

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт прикладной математики, физики и информатики
(Наименование института)



УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

_____ К.С. Хорьков

» август _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАКАЧКИ
(наименование дисциплины)

направление подготовки / специальность

12.04.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»

(код и наименование направления подготовки (специальности))

направленность (профиль) подготовки

«Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы»

(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир
Год 2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Системы лазерной полупроводниковой накачки» является последовательное рассмотрение всех деталей когерентной накачки. Дисциплина должна сформировать у студентов понимание теоретических и экспериментальных основ функционирования мощных лазерных диодов и применения полученных знаний в конструировании соответствующих лазерных систем.

Задачи дисциплины:

- изучение принципов оптической накачки активных сред твердотельных лазеров с подробным рассмотрением когерентной (лазерной) накачки;
- изучение физических принципов функционирования и конструктивных особенностей мощных лазерных диодов, а также сборок таких диодов;
- приобретение знаний и навыков, необходимых для конструирования квантронов твердотельных лазеров;
- изучение основ схемотехники систем электропитания ЛД, линеек и матриц ЛД;
- приобретение навыков практической работы с мощными ЛД, измерения выходных параметров систем полупроводниковой накачки.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Системы лазерной полупроводниковой накачки» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-2. Способен проводить теоретические и экспериментальные исследования лазерной техники, лазерных опико-электронных приборов и систем	ПК-2.1. Знает методы и средства теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности с учётом требований безопасности. ПК-2.2. Умеет проводить теоретические и экспериментальные исследования в области лазерной техники и лазерных технологий. ПК-2.3. Владеет навыками целенаправленного планирования, проведения математических и физических экспериментов в области профессиональной деятельности и анализа их результатов, в том числе с использованием средств автоматизации.	Знает методы и средства измерений параметров лазерного излучения; методы математического моделирования в области профессиональной деятельности; требования безопасности при проведении экспериментальных исследований лазерной техники, лазерных опико-электронных приборов и систем; Умеет измерять параметры лазерного излучения; участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в области лазерной техники и лазерных технологий; Владеет навыками целенаправленного планирования экспериментов;	Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание

		проведения математических и физических экспериментов в области профессиональной деятельности и анализа их результатов;	
ПК-3. Способен проводить расчёты для определения необходимых параметров гетероструктуры и конструкции излучающего элемента полупроводникового лазера	ПК-3.1. Знает расчётные соотношения и методики расчёта при конструировании излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем. ПК-3.2. Умеет определять набор необходимых требований и ограничений при конструировании излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем. ПК-3.3. Владеет навыками выполнения расчётов для определения необходимых требований к параметрам гетероструктуры и конструкции излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем.	Знает расчётные соотношения и методики расчёта при конструировании излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем Умеет определять набор необходимых требований и ограничений при конструировании излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем Владеет навыками выполнения расчётов для определения необходимых требований к параметрам гетероструктуры и конструкции излучающих элементов полупроводниковых лазеров и вспомогательных систем	Тестовые вопросы Ситуационные задачи
ПК-5. Способен проектировать твердотельные лазерные системы (элементы таких систем) с лазерной диодной накачкой	ПК-5.1. Знает основные принципы проектирования лазерных твердотельных систем, в том числе специфику проектирования систем с лазерной диодной накачкой. ПК-5.2. Умеет выполнять расчёт основных параметров элементов твердотельных лазерных систем с лазерной диодной накачкой. ПК-5.3. Владеет навыками проектирования элементов твердотельных лазерных систем с лазерной диодной накачкой.	Знает основные принципы проектирования лазерных твердотельных систем, в том числе специфику проектирования систем с лазерной диодной накачкой; Умеет выполнять расчёт основных параметров элементов твердотельных лазерных систем с лазерной диодной накачкой; Владеет навыками проектирования элементов твердотельных лазерных систем с лазерной диодной накачкой;	Тестовые вопросы Ситуационные задачи

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Принципы функционирования и устройство полупроводниковых лазерных излучателей	3	1-6	6	8	4		24	1-й рейтинг контроль
2	Схемы полупроводниковой накачки	3	7-12	8	6	10		34	2-й рейтинг контроль
3	Управление и контроль параметров	3	13 -	4	4	4		32	3-й рейтинг контроль

	полупроводниковых лазерных излучателей							
Всего за <u>3</u> семестр:		18	18	18	18		90	Экзамен (36ч.)
Наличие в дисциплине КП/КР	-	-	-	-	-		-	-
Итого по дисциплине	3	18	18	18	18		90	Экзамен (36ч.)

Содержание лекционных занятий по дисциплине

1. Раздел 1. Принципы функционирования и устройство полупроводниковых лазерных излучателей.

1 Оптическая накачка – основной тип накачки твердотельных лазерных сред:

1. Введение, задачи курса и его место в ряду других дисциплин.

2. Понятие некогерентной (ламповой) и когерентной (лазерными диодами) накачки.

3. Физические принципы конструирования систем накачки твердотельных лазеров (квантронов).

4. Сравнительные характеристики рассматриваемых типов накачки. Преимущества и недостатки. Области применения.

2 Физические основы функционирования полупроводниковых лазеров:

1. Электронные характеристики лазерных p-n переходов.

2. Лазеры на гомо- и гетеропереходах.

3. Гетероструктуры – основной тип лазерных диодов. Квантоворазмерные ЛД.

4. Пороговый ток и его связь с параметрами гетероструктуры.

3 Конструкции мощных лазерных диодов:

1. Рассмотрение типичной гетероструктуры мощного ЛД.

2. Назначение элементов гетероструктуры.

3. Способы повышения удельных параметров ЛД за счёт совершенствования гетероструктуры.

4. Основные системы полупроводников, применяемых при производстве мощных ЛД. Основные диапазоны длин волн, освоенные к настоящему времени. Задачи и перспективы.

4 Многоэлементные полупроводниковые излучатели – линейки и матрицы ЛД:

1. Агрегатирование отдельных ЛД в многоэлементные излучающие (линейки и матрицы) структуры – единственно возможный способ наращивания выходной мощности.

2. Технологические приёмы выполнения многоэлементных излучателей.

3. Сборки с выводом излучения в свободное пространство и в оптическое волокно.

Раздел 2. Схемы полупроводниковой накачки.

5 Торцевая и поперечная типы накачки твердотельных активных элементов:

1. Согласование объёмов накачиваемой среды с объёмом моды при продольной накачке.

2. Проблема неоднородности распределения накачки по длине активного элемента и возможные способы её преодоления (АЭ из лазерной керамики). (для продольной схемы).

3. Проблема неоднородности распределения накачки по поперечному сечению активного элемента и методы улучшения ситуации (для поперечной схемы).

6 Продольная (торцевая) схема накачки:

1. Торцевая накачка – основной способ накачки маломощных лазеров.

2. Лазерная «указка» - типичный пример чип-лазера (твердотельный лазер с торцевой накачкой и преобразованием излучения во II гармонику).

3. Реализация импульсно-периодического режима в лазерах с торцевой накачкой.

4. Примеры конструкций лазеров, реализующих продольную накачку.

7 Поперечная (торцевая) схема накачки:

1. Переход к поперечной накачке – эффективный способ повышения мощности / энергии излучения твердотельных лазеров.

2. Непрерывный и импульсный режим накачки.

3. Примеры конструкций квантронов, реализующих поперечную накачку.
4. Накачка активных элементов нетрадиционной формы (тонкий слэб, диск).

Раздел 3. Управление и контроль параметров полупроводниковых лазерных излучателей.

8 Схемотехника источников электропитания (драйверов) мощных ЛД и сборок ЛД:

1. ЛД как нагрузка источника питания. Необходимость питания ЛД от источника тока.

2. Общая схема линейного токового драйвера. Реализация схемы драйвера на операционном усилителе.

3. Методы и подходы построения мощных драйверов сборок ЛД. ШИМ-регулирование – основной приём управления током излучателя с высоким КПД.

9 Измерение параметров мощных ЛД и сборок ЛД:

1. Измерение выходной мощности.

2. Измерение спектральных характеристик излучения полупроводниковых лазерных излучателей.

3. Расходимость излучения мощных ЛД. Особенности угловых характеристик излучения таких лазеров.

Содержание практических/лабораторных занятий по дисциплине

Раздел 2. _ Схемы полупроводниковой накачки

1. Изучение конструкции лазерного диодного чипа.
2. Изучение конструкции лазерной матрицы лазерных диодов

Раздел 3. Управление и контроль параметров полупроводниковых лазерных излучателей

- 1 Измерение спектральных характеристик матриц ЛД на установке SCLD-10-IR.
- 2 Измерение электрофизических характеристик матриц ЛД на установке IELD-8.
- 3 Прецизионная настройка спектра ЛД на максимум поглощения активной среды.
- 4 Изучение генерации Nd³⁺:YAG чип-лазера с торцевой накачкой.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Рейтинг-контроль № 1

1. Некогерентная и когерентная накачка.
2. Физические принципы конструирования квантронов.
3. Общие принципы функционирования накачки твердотельных лазерных активных элементов.
4. Сравнительные характеристики различных типов лазерной накачки.
5. Области применения различных типов лазерной накачки.
6. Электронные характеристики лазерных p-n переходов.
7. Лазеры на гомо- и гетеропереходах.
8. Гетероструктуры.
9. Квантоворазмерные лазерные диоды.
10. Пороговый ток и его связь с параметрами гетероструктуры.
11. Типичная гетероструктура мощного лазерного диода.
12. Назначение элементов гетероструктуры мощного лазерного диода.
13. Основные системы полупроводников, применяемых при производстве мощных лазерных диодов.
14. Задачи и перспективы области производства мощных лазерных диодов.
15. Агрегатирование лазерных диодов.

16. Технологические приёмы выполнения многоэлементных полупроводниковых излучателей.

17. Сборки полупроводниковых лазерных диодов с выводом излучения в свободное пространство и в волокно.

Рейтинг-контроль № 2

1. Согласование объёмов активной среды с объёмом моды при продольной накачке.
2. Распределение накачки по длине активного элемента.
3. Способы преодоления неоднородности распределения накачки по длине активного элемента для продольной схемы.
4. Способы улучшения распределения накачки по поперечному сечению активного элемента для поперечной схемы.
5. Торцевая накачка как основной способ накачки маломощных лазеров.
6. Лазерная «указка».
7. Импульсно-периодический режим в лазерах с торцевой накачкой.
8. Конструкции лазеров с продольной накачкой.
9. Улучшение энергетических характеристик излучения твердотельных лазеров с помощью поперечной накачки.
10. Непрерывный и импульсный режимы накачки.
11. Квантроны, реализующие поперечную накачку.
12. Накачка активных элементов нетрадиционной формы.

Рейтинг-контроль № 3

1. Лазерный диод как нагрузка источника питания.
2. Общая схема линейного токового драйвера.
3. Схема токового драйвера на операционном усилителе.
4. Методы и подходы построения мощных драйверов сборок лазерных диодов.
5. ШИМ-регулирование.
6. Измерение выходной мощности мощных лазерных диодов и сборок лазерных диодов.
7. Измерение спектральных характеристик полупроводниковых лазерных излучателей.
8. Расходимость излучения мощных лазерных диодов.
9. Особенности угловых характеристик излучения полупроводниковых лазеров.

5.2. Промежуточная аттестация

Вопросы к экзамену:

1. Некогерентная и когерентная накачка. Физические принципы конструирования квантронов.
2. Общие принципы функционирования накачки твердотельных лазерных активных элементов. Сравнительные характеристики различных типов лазерной накачки. Области применения различных типов лазерной накачки.
3. Электронные характеристики лазерных p-n переходов. Лазеры на гомо- и гетеропереходах.
4. Гетероструктуры. Квантоворазмерные лазерные диоды. Пороговый ток и его связь с параметрами гетероструктуры.
5. Типичная гетероструктура мощного лазерного диода. Назначение элементов гетероструктуры мощного лазерного диода.
6. Основные системы полупроводников, применяемых при производстве мощных лазерных диодов.
7. Агрегатирование лазерных диодов. Технологические приёмы выполнения многоэлементных полупроводниковых излучателей.
8. Сборки полупроводниковых лазерных диодов с выводом излучения в свободное пространство и в волокно.

9. Согласование объемов активной среды с объемом моды при продольной накачке.
10. Распределение накачки по длине активного элемента. Способы преодоления неоднородности распределения накачки по длине активного элемента для продольной схемы.
11. Способы улучшения распределения накачки по поперечному сечению активного элемента для поперечной схемы.
12. Торцевая накачка как основной способ накачки маломощных лазеров.
13. Лазерная «указка».
14. Импульсно-периодический режим в лазерах с торцевой накачкой.
15. Конструкции лазеров с продольной накачкой.
16. Улучшение энергетических характеристик излучения твердотельных лазеров с помощью поперечной накачки.
17. Непрерывный и импульсный режимы накачки.
18. Квантроны, реализующие поперечную накачку.
19. Накачка активных элементов нетрадиционной формы.
20. Лазерный диод как нагрузка источника питания. Общая схема линейного токового драйвера.
21. Схема токового драйвера на операционном усилителе.
22. Методы и подходы построения мощных драйверов сборок лазерных диодов. ШИМ-регулирование.
23. Измерение выходной мощности мощных лазерных диодов и сборок лазерных диодов. Измерение спектральных характеристик полупроводниковых лазерных излучателей.
24. Расходимость излучения мощных лазерных диодов. Особенности угловых характеристик излучения полупроводниковых лазеров.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Вопросы к самостоятельной работе студента

1. Лазеры на парах щелочных металлов с диодной накачкой.
 2. Оптическое возбуждение паров щелочных металлов.
 3. Атомные лазеры с оптической накачкой.
 4. Физические свойства активных сред на парах щелочных металлов.
 5. Спектроскопические свойства активных сред на парах щелочных металлов.
 6. Кинетические свойства активных сред на парах щелочных металлов.
 7. Лазерные диоды, применяемые для накачки активных сред на парах щелочных металлов.
 8. Системы термостатирования полупроводниковых лазеров.
- Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература*		
Богданов, А.В. Волоконные технологические лазеры и их применение : учебное пособие / А.В. Богданов, Ю.В. Голубенко. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 236 с. — ISBN 978-5-8114-2027-8.	2018	https://e.lanbook.com/book/101825
Борейшо, А.С. Лазеры: устройство и действие : учебное пособие /	2017	https://e.lanbook.com/b

А.С. Борейшо, С.В. Ивакин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-2088-9.		ook/93585
Соснин, Э. А. Методология эксперимента : учеб. пособие / Э.А. Соснин, Б.Н. Пойзнер. — 2-е изд., испр. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 162 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа http://znanium.com]. — (Высшее образование: Магистратура). — ISBN 978-5-16-107890-7.	2019	https://znanium.com/catalog/product/978087
Дополнительная литература		
Фокин, В.Г. Когерентные оптические сети : учебное пособие / В.Г. Фокин. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 440 с. — ISBN 978-5-8114-2105-3.	2016	https://e.lanbook.com/book/75523
Смирнов, Ю.А. Основы нано- и функциональной электроники : учебное пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-1378-2.	2013	https://e.lanbook.com/book/76223
Пойзнер, Б. Н. Физические основы лазерной техники : учеб. пособие / Б.Н. Пойзнер. — 2-е изд., доп. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 160 с. — (Высшее образование: Магистратура). — ISBN 978-5-16-105864-0.	2018	https://znanium.com/catalog/product/942818

6.2. Периодические издания

1. Журнал «Фотоника» – <http://www.photonics.su>
2. Журнал «Письма в журнал технической физики» – <https://journals.ioffe.ru/journals>
3. Журнал «Физика и техника полупроводников» – <https://journals.ioffe.ru/journals/2>
4. Квантовая электроника — ведущий российский научный ежемесячный журнал в области лазеров и их применений.
5. Laser Physics - то международный журнал, издаваемый в сотрудничестве с институтами, занимающимися лазерными исследованиями.
6. Applied Physics Letters — еженедельный рецензируемый научный журнал, посвящённый новым экспериментальным и теоретическим результатам в прикладной физике.

6.3. Интернет-ресурсы

1. <https://elibrary.ru> – электронная библиотека научных публикаций
2. <http://www.electronics.ru> – электронный технический журнал
3. <http://laser-portal.ru> – портал о лазерах и лазерных технологиях
4. www.quantum-electron.ru
5. www.lasphys.com
6. www.photonics.su
7. www.nanoindustry.su

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для полноценного преподавания дисциплины необходим комплект оборудования:

- установка SCLD-10-IR предназначена для измерения спектральных характеристик линеек лазерных диодов и матриц лазерных диодов;
 - установка IELD-8 для измерения электрических и оптических параметров лазерных линеек;
 - драйвер полупроводникового лазера LLD-9;
 - лазер твердотельный волоконный ЛС-02;
 - плита оптическая ИНТЮ-20-20;
- кафедральные мультимедийные средства.

Стандартно оборудованные лекционные аудитории, или оборудованные для проведения интерактивных лекций: компьютер, видеопроектор, экран настенный, доска для маркера, флипчарт, выход в интернет.

Рабочую программу составил зав. баз. каф. ЛСиК Антипов А.А. _____
(должность, ФИО, подпись)

Рецензент
Генеральный директор ООО «ВладИнТех» _____ А.В. Осипов
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Заведующий кафедрой _____ С.М. Аракелян
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании учебно-методической комиссии направления 12.04.05
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Председатель комиссии _____ С.М. Аракелян
(ФИО, должность, подпись)

ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20²² / 20²³ учебный года
Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2021 года
Заведующий кафедрой _____ С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года
Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года
Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года
Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года
Заведующий кафедрой _____