>Многоэлементные приемники излучения.</i>	<i>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.</i>
6	<i>Характеристики кремниевого фотодиода</i>	<i>Устройство кремниевых фотодиодов. Область спектральной чувствительности, порог чувствительности, динамический диапазон работы, постоянная времени.</i>

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1.	<i>Введение. Назначение фотоприёмников.</i>	2			4		6
2.	<i>Тепловые фотоприёмники.</i>	4			4		8
3.	<i>Фотоприёмники на внешнем фотоэффекте.</i>	4			4		8
4.	<i>Фотоприёмники на внутреннем фотоэффекте.</i>	4			4		8
5.	<i>Многоэлементные приемники излучения.</i>	2			4		6
6.	<i>Характеристики кремниевого фотодиода</i>			32	4		36
	<i>Итого</i>	16		32	24	-	72

### 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. 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 научно-технической информации.

4) Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущей и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно 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 текущей 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 её 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

(список оформляется в соответствии с требованиями ГОС и ФГОС, используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ишанин, Г.Г. Приемники оптического излучения / Г.Г. Ишанин, В.П. Челибанов– СПб.: Лань, 2022.- 304 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Ишанин Г.Г. Приемники оптического излучения на внешнем фотоэффекте / 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
7	Электронно-библиотечная система ВООК.ru <a href="https://www.book.ru/">https://www.book.ru/</a>
8	ЭБС «ПЛАТФОРМА ЮРАЙТ» – <a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
9	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
10	ЭБС «Электронная библиотека технического ВУЗа» («ЭБС «Консультант студента») – <a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
11	ЭБС «Университетская библиотека Online» – <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>
12	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" – <a href="http://rucont.ru">http://rucont.ru</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	Ишанин Г.Г. Приемники оптического излучения на внешнем фотоэффекте / Г.Г. Ишанин, Н.К. Мальцева. – СПб НИУ ИТМО. 2013. – 103
2	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.
3	Панков, Ж. Оптические процессы в полупроводниках / Ж. Панков ; пер. с англ. под ред. Ж.И. Алферова и В.С. Ваилова .— Москва. : Мир, 1973 .— 456 с.
4	Панков, Ж. Оптические процессы в полупроводниках / Ж. Панков ; пер. с англ. под ред. Ж.И. Алферова и В.С. Ваилова .— 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.

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

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

1	Поисковая система <a href="http://e-library.ru">e-library.ru</a>
2	Поисковая система <a href="http://google.ru">google.ru</a>
3	Архив научных журналов <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>
4	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
5	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a>
6	Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета МГУ <a href="http://lib.mexmat.ru">lib.mexmat.ru</a>

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

Учебная аудитория (ауд. 129): специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorksTotalAcademicHeadcount, ANSYSHFAcademicResearch 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, этаж – 1, пом. 141

Учебно-научная лаборатория (ауд. 132): специализированная мебель, 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 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, этаж – 1, пом. 137

Учебная аудитория (ауд. 119а): специализированная мебель 394018, г. Воронеж,

площадь Университетская, д. 1, пом.1, этаж – 5, пом. 4

## 19. Оценочные средства для проведения текущей 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.	<i>Введение. Назначение фотоприёмников.</i>	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.2	<i>Вопросы, тест</i>
2.	<i>Тепловые фотоприёмники.</i>	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.2	<i>Вопросы, тест</i>
3.	<i>Фотоприёмники на внешнем фотоэффекте.</i>	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.2	<i>Вопросы, тест</i>
4.	<i>Фотоприёмники на внутреннем фотоэффекте.</i>	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.2	<i>Вопросы, тест</i>
5.	<i>Многоэлементные приемники излучения.</i>	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.2	<i>Вопросы, тест</i>
6.	<i>Характеристики кремниевого фотодиода</i>	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.2	
Промежуточная аттестация форма контроля – <i>зачет</i>				<i>Вопросы, тест</i>

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

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы для контроля освоения дисциплины, которые формулируются преподавателем по окончании занятия для закрепления пройденного материала или для подготовки к последующим занятиям. На следующем занятии преподаватель осуществляет устный или письменный опрос. Положительная оценка может быть выставлена по результатам выполнения индивидуального задания.

Пример вопросов (заданий) для текущего контроля усвоения дисциплины:

Сформулируйте следующие основные понятия (укажите смысл терминов):

Назначение фотоприёмников, перечислите типы фотоприёмников, перечислите характеристики фотоэлектрических фотоприёмников, как связаны квантовый выход фотопроводимости и энергетический выход, назначение калориметров, принцип действия болометров, принцип действия пироэлектрических приёмников, что такое внешний фотоэффект, что такое внутренний фотоэффект, фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры, типы приемников излучения с внутренним усилением фототока, фотоприёмники на барьере Шоттки, фотоприёмники на рп-переходе, многоэлементные приемники излучения на основе фотодиодов и фоторезисторов, прибор с зарядовой связью, многоэлементные приемники излучения на основе приборов с зарядовой инжекцией.

### 20.2. Промежуточная аттестация

Оценка на зачете (зачтено) может быть выставлена по результатам текущего

контроля успеваемости при выполнении всех следующих условий обучающимся:

- посещение 80% и более лекционных занятий;
- пропуск не более 1 лабораторного занятия (без уважительной причины) с последующей отработкой;
- успешно пройдена текущая аттестация (положительная оценка по результатам выполнения индивидуальных заданий; выполнение лабораторной работы и оформление отчета).

В случае невыполнения обозначенных условий, студент вправе сдавать зачет по материалам КИМ. КИМ позволяет проверить освоение материала дисциплины. Положительная оценка (зачтено) выставляется, если студент продемонстрирует владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины. Если обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, то выставляется оценка «не зачтено»

### **Перечень вопросов к зачёту:**

1. Назначение и типы фотоприёмников.
2. Параметры и характеристики приемников оптического излучения
3. Типы тепловых фотоприёмников.
4. Термоэлементы. Болометры.
5. Оптико-акустические приемники излучения.
6. Пироэлектрические 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.