

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика и технология полупроводниковых лазеров

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.01 Физика и технология полупроводниковых лазеров относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знание основных принципов, лежащих в основе работы полупроводниковых лазерных излучателей, а также их рабочих характеристик.</p> <p>Умение использовать базовые знания радиофизики при изучении полупроводниковых лазеров, а также при использовании их в научно-исследовательской деятельности. Владение опытом использования фундаментальных разделов радиофизики и физики полупроводниковых лазеров при решении научно-исследовательских задач</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знание основных принципов, лежащих в основе работы полупроводниковых лазерных излучателей, а также их рабочих характеристик.</p> <p>Умение использовать базовые знания радиофизики при изучении полупроводниковых лазеров, а также при использовании их в научно-исследовательской деятельности. Владение опытом использования фундаментальных разделов радиофизики и физики</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

		полупроводниковых лазеров при решении научно-исследовательских задач		
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать основные возможности современного оптического и лазерного оборудования, а также новейший отечественный и зарубежный опыт.</p> <p>Уметь использовать современное оптическое и лазерное оборудование и новейший отечественный и зарубежный опыт. Владеть опытом самостоятельной постановки научных задач в области квантовой радиофизики и лазерной физики и их решения с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать основные возможности современного оптического и лазерного оборудования, а также новейший отечественный и зарубежный опыт.</p> <p>Уметь использовать современное оптическое и лазерное оборудование и новейший отечественный и зарубежный опыт. Владеть опытом самостоятельной постановки научных задач в области квантовой радиофизики и лазерной физики и их решения с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать основные возможности современного оптического и лазерного оборудования, а также новейший</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

		<p>отечественный и зарубежный опыт.</p> <p>Уметь использовать современное оптическое и лазерное оборудование и новейший отечественный и зарубежный опыт. Владеть опытом самостоятельной постановки научных задач в области квантовой радиофизики и лазерной физики и их решения с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать основные возможности современного оптического и лазерного оборудования, а также новейший отечественный и зарубежный опыт.</p> <p>Уметь использовать современное оптическое и лазерное оборудование и новейший отечественный и зарубежный опыт. Владеть опытом самостоятельной постановки научных задач в области квантовой радиофизики и лазерной физики и их решения с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0

- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Введение. Общие принципы работы лазеров.	6	2		2	4
Тема 2. Активная полупроводниковая среда. Специфика условий создания инверсии в полупроводниках. Спектральные особенности	16	4		4	12
Тема 3. Потери и усиление в полупроводниковых излучателях	12	4		4	8
Тема 4. Основы технологии изготовления полупроводниковых многослойных структур	12	4		4	8
Тема 5. Волноводные свойства излучателя. Оптический резонатор. Многослойные зеркала	9	4		4	5
Тема 6. Основные характеристики излучения полупроводникового лазера	14	4		4	10
Тема 7. Лазеры с распределенной обратной связью	16	4		4	12
Тема 8. Лазеры с вертикальным резонатором	12	4		4	8
Тема 9. Тенденции в развитии полупроводниковых лазерных систем	10	2		2	8
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

-

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Помимо ознакомления с рекомендованной литературой в процессе обучения самостоятельная работа обучающегося предполагает проработку контрольных вопросов

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. В чем заключается основное отличие для 3-х и 4-уровневых схем при создании инверсии в активной среде?
2. Объяснить эквивалентность 4-уровневой схемы при рассмотрении полупроводниковой активной среды
3. Изобразить энергетическую схему лазерного диода на гетероструктуре
4. Почему в квантоворазмерных активных слоях происходит увеличение запрещенной зоны?
5. Что произойдет с порогом генерации при уменьшении квантового выхода люминесценции?
6. Чем определяется оптимальная толщина активного слоя в полупроводниковой среде, при которой порог имеет наименьшее значение?

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. К чему приводит наличие дополнительного волновода внутри активной зоны?
2. Как можно охарактеризовать спонтанное излучение в полупроводниковом лазере?
3. Чем ограничивается максимальный объем активного слоя в лазере?
4. Каким способом и за счет каких параметров можно увеличить мощность генерации лазерного диода?
5. Чем определяется частота генерации в резонаторах с селективными и неселективными потерями?
6. Какой физический смысл имеют параметры внутреннего и внешнего квантового выхода ?
7. Чем объясняется наблюдаемое переключение мод в спектре генерации при изменении тока накачки?
8. С какими внутренними параметрами связана диаграмма направленности излучения лазера?

9 . Почему с увеличением длины резонатора в полупроводниковом лазере мощность генерации при постоянном токе сначала растет, а потом падает?

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных	При решении стандартных	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы все

	умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. В чем заключается основное отличие для 3-х и 4-уровневых схем при создании инверсии в активной среде?
2. Объяснить эквивалентность 4-уровневой схемы при рассмотрении полупроводниковой активной среды
3. Изобразить энергетическую схему лазерного диода на гетероструктуре
4. Почему в квантоворазмерных активных слоях происходит увеличение запрещенной зоны?
5. Что произойдет с порогом генерации при уменьшении квантового выхода люминесценции?
6. Чем определяется оптимальная толщина активного слоя в полупроводниковой среде, при которой порог имеет наименьшее значение?

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

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

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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

Оценка	Критерии оценивания
	программой ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Кейси Х. Лазеры на гетероструктурах : в 2 т. [Т.] 2. Материалы. Рабочие характеристики / пер. с англ. Б. Н. Свердлова ; под ред. П. Г. Елисеева. - М. : Мир, 1981. - 364 с. : ил. - 3.60., 3 экз.
2. Цареградский Владимир Борисович. Инжекционный полупроводниковый лазер : учеб. пособие / Горьк. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Горький, 1988. - 59 с. - б/ц., 4 экз.

Дополнительная литература:

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / пер. с англ., под ред. Н. Н. Слепова. - М. : Техносфера, 2003. - 440 с. : ил. - (Мир связи). - ISBN 5-94836-010-5. - ISBN 0-471-41477-8 : 320.00., 15 экз.
2. Карлов Николай Васильевич. Лекции по квантовой электронике : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1983. - 319 с. : ил. - 1.10., 63 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

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 по направлению подготовки 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Маругин Алексей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.