

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением президиума
ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

**Физика и технология
полупроводниковых лазеров**
(наименование дисциплины (модуля))

**Уровень высшего образования
магистратура**
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки / специальность
03.04.03 радиофизика**
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы
Физическая электроника**
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Форма обучения
очная**
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина «Физика и технология полупроводниковых лазеров» Б1.В.ДВ.04.02 относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 «Радиофизика», формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
<i>ПК-1.</i> Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности.	<p><i>ПК-1.1.</i> Применяет принципы сбора и анализа информации, методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач.</p> <p><i>ПК-1.2.</i> Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников.</p> <p><i>ПК-1.3.</i> Владеет современными</p>	<p>З-1 Знание основных принципов, лежащих в основе работы полупроводниковых лазерных излучателей, а также их рабочих характеристик</p> <p>У-1 Умение использовать базовые знания радиофизики при изучении полупроводниковых лазеров, а также при использовании их в научно-исследовательской деятельности</p> <p>В-1 Владение опытом использования фундаментальных разделов радиофизики и физики полупроводниковых лазеров при решении научно-исследовательских задач</p>	<i>Собеседование, тестовые вопросы</i>

	информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования.		
<p><i>ПК-2.</i> Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты.</p>	<p><i>ПК-2.1.</i> Анализирует современное состояние исследований в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p> <p><i>ПК-2.2.</i> Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p> <p><i>ПК-2.3.</i> Применяет навыки планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по отдельным разделам тем в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники.</p> <p><i>ПК-2.4.</i> Анализирует полученные данные, формулирует выводы и</p>	<p>З-3 Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач с использованием полупроводниковых лазеров, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в этой области</p> <p>У-3 Умение и навыки использования современного оборудования, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в области полупроводниковых ОКГ</p> <p>В-3 Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области лазерной оптики с использованием полупроводниковых лазеров</p>	<p><i>Собеседование, тестовые вопросы</i></p>

	рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и, наноэлектроники, мощной электроники.		
<i>ПК-3.</i> Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.	<p><i>ПК-3.1.</i> Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p> <p><i>ПК-3.2.</i> Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.</p> <p><i>ПК-3.3.</i> Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.</p>	<p><i>Знать</i> основные методы написания протоколов и отчетов по измерениям</p> <p><i>Уметь</i> оформлять рукописи, протоколы, отчеты</p> <p><i>Владеть</i> навыками оформления протоколов и отчетов</p>	<i>Собеседование, тестовые вопросы</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	45
- занятия лекционного типа	

самостоятельная работа	29
КСР	1
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	экзамен

3.2. Содержание дисциплины

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Введение. Общие принципы работы лазеров.		2				2	2
Активная полупроводниковая среда. Специфика условий создания инверсии в полупроводниках. Спектральные особенности		6				6	6
Потери и усиление в полупроводниковых излучателях		2				2	4
Основы технологии изготовления полупроводниковых многослойных структур		4				4	4
Волноводные свойства излучателя. Оптический резонатор. Многослойные зеркала.		4				4	2
Основные характеристики излучения полупроводникового лазера		4				4	4
Лазеры с распределенной обратной связью		4				4	6
Лазеры с вертикальным резонатором		4				4	4
Тенденции в развитии полупроводниковых лазерных систем		2				4	4

Промежуточная аттестация			экзамен				
Итого			108	32		32	40

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных

	вследствие отказа обучающегося от ответа	навыки. Имели место грубые ошибки.	стандартных задач с некоторыми недочетами	задач с некоторыми недочетами	задач без ошибок и недочетов.	ошибок и недочетов.	ых задач
--	--	---	---	-------------------------------	-------------------------------	---------------------	----------

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

В чем заключается основное отличие для 3-х и 4-уровневых схем при создании инверсии в активной среде?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Объяснить эквивалентность 4-уровневой схемы при рассмотрении полупроводниковой активной среды	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Изобразить энергетическую схему лазерного диода в гетероструктуре	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Почему в квантоворазмерных активных слоях происходит увеличение запрещенной зоны?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Что произойдет с порогом генерации при уменьшении квантового	ПК-1, ПК-2, ПК-3

выхода люминесценции?	
Чем определяется оптимальная толщина активного слоя в полупроводниковой среде, при которой порог имеет наименьшее значение?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
К чему приводит наличие дополнительного волновода внутри активной зоны?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Как можно охарактеризовать спонтанное излучение полупроводниковом лазере?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Чем ограничивается максимальный объем активного слоя в лазере?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Каким способом и за счет каких параметров можно увеличить мощность генерации лазерного диода?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Чем определяется частота генерации в резонаторах с селективными и неселективными потерями?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Какой физический смысл имеют параметры внутреннего и внешнего квантового выхода ?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Чем объясняется наблюдаемое переключение мод в спектре генерации при изменении тока накачки?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
С какими внутренними параметрами связана диаграмма направленности излучения лазера?	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Почему с увеличением длины резонатора в полупроводниковом лазере мощность генерации при постоянном токе сначала растет, а потом падает?	ПК-1, ПК-2, ПК-3

5.2.1. Типовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-3

1. Принцип работы полупроводникового лазера.
2. Оптические гетероструктуры.
3. Процессы излучательной рекомбинации.
4. Инверсия и усиление в полупроводниковой активной среде.
5. Физические параметры и рабочие характеристики полупроводникового лазера. Квантовая эффективность.
6. Волноводные свойства. Диаграмма направленности излучения.
7. Спектрально-энергетические свойства излучателей.
8. Шумовые свойства полупроводникового лазера.
9. Стабильность и надежность лазерных диодов.
10. Модуляционные свойства полупроводникового лазера. Релаксационный пик.
11. Полоса модуляции. СВЧ-особенности при модуляции лазерного излучения.
12. Типы современных ПЛ, применяемых в системах связи.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Х.Кейси, М.Паниш «Лазеры на гетероструктурах» в 2-х томах, М. «Мир», 1981г. – 3 экз.
2. В.Б. Цареградский «Инжекционный полупроводниковый лазер» Учебное пособие // Горький, Горьковский университет, 1988г., 59с. – 4 экз.
3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи.// - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Техносфера, 2006. - С. 512. – 15 экз.
4. Гауер Дж. Оптические системы связи, М., 1989г. – 4 экз.

б) дополнительная литература:

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике - М.: «Наука», 1983, 320с.- 64 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютеры, проектор, доска.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО ННГУ по направлению подготовки 03.04.03 «Радиофизика».

Авторы _____

доцент Маругин А.В.

м.н.с. Святошенко Д.Е.

и.о. заведующего кафедрой Маругин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23