


**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

21.06.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.02.02 Гетероструктуры. Лазеры на гетероструктурах  
*Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом*

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:  
\_\_\_\_\_ 03.04.02 – Физика
2. Профиль подготовки /специализации/ магистерская программа:  
\_\_\_\_\_ Оптика и нанофотоника
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 20.06.2023  
*(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)*
8. Учебный год: \_\_\_\_\_ 2023/2024 Семестр(ы): \_\_\_\_\_ 1

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

**Целями освоения учебной дисциплины являются:** формирование профессиональной компетенции студентов физического факультета, обучающихся на по магистерской программе "Оптика и нанофотоника", в области физических основ процессов в гетероструктурах, обусловленных протеканием электрического тока и формированием когерентного излучения, а также материалов и основ технологии изготовления гетероструктур для полупроводниковых гетеролазеров. Курс формирует компетенции, предусмотренные квалификацией магистра по направлению "Физика", обучающегося по программе "Оптика и нанофотоника".

### **Задачи учебной дисциплины:**

- ознакомить студентов с современными проблемами, стратегиями и инновациями в области разработки и использования полупроводниковых лазеров на гетеропереходах;
- рассмотреть перспективы развития этого научно-технического направления в области лазерной физики.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Курс Б1.В.ДВ.02.02 "Гетероструктуры. Лазеры на гетероструктурах" относится к циклу Б1. Является дисциплиной по выбору вариативной части данного цикла.

**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-3	Способен к разработке и оптимизации технологий производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов	3.1	Анализирует научно-техническую информацию по разработке оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<b>Знать:</b> способы разработки и оптимизации технологий производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов <b>Уметь:</b> разрабатывать и оптимизировать технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов <b>Владеть:</b> приемами разработки и оптимизации технологий производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов
		3.2	Согласует условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемых оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, определяет требования к параметрам разрабатываемой оплотехники	
		3.3	Планирует проектные и исследовательские работы, проектирует технологический процесс производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов, умеет	

			разрабатывать технологическую документацию, координировать деятельность рабочих групп	
--	--	--	---	--

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

Форма промежуточной аттестации *зачет с оценкой*

### 13 Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			1
Аудиторные занятия		30	30
в том числе:	лекции	30	30
	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа		114	114
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации ( <i>зачёт с оценкой</i> )			
Итого:		144	144

### 13.1 Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Введение. Общие представления о гетероструктурах и лазерах на полупроводниковых гетероструктурах.	Определение полупроводниковой гетероструктуры. Закон Бугера, инверсная населённость в двухуровневой системе. Примесная проводимость полупроводников. Вынужденное и спонтанное излучение.
2	Электролюминесценция рп-перехода	Энергетическая диаграмма рп-перехода. Статистика электронов и дырок. Квазиуровень Ферми для электронов и дырок. Инжекция носителей заряда через рп-переход.
3	Гетеропереход. Модель идеального гетероперехода.	Энергетическая диаграмма. Работа выхода, потенциал ионизации, электрохимический
4	Оптические резонаторы	Типы резонаторов. Коэффициент потерь плоского резонатора. Лазерные моды. Добротность резонатора.
5	Оптическое и электрическое ограничение	Одинарная и двойная гетероструктура. Порог генерации полупроводникового гетеролазера.
6	Временные характеристики излучения лазеров	Свободная импульсная генерация. Генерация нано и пикосекундных импульсов. Генерация добротности и синхронизация мод. Амплитудная модуляция током накачки.
7	Материалы для гетеролазеров на полупроводниковых гетероструктурах.	Оптические переходы в прямозонном и непрямоzonном полупроводниках. Тройные и четверные твёрдые растворы полупроводников.

### 13.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование	Виды занятий (часов)
---	--------------	----------------------

п/п	раздела дисциплины	Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Введение. Общие представления о гетероструктурах и лазерах на полупроводниковых гетероструктурах.	4			10		14
2	Электролюминесценция рп- перехода	4			16		20
3	Гетеропереход. Модель идеального гетероперехода.	6			16		22
4	Оптические резонаторы	4			16		20
5	Оптическое и электрическое ограничение	4			16		20
6	Временные характеристики излучения лазеров	4			20		24
7	Материалы для гетеролазеров на полупроводниковых гетероструктурах.	4			20		24
	Итого	30			114		144

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

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- Подготовка к лабораторным занятиям.

В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения лабораторных 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. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Филиппов, В. В. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие : [16+] / В. В. Филиппов, А. Д. Пашун ; Липецкий государственный педагогический университет им. П. П. Семенова-Тян-Шанского. – Липецк : Липецкий государственный педагогический университет им. П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2018. – 163 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL:

	<a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=576862">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=576862</a>
2.	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. : ил., табл.
3	Щапова, И. А. Основы оптоэлектроники и лазерной техники : учебное пособие / И. А. Щапова. – 4-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА, 2022. – 235 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=103827">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=103827</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Грибковский В.П., Полупроводниковые лазеры :Учеб пособие по специальности: Радиофизика и электроника / В.П. Грибковский – Мн.: Университетское, 1988. – 304 с.: ил.
5.	Кейси Х. Лазеры на гетероструктурах. Том1 / Х. Кейси, М. Паниш. Пер с англ. А.Е. Дракин. – М.: Мир, 1981. – 299 с.
6.	Кейси Х. Лазеры на гетероструктурах. Том2 / Х. Кейси, М. Паниш. Пер с англ. А.Е. Дракин. – М.: Мир, 1981. – 364 с.
7.	Носов, Юрий Романович. Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов .— М. : Советское радио, 1977 .— 230,[2] с.
8.	Страховский Г.М., Основы квантовой электроники / Г.М. Страховский, А.В. Успенский - М. : Высшая школа, 1973. - 312 с.
9.	Ярив А. Квантовая электроника / А. Ярив - М. : Советское радио, 1980. - 488 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
10	Поисковая система e-library.ru
11	Поисковая система google.ru
12	Архив научных журналов <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>
13	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
14	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.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	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 следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические 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 докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей 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. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

Текущий контроль проводится путем проверки конспектов лекций, входного контроля (в виде самостоятельных и контрольных работ, докладов и рефератов).

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 e-library.ru
2	Поисковая система google.ru
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:

Ноутбук Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ, Проектор BenQ MS 612ST, Доска магнитно-маркерная 100\*200. Программное обеспечение: ОС Windows (WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc). Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each AcademicEdition Additional Product. Программный комплекс для ЭВМ - MathWorks. Система инженерного моделирования ANSYS HF Academic Research.

Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущей и промежуточной аттестации

Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ" (<https://edu.vsu.ru>).

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ПК-3 Способен к разработке и оптимизации технологий производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов	<b>Знать:</b> способы разработки и оптимизации технологий производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов <b>Уметь:</b> разрабатывать и оптимизировать технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов <b>Владеть:</b> приемами разработки и оптимизации технологий производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов	Разделы 1-7	Устный опрос
<b>Промежуточная аттестация (зачёт с оценкой)</b>			КИМ

### 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины;
- умение связывать теорию с практикой;
- умение описывать основные характеристики, методики контроля и допуски на параметры оптических деталей;
- владение знаниями о современных методиках контроля параметров оптических деталей.

### Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лекционных занятий. Ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время экзамена. Ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано теоретических основ дисциплины.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Имеет не полное представление о теоретических основах., допускает существенные ошибки.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

### 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### 19.3.1 Перечень вопросов к зачёту с оценкой

1. Определение полупроводниковой гетероструктуры. Закон Бугера, инверсная населённость в двухуровневой системе.
2. Примесная проводимость полупроводников.
3. Вынужденное и спонтанное излучение.
4. Энергетическая диаграмма рп перехода.
5. Статистика электронов и дырок. Квазиуровень Ферми для электронов и дырок.
6. Инжекция носителей заряда через рп переход.
7. Энергетическая диаграмма.
8. Работа выхода, потенциал ионизации, электрохимический
9. Типы резонаторов.
10. Коэффициент потерь плоского резонатора.
11. Лазерные моды.
12. Добротность резонатора.
13. Одиарные и двойные гетероструктуры

14. Лазеры на полупроводниковых гетероструктурах.
15. Электролюминесценция  $pn$ - перехода.
16. Модель идеального гетероперехода.
17. Оптические резонаторы.
18. Оптическое и электрическое ограничение.
19. Временные характеристики излучения лазеров.
20. Материалы для гетеролазеров на полупроводниковых гетероструктурах.
21. Параметры лазеров на гетероструктурах.
22. Порог генерации полупроводникового гетеролазера.
23. Свободная импульсная генерация.
24. Генерация нано и пикосекундных импульсов.
25. Генерация добротности и синхронизация мод.
26. Амплитудная модуляция током накачки.
27. Оптические переходы в прямозонном и непрямоzonном полупроводниках.
28. Тройные и четверные твёрдые растворы полупроводников.



### 19.3.2. Контрольно-измерительный материал

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

\_\_\_\_\_ Овчинников О.В.  
*подпись, расшифровка подписи*

\_\_\_.\_\_\_.20\_\_

Направление подготовки / специальность 03.04.02 – Оптика и нанофотоника  
Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Гетероструктуры. Лазеры на гетероструктурах  
Форма обучения очная  
Вид контроля зачёт с оценкой  
Вид аттестации промежуточная

#### Контрольно-измерительный материал №1

1. Одиарные и двойные гетероструктуры.
2. Модель идеального гетероперехода.

Преподаватель \_\_\_\_\_ Смирнов М.С.  
*подпись* *расшифровка подписи*

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

\_\_\_\_\_ Овчинников О.В.  
*подпись, расшифровка подписи*

\_\_\_.\_\_\_.20\_\_

Направление подготовки / специальность 03.04.02 – Оптика и нанофотоника  
Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Гетероструктуры. Лазеры на гетероструктурах  
Форма обучения очная  
Вид контроля зачёт с оценкой  
Вид аттестации промежуточная

#### Контрольно-измерительный материал №2

1. Оптические резонаторы.
2. Материалы для гетеролазеров на полупроводниковых гетероструктурах.

Преподаватель \_\_\_\_\_ Смирнов М.С.  
*подпись* *расшифровка подписи*

#### **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности (выполнение лабораторных работ). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний. При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.