

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-  
ЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
физики полупроводников и микроэлектроники

*(Е.Н.Бормонтов)* (Е.Н.Бормонтов)

31.08.2021

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

ФТД.02 Квантовая и оптическая электроника

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:  
03.04.03 Радиофизика
2. Профиль подготовки: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы
3. Квалификация (степень) выпускника: магистр
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики полупроводников и микроэлектроники
6. Составители программы: Богатилов Евгений Васильевич,  
кандидат физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2021
8. Учебный год: 2021-2022 Семестр: 2
9. Цели и задачи учебной дисциплины: целью освоения учебной дисциплины является формирование комплекса знаний, навыков и умений, необходимых для решения практических задач в области оптоэлектроники.  
Задачи учебной дисциплины:
  - изучение схмотехники применения оптоэлектронных приборов для задач передачи и приема информации;
  - изучение базовых основ разработки перспективной элементной базы для оптических цифровых процессоров;

- изучение подходов к разработке архитектуры перспективных оптических цифровых процессоров;

**10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части факультативных дисциплин блока ФТД. Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП в рамках курса Б1.В.01 Физика низкоразмерных структур.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-1	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях систем связи и телекоммуникаций	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы экспериментального исследования устройств оптоэлектроники;</li> <li>- последние реализации оптических и электронно-оптических процессоров;</li> <li>- основные схмотехнические реализации усилительных схем для фотоприемников.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать методы экспериментального исследования устройств оптоэлектроники;</li> <li>- сопоставлять эффективность применения существующих устройств оптоэлектроники;</li> <li>- проводить схмотехническое моделирование электронных схем, содержащих оптоэлектронные компоненты.</li> </ul>
ПК-2	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях полупроводниковой элементной базы радиоэлектронных устройств	ПК-2.1	Владеет знаниями в области низкоразмерных структур и приборов на их основе	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способы решения проблемы межсоединений в СБИС с использованием оптических коммуникаций;</li> <li>- конструктивно-технологические особенности оптоэлектронных наногетероструктур.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать реализации элементов квантовой и оптической электроники, обеспечивающие повышение эксплуатационных характеристик разрабатываемых устройств.</li> </ul>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 2 / 72.**

Форма промежуточной аттестации – зачет.

**13. Виды учебной работы:**

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)	
		Всего	По семестрам
Аудиторные занятия,		24	24
в том числе:	лекции	12	12
	практические занятия	12	12
Самостоятельная работа		48	48
Итого:		72	72

**13.1. Содержание дисциплины:**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>Лекции</b>		
1.1	Введение	Области применения устройств оптоэлектроники. Перспективы решения проблемы межсоединений при помощи оптоэлектроники.
1.2	Схемотехника оптоэлектронных приборов	Потенциометрическая и мостовая схема включения фоторезистора. Управление фоторезистором при помощи каскада на МОП-транзисторе. Включение фоторезистора в цепь обратной связи ОУ. Коррекция частотной характеристики фоторезистора. Управление чувствительностью фотоприемника на основе фоторезистора. Схемы включения фотодиодных фотоприемников: трансимпедансный усилитель; усилитель с частотно-корректирующей цепью; схема усилителя с подавлением сигнала фоновой засветки; усилитель на трех ОУ. Шумовые характеристики усилителей сигнала фотодиода. Особенности включения лавинных фотодиодов. Схемы фотоприемников на фототранзисторах: с плавающей базой; с повышенным быстродействием.
1.3	Элементная база оптических цифровых процессоров	Память на основе эффекта полностью оптического перемагничивания. Голографическая память. Поверхностно-излучающие лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL). Спазеры. Оптические переключатели (S-SEED, VCSG, SMZ). Система оптических межсоединений (оптические волноводы, микрозеркала).
1.4	Архитектура оптических цифровых процессоров	Оптическая реализация логических операций. Арифметические вычисления. Оптическая реализация умножения вектора на матрицу. Оптическая реализация быстрого преобразования Фурье. Общая структура оптического процессора.
1.5	Практическая реализация оптических цифровых процессоров	Макеты цифровых оптических компьютеров: макет фирмы Bell, макет DOC-II. Первый коммерческий оптический процессор EnLight256. Перспективы создания цифровых оптических процессоров.

Практические занятия		
2.1	Введение	
2.2	Схемотехника оптоэлектронных приборов	Занятие №1. Разработка оптического пульсометра. Занятие №2. Разработка ИК-пульта дистанционного управления. Занятие №3. Разработка гальванической развязки на основе оптрона. Занятие №4. Разработка схемы питания лазерного светодиода.
2.3	Элементная база оптических цифровых процессоров	
2.4	Архитектура оптических цифровых процессоров	
2.5	Практическая реализация оптических цифровых процессоров	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практические	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение	2	-	4	6
2	Схемотехника оптоэлектронных приборов	4	12	14	30
3	Элементная база оптических цифровых процессоров	2	-	10	12
4	Архитектура оптических цифровых процессоров	2	-	10	12
5	Практическая реализация оптических цифровых процессоров	2	-	10	12
	Итого:	12	12	48	72
	Итого по курсу				72

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

Изучение дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. Обязательное посещение практических занятий и текущих аттестаций. Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету.

Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнится, когда требуется.

Следует помнить, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью. Самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности. Она обеспечивает формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие

возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении курса «Квантовая и оптическая электроника» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к практическим занятиям, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 12 часов;
подготовка к практическим занятиям	- 12 часов;
подготовка к зачету	- 24 часа;
Итого - 48 часов.	

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Легостаев Н.С. Твердотельная электроника. Методические указания по изучению дисциплины / Н.С. Легостаев ; Четвергов К. В. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 .— 51 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
2	Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника / Л.И. Шангина .— Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 .— 303 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
3	Щука А.А. Нанoeлектроника / А.А. Щука .— 2-е изд. (эл.) .— Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 .— 349 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=221947">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=221947</a> .

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Мартинес-Дуарт Д.М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Д.М. Мартинес-Дуарт, Р.Д. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда; пер. с англ. А. В. Хачояна. — М.: Техносфера, 2007. — 367 с.
5	Носов Ю. Р. Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1989. — 359 с.
6	Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : [учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки "Электроника и наноэлектроника" и "Телекоммуникации"] / А.Н. Игнатов. — Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2011. — 538 с.
7	Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника: Учебник для студ. вузов, обуч. по направлению "Электроника и микроэлектроника" / А.Н.Пихтин. — М.: Высш.шк., 2001. — 572 с.
8	Щука А. А. Электроника : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению 654100 - Электроника и микроэлектроника / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 799 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	International Resource for Technology and Applications in the Global Photonics Industry <URL: <a href="http://www.laserfocusworld.com/">http://www.laserfocusworld.com/</a> >

#### 16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Лабораторный практикум по оптоэлектронике : учебно-методическое пособие. Ч. 1 / сост. : Е. В. Богатиков, А. Н. Шебанов. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. — 40 с.

#### 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:

№ п/п	Источник
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"
3	Федеральный портал «Российское образование» <a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>

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

Лекционные занятия проводятся в мультимедийном кабинете кафедры ФППиМЭ, оснащённым стационарным мультимедийным проектором AcerX125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт., экран, с лицензионным программным обеспечением Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Для проведения практических занятий необходима лаборатория со следующим оборудованием: компьютеры Lenovo V520-15IKL - 8 шт., цифровые осциллографы

UTD2025CL - 6 шт., функциональные генераторы UTG2025A - 3 шт., источники питания QJ1503C – 3 шт., мультиметры цифровые DM3058E – 3 шт., телевизор LED 48” – 1 шт. Аудитория для самостоятельной работы студентов оснащена сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ и лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

## 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	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение	ПК-1	ПК-1.1	перечень вопросов
2	Схемотехника оптоэлектронных приборов	ПК-1	ПК-1.1	перечень вопросов
3	Элементная база оптических цифровых процессоров	ПК-2	ПК-2.1	перечень вопросов
4	Архитектура оптических цифровых процессоров	ПК-2	ПК-2.1	перечень вопросов
5	Практическая реализация оптических цифровых процессоров	ПК-2	ПК-2.1	перечень вопросов
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				Вопросы к зачету

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

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: тестовые задания, результаты выполнения практических заданий, ответы на вопросы.

#### Примеры практических заданий

1. Разработать схему оптического пульсометра на основе фоторезистора.
2. Разработать скетч Arduino для управления работой ИК светодиода и ИК-датчика TSOP38238.
3. Разработать схему управления шаговым двигателем при помощи Arduino, использующую гальваническую развязку на основе оптрона.



4. Разработать схему питания светодиода, поддерживающую постоянную освещенность в заданной точке при наличии непрерывно изменяющегося уровня фоновой засветки.

### **Примерный перечень вопросов для текущего контроля успеваемости**

1. Перечислите основные типы фотоприемных устройств и основные сферы их применения.
2. В чем заключается перспективность разработки оптических процессоров?
3. В чем заключается сложность реализации оптических логических вентилях?
4. Какие схемы управления биполярными и МОП транзисторами на основе использования фоторезисторов вы знаете?
5. Нарисуйте простейшую схему, преобразующую изменение сопротивления фоторезистора в изменение периода импульсного сигнала.
6. Каким образом можно расширить полосу пропускания схем на основе фоторезисторов?
7. Какой величины может достигать динамический диапазон фоторезистивных датчиков?
8. Какие способы эффективного использования динамического диапазона фоторезисторов вы знаете?
9. Приведите схему регулирования чувствительности фоторезистора при помощи изменения напряжения питания.
10. Какие схемы подключения фотодиодов к согласующим усилителям обеспечивают логарифмическую зависимость выходного напряжения от падающего потока излучения?
11. Какие требования предъявляются к фотодиодам при обнаружении слабых потоков излучения?
12. К чему приводит рассогласование резисторов в схеме усилителя сигнала фотодиода на трех операционных усилителях?
13. В чем заключаются достоинства и недостатки фототранзисторов с базовым выводом по сравнению с двухвыводными фототранзисторами?

### **20.2 Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

#### **Перечень вопросов к зачету**

1. Потенциометрическая схема включения фоторезистора.
2. Схемы фотоприемников на фототранзисторах: с повышенным быстродействием.
3. Мостовая схема включения фоторезистора.
4. Память на основе эффекта полностью оптического перемагничивания.
5. Управление фоторезистором при помощи каскада на МОП-транзисторе.
6. Голографическая память.
7. Включение фоторезистора в цепь обратной связи ОУ.
8. Поверхностно-излучающие лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL).
9. Коррекция частотной характеристики фоторезистора.
10. Спазеры.
11. Управление чувствительностью фотоприемника на основе фоторезистора.
12. Оптические переключатели S-SEED, VCSG, SMZ.

13. Схемы включения фотодиодных фотоприемников: трансимпедансный усилитель.
14. Система оптических межсоединений: оптические волноводы.
15. Схемы включения фотодиодных фотоприемников: усилитель с частотно-корректирующей цепью.
16. Система оптических межсоединений: микрозеркала.
17. Схемы включения фотодиодных фотоприемников: схема усилителя с подавлением сигнала фоновой засветки.
18. Оптическая реализация логических операций.
19. Схемы включения фотодиодных фотоприемников: усилитель на трех ОУ.
20. Шумовые характеристики усилителей сигнала фотодиода.
21. Особенности включения лавинных фотодиодов.
22. Оптическая реализация умножения вектора на матрицу.
23. Схемы фотоприемников на фототранзисторах: с плавающей базой.
24. Оптическая реализация быстрого преобразования Фурье.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических работ.

Каждому обучающемуся задаются вопросы по всем разделам спецкурса.

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«не зачтено».

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «зачтено» выставляется при полном соответствии работы обучающихся всем вышеуказанным показателям: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;
- оценка «не зачтено» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.