

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»

Физико-технический факультет
Кафедра радиофизики и инфокоммуникационных технологий



УТВЕРЖДАЮ

проректор

П.А. Машаров

2024 г.

«МП»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Укрупненная группа направлений
подготовки

Программа высшего образования

Направление подготовки / Специальность

Профиль подготовки

Квалификация

Форма обучения

03.00.00 Физика и астрономия

Программа бакалавриата

03.03.03 Радиофизика

Радиофизика

Бакалавр

Очная

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «**Оптоэлектроника**» для обучающихся по направлению подготовки 03.03.03. Радиофизика (Профиль: Радиофизика), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 7 августа 2020г. № 912 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2024 года.

Разработчик:

Ст. преподаватель кафедры радиофизики и
инфокоммуникационных технологий

Т.В.Белик

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры радиофизики и
инфокоммуникационных технологий.

Протокол от 26.03.2024 г. № 16

Заведующий кафедрой

В.В. Данилов

СОГЛАСОВАНО:

Декан физико-технического факультета
28.03.2024 г.

С.А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета.

Протокол от 27.03.2024 г. № 2

Председатель

В. Н. Котенко

Руководитель основной профессиональной
образовательной программы,

д. т. н., проф.

26.03.2024 г.

В.В. Данилов

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной дисциплины: Математический анализ; Электричество и магнетизм; Колебания и волны, оптика; Атомная и ядерная физика; Физический практикум; Радиотехнические цепи и сигналы; Радиоэлектроника.

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Квантовая радиофизика; Функциональная электроника; Полупроводниковая и физическая электроника; Производственная практика; Курсовая работа по дисциплине "Оптоэлектроника".

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	03.03.03. Радиофизика (Профиль: Радиофизика)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ОД.14 Оптоэлектроника
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор вуза
Количество зачетных единиц / всего часов	4,5 / 162

2.2. Распределение часов по периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	3	6	48	48	0	66	162	экзамен

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение основ оптоэлектроники, ее элементной базы, функционирования и принципов построения оптоэлектронных устройств, их характеристик и параметров, методов исследования таких устройств.

4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-2. Обладает достаточными знаниями в области электроники, электронной аппаратуры, в том числе СВЧ и оптического диапазона,	ПК-2.2. Обладает достаточными знаниями в области электроники и техники СВЧ и оптического диапазона, необходимые при проведении	ПК-2.1.1. Знает теоретические основы генерации, модуляции, усиления, детектирования и распространения (в том числе в световодах) электромагнитного излучения оптического диапазона, основные характеристики и параметры оптоэлектронных устройств, их конструктивные варианты исполнения.

антенно-фидерных систем, необходимыми при проведении научно-исследовательских работ и экспериментов по профилю подготовки.	научно-исследовательских работ и экспериментов по профилю подготовки	ПК-2.1.2. Владеет методиками исследования оптоэлектронных устройств, навыками работы с лабораторным оборудованием и приборами. ПК-2.1.3. Умеет правильно выбирать и применять оптоэлектронные устройства в зависимости от предъявляемых к ним требований.
--	--	---

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Оптоэлектроника	
Введение	Оптоэлектроника, фотоника, оптроника. Определения, преимущества и недостатки. Частотный диапазон. Поглощение и излучение света. Перспективы развития.
Оптические волноводы	Планарные световоды. Оптико-физическая и оптико-лучевая модель распространения света в плоском световоде. Волноводные моды. Условия отсечки. Основные параметры световодов. Цилиндрические световоды. Волноводные моды. Характеристики направляемых лучей (косые и меридианные лучи). Типы волоконных световодов. Основные параметры и характеристики. Технология изготовления. Соединение оптических волокон. Дисперсия. Затухание.
Излучатели	Требования к излучателям. Механизмы генерации излучения в полупроводниках. Физические основы усиления и генерации когерентного излучения. Лазеры на гомо-переходе, двойном гетеропереходе, полосковые лазеры, одномодовые лазеры. Ваттамперная характеристика. Модуляционная характеристика. Шумы. Основные параметры и характеристики, возможности их улучшения. Светодиоды на полупроводниковых материалах с прямозонным и не прямозонным переходами. Их основные параметры и характеристики, конструктивные варианты. ИК-светодиоды, индикаторные светодиоды.
Фотоприемники	Классификация. ФЭУ. Поглощение света в полупроводниках. Дискретные (одноэлементные) ФП. Фоторезисторы, фотодиоды, в т.ч. с р-і-п структурой и лавинные. Система параметров. Многоэлементные ФП. ФПЗС. Накопление, перенос, детектирование заряда. КМОП

	матрицы. Принцип работы, характеристики, параметры.
Модуляторы	Классификация. Физические эффекты, лежащие в основе работы. Неуправляемые модуляторы. Акустооптический модулятор. Принципы работы, конструктивные варианты исполнения, характеристики и параметры. Электрооптический, модулятор
Усилители	Полупроводниковые, волоконные, нелинейные оптические усилители. Принцип работы, характеристики и параметры
Пассивные элементы оптоэлектронных схем	Оптический туннельный эффект. Элементы связи для ввода и вывода оптического излучения из волноводов. Мультиплексоры и демультиплексоры, фильтры, изоляторы.

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 3, семестр – 6

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС	Всего
Раздел 1. Оптоэлектроника	48	48	0	66	162
Введение	4	12	-	8	24
Оптические волноводы	12	-	-	10	22
Излучатели	10	12	-	14	36
Фотоприемники	10	6	-	10	26
Модуляторы	6	12	-	12	30
Усилители	4	-	-	8	12
Пассивные элементы оптоэлектронных схем	2	6		4	12
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	48	48	0	66	162

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

1. Отличительные черты, достоинства и недостатки оптоэлектроники. Направления оптоэлектроники. Ее частотный диапазон. Преимущества когерентной оптоэлектроники.

2. Излучатели, используемые в оптоэлектронике, требования к ним, в том числе когерентность и монохроматичность. Сравнительная характеристика источников когерентного излучения.

3. Принцип действия п/п инжекционного лазера на гомопереходе. Его недостатки. Ваттамперная характеристика.

4. Принцип действия п/п инжекционного лазера на гетеропереходе. Его преимущества.

5. Условие возникновения генерации и КПД лазерного диода. Температурная зависимость порогового значения тока лазерного диода.

6. Селекция поперечных мод в п/п инжекционном лазере. Полосковые лазеры.

7. Зависимость интенсивности мод от тока инжекции, температурная зависимость длины волны излучения, расходимость п/п инжекционного лазера. Шумы в п/п инжекционных лазерах.

8. Характеристики прямой модуляции лазерного диода (модуляционная характеристика; релаксационные колебания, их подавление).

9. Селекция продольных мод в п/п инжекционном лазере. Виды и принципы работы динамических одномодовых лазеров.

10. Гетеролазеры с отдельным электронным и оптическим ограничением.

11. Ваттамперная характеристика и принцип действия светодиодов. Виды конструктивных решений, мощность и КПД СИД. Эффективность связи СИД с волоконным световодом. Эффективность вывода излучения из СИД.

12. Модуляционная характеристика СИД. Зависимость полосы модуляции от плотности тока инжекции.

13. Механизмы излучательной рекомбинации. Индикаторные СИД (Принцип действия, конструкция, используемые материалы).

14. Классификация фотоприемников, используемых в оптоэлектронике. Их сравнительная характеристика и области применения. Принцип действия ФЭУ.

15. Фоторезистор. Принцип действия, основные характеристики.

16. Структура и принцип действия кремниевых р-і-п фотодиодов.

17. Структура и принцип действия кремниевых лавинных фотодиодов, их недостатки и преимущества в сравнении с р-і-п фотодиодами.

18. Система параметров фотодиодов.

19. Шумы фотодиодов.

20. Солнечные фотопреобразователи (принцип действия, основные параметры, разновидности).

21. Многоэлементные ФП на основе дискретных элементов с параллельным и последовательным опросом.

22. Структура и принцип действия ФПЗС на примере ФПЗС с поверхностным каналом и трехфазной схемой управления.

23. Особенности накопления заряда и детектирования зарядовых пакетов в ФПЗС.

24. Особенности переноса заряда в ФПЗС. Методы снижения искажений сигнала.

25. Варианты организации и использования фотоприемников на основе ПЗС-структур.

26. Параметры и характеристики ФПЗС.

27. Структура и принцип работы КМОП-матриц.

28. Классификация модуляторов оптического излучения. Принцип действия неуправляемых модуляторов (пластин, призм, поляризаторов).

29. Принцип действия электрооптических модуляторов света на продольном и поперечном ЭО эффекте.

30. Волноводные электрооптические модуляторы (одноволноводные, двухканальные, Маха-Цендера).

31. Электрооптические модуляторы, основанные на использовании явлений отражения и дифракции. Сравнение планарных, канальных и объемных электрооптических модуляторов.

32. Принцип действия фотоупругих акустооптических модуляторов. Изменение эллипсоида показателей преломления при воздействии деформаций сдвига, сжатия.

33. Принцип действия дифракционных акустооптических модуляторов. Режимы дифракции.

34. Изотропная, анизотропная и коллинеарная дифракция. Векторные диаграммы процесса дифракции.

35. Эффективность АО взаимодействия. Расчет акустооптических модуляторов.

36. Оптические полупроводниковые усилители.

37. Волоконные оптические усилители (примесные).
38. Нелинейные оптические усилители.
39. Эффекты взаимодействия оптического излучения с веществом. Основные источники оптических потерь в оптических материалах и световодах из них.
40. Планарный оптический световод со ступенчатым профилем показателя преломления. Характеристическое уравнение планарного световода. ТЕ-, ТН-моды.
41. Волновой анализ планарных световодов.
42. Планарный световод с градиентным профилем показателя преломления (градан). Лучевая картина распространения оптического излучения.
43. Волоконный световод со ступенчатым профилем показателя преломления. Лучевая картина распространения оптического излучения.
44. Характеристическое уравнение волоконного световода. Волновой анализ волоконного световода.
45. Гибридные НЕ- и ЕН- моды и условия их отсечки.
46. Одномодовое волокно. Одномодовое однополяризационное волокно.
47. Многомодовое слабо направляющее волокно со ступенчатым профилем показателя преломления.
48. Градиентное оптическое волокно (селфок). Волновой анализ селфока. Модовый состав селфока. Распределение поля в поперечном сечении селфока.
49. Основные группы технологических процессов изготовления волоконных световодов. Технология получения заготовок для вытяжки волокна. Вытяжка волокна из заготовок.
50. Ввод оптического излучения в световод и вывод из него.
51. Соединение волоконных световодов.
52. Волоконно-оптические разветвители, переключатели и ответвители.
53. Волоконно-оптические мультиплексоры и демультиплексоры.
54. Оптические аттенюаторы и вентили.

7.2. Образец содержания экзаменационного билета (при наличии экзамена по дисциплине)

Донецкий государственный университет

Физико-технического факультета

Кафедра радиофизики и инфокоммуникационных технологий

Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	03.03.03 Радиофизика
Профиль подготовки	Радиофизика
Форма обучения	Очная
Семестр	Шестой
Дисциплина	Оптоэлектроника

Экзаменационный билет № 1

1. Отличительные черты, достоинства и недостатки оптоэлектроники. Направления оптоэлектроники. Ее частотный диапазон. Преимущества когерентной оптоэлектроники.
2. Особенности переноса заряда в ФПЗС. Методы снижения искажений сигнала.
3. Принцип действия дифракционных акустооптических модуляторов. Режимы дифракции.

Утверждено на заседании кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий, протокол № 14 от 21.02.2024 г.

Заведующий кафедрой
Экзаменатор

В.В. Данилов
Т.В. Белик

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже. Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

8.1. Семестр 6

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	10
	Самостоятельная работа	10
	Лабораторные работы	30
ИТОГО		50
Экзамен		50
Общий итог за семестр		100

Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4-м корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi. Для проведения лабораторных занятий требуется учебная лаборатория, укомплектованная необходимым оборудованием.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных.

При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

При использовании дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература

1. Пихтин, А. Н. Оптическая и квантовая электроника: Учеб. для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / А. Н. Пихтин. - М.: Высш. шк., 2001. - 573 с.
2. Практикум по оптоэлектронике / сост.: Т. В. Белик, В. В. Данилов, Н. С. Королева. – Донецк: ДонНУ, 2018. – 130 с.
3. Хансперджер Р. Интегральная оптика: Теория и технология / Р. Ханс-перджер. – М.: Мир, 1985. – 384 с.
4. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А.Б. Иванов. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 658 с.

10.2. Дополнительная литература

5. Носов, Ю. Р. Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов. - 2-е изд. - Москва: Радио и связь, 1989. – 359 с.
6. Ермаков, О. Н. Прикладная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков. - М.: Техносфера, 2004. - 414 с.
7. Штыков, В. В. Квантовая радиофизика: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Радиотехника" специальности 210301 "Радиофизика и электроника" / В. В. Штыков. - Москва: Академия, 2009. - 335 с.

11. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.
2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://biblio-online.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. **Электронный каталог** Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.

8. **Электронный архив ДонГУ:** раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный.

12. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).