

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета нано- и биомедицинских  
технологий профессор  
напо-и С.Б. Вениг  
«*С.Б. Вениг*» 20*19* г.



Рабочая программа дисциплины

«Фотонные приемники излучения»

Направление подготовки магистратуры  
22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Профиль подготовки магистратуры  
«Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры  
для электроники и биомедицины»

Квалификация (степень) выпускника  
магистр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2019

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Роках А.Г.	<i>А.Г. Роках</i>	15.05.2019г.
Председатель НМК	Михайлов А.И.	<i>А.И. Михайлов</i>	22.05.2019г.
Заведующий кафедрой	Михайлов А.И.	<i>А.И. Михайлов</i>	22.05.2019г.
Специалист Учебно-го управления	Юшинова И.В.	<i>И.В. Юшинова</i>	22.05.2019г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Фотонные приемники излучения» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний умений и владений и усвоение физических принципов работы фотонных приемников излучения, их параметров, характеристик, основ их теоретического и экспериментального исследования и практического применения в изделиях электронной техники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний о физической природе приема оптического излучения и тех ее важнейших аспектов, которые непосредственно касаются возможности практической реализации полупроводниковых структур, применяемых в приборах и устройствах твердотельной электроники и микроэлектроники;
- формирование знаний основных характеристик и параметров полупроводниковых приборов, базовых элементов аналоговых и цифровых устройств, практического использования фотоэлектронных приборов и интегральных схем, в частности в матричном исполнении, в радиоэлектронной аппаратуре различного функционального назначения;
- формирование умений теоретически анализировать физические процессы, протекающие в структурах фотоэлектронных приборов и интегральных схем (матриц);
- овладение наиболее общими методами и навыками экспериментального исследования и теоретического анализа параметров и характеристик фотоэлектронных приборов, оптимизации режимов их работы.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Фотонные приемники излучения» относится к части ФТД «Факультативные дисциплины» и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению подготовки магистров 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и профилю «Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры для электроники и биомедицины» в течение 3 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, дифференциальным и интегральным уравнениям, материаловедению, электротехнике, инженерной и компьютерной графике и подготавливает студентов к изучению в этом и последующих семестрах таких дисциплин, как «Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов», «Функциональные и интеллектуальные материалы», «Влияние излучений различной природы на свойства материалов», магистерской диссертации.

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-3. Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных,	1.1_М. ПК-3. Разрабатывает рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособ-	<b>Знать:</b> основные свойства полупроводников, физические процессы, протекающие в полупроводниковых структурах, используемых в приборах фотоэлектроники и мик-

<p>инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности.</p> <p><b>ПК-14.</b> Способен анализировать физические и химические процессы, протекающие в материалах при их получении, обработке и модификации; использовать знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), проводить комплексные исследования, применяя стандартные и сертификационные испытания.</p>	<p>ности.</p> <p><b>2.1_М. ПК-3.</b> Планирует проведение работ по измерению параметров и процессов модификации свойств наноматериалов и наноструктур.</p> <p><b>3.1_М. ПК-3.</b> Проводит оценку рисков внедрения новых методов и оборудования измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.</p> <p><b>1.1_М. ПК-14.</b> Принимает участие в организации работы по стандартизации и по подготовке к проведению сертификации <b>продукции.</b></p> <p><b>2.1_М. ПК-14.</b> Подготавливает аналитические обзоры на основе обобщения результатов законченных исследований.</p> <p><b>3.1_М. ПК-14.</b> Эффективно организует выбор средств и методов измерений.</p>	<p>роэлектроники и являющиеся физической основой их принципа действия, их основные параметры и характеристики, примеры применения.</p> <p><b>Уметь:</b> Теоретически анализировать, рассчитывать и экспериментально исследовать основные параметры и характеристики фотоэлектронных приборов.</p> <p><b>Владеть:</b> Основами методов и основных подходов к теоретическому анализу физических процессов фотоэлектроники, а также экспериментальному исследованию основных приборов; анализом новых технологий производства материалов.</p> <p>.</p> <p><b>Знать:</b> Состав и способы обработки фотоэлектрических материалов с целью повышения их конкурентоспособности.</p> <p><b>Уметь:</b> Проводить оценку рисков внедрения новых методов и оборудования измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур, участвовать в подготовке к проведению сертификации продукции.</p> <p><b>Владеть:</b> Анализом физических и химических процессов, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации;</p>
---	---	---

		проведением комплексных исследований, применением стандартных и сертификационных испытаний.
--	--	---

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 час.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се- местр	Неделя се- местра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоем- кость (в часах)				Формы те- кущего кон- троля успе- ваемости (по неделям се- местра) Формы про- межуточной аттестации (по семест- рам)
				Лек.	Лаб.	Пр.	СРС	
1.	Введение. Роль фотоэлектроники в науке и технике	3	1	1		2	1	Опрос
2.	История фотоэлектроники	3	2	1		2	1	Опрос
3.	Процессы взаимодействия света с веществом.	3	3,4	2		4	2	Опрос
4.	Взаимодействие ускоренных электронов с веществом	3	4,5	2		4	2	Опрос
5.	Вакуумные фотоэлектронные приборы и преобразователи изображения	3	6, 7	1		2	2	Опрос
6.	Полупроводниковые дискретные фотопреобразователи	3	7,8	1		2	2	Опрос
7.	Фотоприемные матричные устройства	3	9	2		4	2	Контрольная работа
8.	Приборы и устройства ночного видения и тепловидения	3	9, 10	2		4	2	Опрос
9.	Фотоприемники на квантовых ямах и квантовых точках	3	10, 11	1		2	1	Опрос
10	Применения фотоэлектронных приборов	3	12, 13	1		2	1	Опрос
11	Фотоэлектроника и искусственный интеллект	3	14, 15	2		4	3	Опрос
12	Новые разработки и перспективы	3	15, 16	1		2	2	Опрос
	<b>Промежуточная аттестация</b>	3						<b>Зачет</b>
	<b>Итого:</b>	3		<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	
	<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>			<b>72</b>				

## Содержание дисциплины

1. Введение. Роль фотоэлектроники в науке и технике. 2. История фотоэлектроники вакуумной и твердотельной. 3. Процессы взаимодействия света с веществом: пропускание, поглощение, отражение. Краткий обзор. 4. Взаимодействие ускоренных электронов с веществом и их аналитическое описание. 5. Вакуумные фотоэлектронные приборы и преобразователи изображения видимого и инфракрасного диапазонов. 6. Полупроводниковые дискретные фотопреобразователи из различных материалов. 7. Фотоприемные матричные устройства. Особенности коммутации. 8. Приборы и устройства ночного видения и тепловидения. Приборы ультрафиолетового диапазона. 9. Фотоприемники на квантовых ямах и квантовых точках и нитях. 10. Применения фотоэлектронных приборов в гражданской технике и военном деле. 11. Фотоэлектроника и искусственный интеллект. Элементы робототехники. 12. Новые разработки и перспективы. Освоение терагерцевого диапазона.

### 5. Образовательные технологии

В преподавании дисциплины «Фотонные приемники излучения» используются следующие образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение;
- исследовательские методы в обучении;
- лекция-консультация;

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении части лекционных занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

При проведении практических занятий студентам предлагаются темы для обсуждения в режиме семинара, а также выполнение ряда практических заданий.

### Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Роль фотоэлектроники в материаловедении.
2. История фотоэлектроники.
3. Процессы взаимодействия света с полупроводником.
4. Взаимодействие ускоренных электронов с полупроводником.
5. Вакуумные фотоприемники и преобразователи изображения.
6. Полупроводниковые дискретные фотоэлектрические приборы.
7. Фотонные матричные устройства.
8. Фотоприемники на квантовых ямах и квантовых точках
9. Иконоскоп и видикон: принцип действия и схема включения.
10. Принцип работы приборов с зарядовой связью.
11. Ксерокс-процесс, лазерная печать и фотоэлектроника.
12. Шумы и пороговая чувствительность фотоприемника.
13. Пороговые характеристики примесного фоторезисторного приемника.
14. Классификация фотодиэлектрических эффектов – старая и новая.
15. Фотоприемные характеристики квантово-размерных структур.
16. Конструкции фотоприемников на квантово-размерных структурах.
17. Фотонные и тепловые приемники. Сравнительные характеристики.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим занятиям, к контрольной работе, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке.

**Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения и индивидуальных консультаций;
- использование дистанционных образовательных технологий.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, практическим занятиям, к контрольной работе.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к выполнению практических заданий задавать уточняющие вопросы преподавателю, иметь отдельную тетрадь для выполнения заданий и оформления отчетов;
- при подготовке к контрольной работе пользоваться лекциями и рекомендованной литературой.

В ходе изучения дисциплины в часы лекционных занятий студенты выполняют контрольную работу.

При подготовке к контрольной работе необходимо использовать материал прочитанных лекций.

Контрольная работа.

1-ый вариант

- 1) Фотоактивное поглощение. Внутренний фотоэффект и его виды.
- 2) Радиус экранирования монополярного полупроводника. Вывод из системы уравнений. Аномальное экранирование. Аналогии в тонкопленочных транзисторах современных дисплеев.
- 3) Добротность фотопроводников. Роль токов, ограниченных пространственным зарядом. Роль времени максвелловской релаксации в добротности и RC фотопроводника.

2-ой вариант

- 1) Статистика Шокли-Рида и ее применение к фотопроводимости. Экспониметрические фоторезисторы. Зависимость «корень квадратный» концентрации от освещенности для имитации человеческого глаза.
- 2) Рекомбинация и прилипание в полупроводниках. Квазиуровни Ферми, декаркационные уровни и их значение для описания процессов фотопроводимости.
- 3) Сверхлинейность ЛАХ, оптическое и температурное гашение фотопроводимости. Объяснение этих явлений Роузом и применение в вакуумных преобразователях изображения (типа видикон и др.).

При выполнении контрольной работы студент должен продемонстрировать знания по механизмам взаимодействия полупроводников со световым излучением.

Результаты выполнения контрольной работы учитываются при проведении промежуточной аттестации студентов на зачете.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета.

### **Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации**

Пороговые характеристики фоторезисторного приемника на собственном фотоэффекте.

История фотоэлектроники. Основные вехи.

Пороговые характеристики примесного фоторезисторного приемника.

Взаимодействие света с веществом. Фотоактивное поглощение.

Основные характеристики фотоприемников излучения.

Статистика Шокли-Рида для фотопроводников.

Статистика А. Роуза для фотопроводников.

Экранирование электрического поля в фотопроводниках и его реализация в тонкопленочных транзисторах.

Фотодиэлектрический эффект: d-, S- и  $\epsilon$ - фотоэффекты.

Классификация фотодиэлектрических эффектов – старая и новая.

Приемники на фотодиэлектрическом эффекте.

Продольная фотопроводимость и её сравнение с поперечной.

Взаимодействие ускоренных электронов с веществом. Вторичная электронная эмиссия.

Дифференциальные потери энергии электронов в твердом теле.

Взаимодействие ускоренных электронов с полупроводником: дифференциальные потери энергии.

Взаимодействие ускоренных электронов с полупроводником: формулы для поперечной и продольной катодопроводимости.

Иконоскоп и видикон: принцип действия и схема включения.

Принцип работы приборов с зарядовой связью.

Фотоприемные матричные устройства.

Типы фотодиодных приемников излучения.

Ксерокс-процесс и фотоэлектроника.

Матричные фотоприемники.

Типы приемников на фотоэлектромагнитном эффекте.

Основные типы многоэлементных приемников изображения.

Типы фотоэмиссионных приемников.

Приемники с накоплением сигнала (SPRITE).

Приемники с внутренней фотоэмиссией.

Фотоприемники на сверхрешетках.

Шумы и пороговая чувствительность фотоприемника.

Фотоприемные характеристики квантово-размерных структур.

Конструкции фотоприемников на квантово-размерных структурах.

Фотонные и тепловые приемники. Сравнительные характеристики.

## **7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС**

Таблица 7.1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого

3	10	0	30	20	0	0	40	100
---	----	---	----	----	---	---	----	-----

## Программа оценивания учебной деятельности студента

### Лекции

Посещаемость, активность работы в аудитории – от 0 до 10 баллов.

### Лабораторные занятия

Не предусмотрены

### Практические занятия

Посещаемость, активность работы в аудитории, правильность ответов при опросах и выполнении заданий, уровень подготовки к занятиям и др. – от 0 до 30 баллов.

### Самостоятельная работа

Качество подготовки к практическим занятиям (семинарам), активность на занятиях, качество выполнения контрольной работы – от 0 до 20 баллов.

### Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено

### Другие виды учебной деятельности

Не предусмотрены

**Промежуточная аттестация** по дисциплине «Фотонные приемники излучения» оценивается от 0 до 40 баллов и проводится в форме зачета.

При проведении промежуточной аттестации в форме зачета:

ответ на «зачтено» оценивается от 24 до 40 баллов;

ответ на «не зачтено» оценивается от 0 до 23 баллов;

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента по дисциплине «Фотонные приемники излучения» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта составляет 100 баллов.

Пересчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Фотонные приемники излучения» в зачёт осуществляется в соответствии с Таблицей 2.

Таблица 7.2. Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине в зачет.

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Литература:

1. Войцеховский А.В., Ижнин И.И., Савчин В.П., Вакив Н.М. Физические основы полупроводниковой фотоэлектроники :учебное пособие. – Томск : Издательский ДомТомского государственного университета, 2013. – 560 с.[**Электронный ресурс:** vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls.../SOURCE1].
2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. 5-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2009. ЗНБ - 134.
3. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер ; пер. с фр. под ред. О. Н. Ермакова. - 2-е изд., испр. - Москва : Техносфера, 2006. – 588 с. (в ЗНБ СГУ 14 экз.)

### Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:



## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Литература:

1. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. 5-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2009. ЗНБ - 134.
2. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер ; пер. с фр. под ред. О. Н. Ермакова. - 2-е изд., испр. - Москва : Техносфера, 2006. – 588 с. (в ЗНБ СГУ 14 экз.)

### Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Windows XP Prof.
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations.
3. Microsoft Office профессиональный 2010.



1. Windows XP Prof.
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations.
3. Microsoft Office профессиональный 2010.

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

Некоторые занятия по дисциплине «Фотонные приемники излучения» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, измерительными приборами, лабораторным оборудованием, наглядными демонстрационными материалами, плакатами, соответствующих действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» с профилем «Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры для электроники и биомедицины».

Автор профессор

А.Г. Роках

Программа одобрена на заседании кафедры физики полупроводников 22 мая 2019 г., протокол № 6.

**Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Рекомендуемая литература

1. А. Роуз. Зрение человека и электронное зрение. - М.: Мир, 1966. [**Электронный ресурс**: <http://filegiver.com/free-download/rouz-a-zrenie-cheloveka-i-elektronnoe-zrenie-1977.djvu>].
2. С. Зи. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. [**Электронный ресурс**: <http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=3139784>].
3. Фотоприемники видимого и ИК-диапазонов, под ред. Р.Дж. Киеса, перевод под ред. В.И. Стафеева. – М.: «Радио и связь», 1985 г. [**Электронный ресурс**: <http://www.twirpx.com/file/162630/>].
4. Rogalski, Antoni. InfraredDetectors. 2-nded. – CRCPress. TaylorandFrancisGroup. BocaRaton, London, New York, 2011, 877 p. [**Электронный ресурс**: [ezjlpdf.leafnberry.com/infrared-detectors-secon](http://ezjlpdf.leafnberry.com/infrared-detectors-secon)].
5. Филачев А.М., Таубкин И.И., Тришенков М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Фото-резисторы и фотоприемные устройства. – М.: Физматкнига, 2012.
6. Роках А.Г. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Курс лекций. Саратов.: СГУ, 2013. Кафедра физики полупроводников.