

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем лазерных и информационных технологий
Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ИЛИИТ РАН
по научной работе

_____ В.Д. Дубров

«_____» _____ 2012 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«МОЩНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЛАЗЕРЫ»

для подготовки аспирантов по научной специальности
05.27.03 – Квантовая электроника

Шатура 2012

Программа составлена в соответствии с утвержденными ФГТ и рекомендациями по формированию основных профессиональных образовательных программ послевузовского профессионального образования.

Статус дисциплины: ОД.А.03.

ЗЕТ: 2.

Научные подразделения:

- отдел НИЦТЛ (Научно-исследовательский центр по технологическим лазерам),
- научно-образовательный центр «Лазера. Оптика. Информатика».

Руководители дисциплины:

д.ф.-м.н., профессор Низьев В.Г.

тел. 8 (49645) 2-22-00, доб. 121;

e-mail: niziev@mail.ru

д.ф.-м.н., профессор Лебедев Ф.В.

тел. 8 (49645) 2-05-18;

e-mail fleb2@mail.ru

Программа одобрена Ученым советом ИПЛИТ РАН, протокол № 3/2012 от 27.09.2012 г.

Согласовано:

Ученый секретарь

д.ф.-м.н., профессор

Ф.В. Лебедев

Начальник отдела НИЦТЛ

д.ф.-м.н., профессор

В.Г. Низьев

Начальник отдела

аспирантуры

Л.В. Новикова

1. Цели и задачи дисциплины

Дисциплина «Мощные технологические лазеры» ставит своей целью приобретение теоретических и практических навыков, необходимых для разработки и исследования характеристик приборов, устройств, систем и комплексов с использованием лазерного излучения для задач промышленности и медицины.

Достижение названной цели предполагает решение следующих учебных задач дисциплины:

1) *теоретический компонент*: получить базовые представления о физических и конструктивных особенностях мощных технологических лазеров и основных характеристиках лазерного излучения;

2) *практический компонент*: сформировать основные практические навыки применения лазерного технологического оборудования в научно-исследовательской деятельности.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)

Дисциплина ОД.А.03 «Мощные технологические лазеры» относится к основным специальным дисциплинам учебного плана подготовки аспирантов по научной специальности 05.27.03 «Квантовая электроника».

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах подготовки магистров или специалистов:

- «Электродинамика»;
- «Квантовая механика»;
- «Физическая оптика»;
- «Физика твердого тела»;
- «Физика полупроводников и диэлектриков»;
- «Квантовая электроника»;
- «Оптоэлектроника»;
- «Лазерная техника».

Основные положения дисциплины будут использованы при подготовке к кандидатскому экзамену по научной специальности 05.27.03 «Квантовая электроника», в научно-исследовательской работе и при выполнении диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических и технических наук.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате изучения дисциплины «Мощные технологические лазеры» аспирант должен:

– *иметь представление*: о месте и роли дисциплины в своей будущей научной и практической деятельности, о взаимосвязи дисциплины с другими дисциплинами, наукой и техникой.

– *знать*: физические основы квантовой электроники; физические основы технологических лазеров; основные лазерные параметры – методы их измерения и управления; конструктивные особенности технологических лазеров различных типов.

– *уметь*: самостоятельно работать со сложным лазерным технологическим оборудованием.

Результатом освоения дисциплины «Мощные технологические лазеры» является формирование компетенций, необходимых для успешной научно-исследовательской работы в области квантовой электроники:

Общие профессиональные компетенции:

- способность демонстрировать и применять углубленные знания в профессиональной деятельности;
- способность адаптировать новое знание в узкопрофессиональной и междисциплинарной деятельности;
- способность к самостоятельному построению и аргументированному представлению научной гипотезы.

Компетенции отрасли науки:

- способность к самостоятельной постановке и решению сложных теоретических и прикладных задач квантовой электроники;
- свободное владение смежными разделами науки, умение ориентироваться в разнообразии методологических подходов;
- способность проводить самостоятельно и в составе исследовательского коллектива научные и технические исследования, связанные с разработкой и созданием принципиально новых и совершенствовании имеющихся устройств квантовой электроники (лазеров, лазерных комплексов и систем), а также разработкой материалов, элементно-узловой базы, технологии и спецоборудования для них с целью применения в различных областях науки и техники.

4. Содержание и структура дисциплины

4.1 Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Физические основы квантовой электроники. Типы лазеров. Резонаторы.	Энергетические состояния и квантовые переходы в атомных системах. Спонтанное и вынужденное излучения. Ширина и форма спектральных линий. Инверсия населенностей энергетических состояний. Насыщение, поглощение и усиление света. Оптическая когерентность. Лазерная генерация. Газовые лазеры. Лазеры на твердых активных средах. Оптические резонаторы: типы колебаний, собственные частоты, добротность оптических резонаторов. Методы селекций продольных и поперечных типов колебаний.	Зачет
2	Свойства активных сред и динамика излучения лазеров.	Активные среды с однородно-уширенной линией, кинетические уравнения, уравнения переноса. Анализ кинетики одномодового генератора. Взаимодействие различных типов колебаний. Роль насыщения и неоднородности накачки. Многомодовый режим. Пички в лазерах. Шумы излучения. Методы стабилизации интенсивности и частоты излучения лазеров. Модуляция добротности. Время нарастания и длительность импульса генерации.	Зачет
3	Основные параметры лазерного излучения.	Мощность лазерного излучения, энергия импульса излучения. Распределение излучения в ближней и дальней зонах, угловая расходимость. Когерентность (пространственная, временная). Поляризация, спектр мод резонатора. Стабильность. Шумы излучения, параметры модуляции лазеров. Методы измерения параметров лазерного излучения. Устройства для управления параметрами лазерного излучения.	Зачет
4	Принципы конструкции лазеров.	Источники накачки и питания лазеров. Выбор оптической схемы, типа резонатора, оптических развязок, материалов (пропускание, однородность, оптическая плотность, точность обработки), элементов управления. Выбор источников накачки и параметров системы питания. Конструктивные принципы стабилизации основных параметров и обеспечения работы лазера в широком диапазоне температур.	Зачет

4.2 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

Вид работы	Трудоемкость, час.
	2 курс
Общая трудоемкость	72
Аудиторная работа:	16
<i>Лекции (Л)</i>	8
<i>Практические занятия (Пр)</i>	8
Самостоятельная работа (Ср):	56
Самостоятельное изучение разделов	28
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий и т.д.)	28
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Экзамен

Разделы дисциплины

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов			
		Всего	Аудиторная работа		Вне-ауд. работа Ср
			Л	Пр	
1	Физические основы квантовой электроники. Типы лазеров. Резонаторы.	18	2	2	14
2	Свойства активных сред и динамика излучения лазеров.	18	2	2	14
3	Основные параметры лазерного излучения.	18	2	2	14
4	Принципы конструкции лазеров.	18	2	2	14
	<i>Итого:</i>	72	8	8	56

4.3 Практические занятия

№ занятия	№ раздела	Тематика	Кол-во часов
1	1	Многоканальные волноводные технологические CO ₂ -лазеры	2
2	2	Электроразрядные CO ₂ -лазеры с аксиальной прокачкой газа	2
3	3	Твердотельные лазеры	2
4	4	Экимерные лазеры	2
Итого			8

4.4 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

№ раздела	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение
1	Полупроводниковые инжекционные лазеры.
1	Лазеры на гетероструктурах.

1	Лазеры на квантово-размерных структурах.
1	Лазерные усилители.
1	Преобразователи частоты излучения и перестраиваемые лазеры.
1	Лазеры на растворах органических соединений (красителей).
1	Комбинационные преобразователи и лазеры (на ВКР).
2	Динамика полупроводниковых лазеров и газовых лазеров с доплеровской линией.
2	Электрооптические, магнитооптические, оптико-механические, акустооптические модуляторы добротности.
2	Просветляющиеся фильтры.
2	Генерация коротких и сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов. Метод синхронизации мод, полоса синхронизации и параметры импульсов.
2	Метод синхронизации мод, полоса синхронизации и параметры импульсов.
2	Управление параметрами импульсов, схемы модуляции добротности.
2	Основные нелинейные эффекты в различных средах и их применение.
2	Преобразование частоты лазерного излучения, генерация гармоник и комбинационных частот, параметрическое усиление и параметрическая генерация света.
2	Вынужденные рассеяния: Мандельштама-Бриллюена (ВРМБ), комбинационное (рамановское, ВКР), Рэлеевское.
2	Самофокусировка.
2	Оптический пробой в газах и твердых телах. Оптическая прочность (поверхностная и объемная) элементов лазера.
2	Обращение волнового фронта методами нелинейной оптики.
2	Активная спектроскопия комбинационного рассеяния.
3	Лазерные затворы.
3	Дефлекторы и модуляторы лазерного излучения.
3	Ячейки Керра, Погкельса, Фарадея, акустооптические. Принцип работы, методы расчета, синхронизация внешним сигналом.
3	Пространственно-временные модуляторы света.
3	Адаптивные зеркала.
3	Оптические, в т.ч. управляемые фильтры.
4	Источники питания твердотельных лазеров.
4	Накачка твердотельных лазеров диодами.
4	Источники питания газоразрядных лазеров.
4	Источники питания инжекционных полупроводниковых лазеров.
4	Системы теплоотвода и охлаждения активных элементов лазера.

5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература

1. Siegman A.E. LASERS Stanford University University Science Books Mill Valley, California 1986, 1285 p.
2. Херман Й., Вильгельм Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир, 1986.
3. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит., 1988.
4. Физика полупроводниковых лазеров Под ред. Х. Тукумы. М.: Мир, 1989.
5. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990. / O. Svelto. Principles of lasers. 4th ed. Plenum Pub. Co., New York, 1998, 604 p.
6. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990.
7. Технологические лазеры: Справочник: В 2-х т. Под ред. Г.А. Абильтситова. М., Машиностроение, 1991.
8. Коротеев Н.И., Шумай И.Л. Физика мощного лазерного излучения. М: Наука, 1991.
9. Зверев Г.М., Голяев Ю.Д. Лазеры на кристаллах и их применение. М.: Радио и связь, 1994.
10. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004 г., 320 с.
11. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники: оптический диапазон. М.: URSS,

- 2010.
12. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989.
 13. Тарасов Л.В. Физика лазера. М: URSS, 2011.

5.2 Дополнительная литература

1. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: Высшая школа, 1983.
2. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. /Под ред. Зверева Г.М. М.: Радио и связь, 1985.
3. Инжекционные лазеры и их применение. / Под ред. Глисева П.Г. М.: Наука, 1992.
4. Измерение параметров и характеристик лазерного излучения: термины, определения. М.: Издательство стандартов, 1988.
5. Измерение параметров приемников оптического излучения. М.: Радио и связь, 1983.
6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник. М.: Высш. шк., 2001.
7. Тарасов Л.В. Четырнадцать лекций о лазерах. М.: URSS, 2011.
8. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 1. Физические основы технологических лазеров: Учеб. пособие для вузов / В.С. Голубев, Ф.В. Лебедев; Под ред. А.Г. Григорьянца. М: Высш. шк., 1987.
9. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 2. Инженерные основы создания технологических лазеров: Учеб. пособие для вузов / В.С. Голубев, Ф.В. Лебедев; Под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1988.
10. Справочник по лазерам. В 2 т. / Под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. радио, 1978.
11. Исламов Р.Ш. Нелинейная оптика: Учеб. пособ. М.: Изд-во МИИГАиК. 2008.

5.3 Периодические издания

Журналы:

1. Квантовая электроника
2. Журнал экспериментальной и теоретической физики
3. Письма в Журнал Технической Физики
4. Вестник РАН.
5. Доклады Академии наук.
6. Известия РАН.Серия физическая.
7. Успехи физических наук.
8. Журнал теоретической физики.
9. Физика Твёрдого Тела
10. Физика плазмы
11. Физика и химия обработки материалов
12. Известия вузов. Приборостроение
13. Известия вузов.Физика.
14. Физика и техника полупроводников.
15. Оптический журнал.
16. Нанотехника.
17. Технология машиностроения
18. Сварочное производство
19. Российские нанотехнологии
20. Перспективные материалы
21. Сверхкритические Флюиды: Теория и Практика
22. Laser Physics
23. Laser in Medical Science
24. Applied Physics B

5.4 Интернет-ресурсы

Википедия: свободная энциклопедия. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org/>. - Загл. с экрана

Экспериментальная научная энциклопедия. – Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.wiki.laser.ru/>. - Загл. с экрана

Платформа Web of knowledge. Доступ из библиотеки ИППЛИТ РАН.

Архив научных журналов издательства Oxford University Press (с 1 выпуска до 1995 года включительно). Режим доступа из библиотеки ИППЛИТ РАН: www.oxfordjournals.org.

Электронные книги изд-ва Trans Tech. (1232 наименования). - Электрон. дан. <http://www.ttp.net/TitleIndex.html>. Режим доступа из библиотеки ИППЛИТ РАН.

Архив журналов издательства SAGE Publications (по 31 декабря 1998 года). - Электрон. дан. <http://www.sagepub.com>. Режим доступа - из библиотеки ИППЛИТ РАН.

5.5. Контрольные вопросы для самопроверки

Раздел 1. Физические основы квантовой электроники. Типы лазеров. Резонаторы.

– Оптические и безызлучательные переходы в квантовых системах. Спонтанное и вынужденное излучения.

– Энергетические состояния и квантовые переходы в атомных системах: атомные, молекулярные и ионные газы, ионы, центры окраски и красители в диэлектрических средах, оптические переходы в полупроводниках.

– Ширина и форма спектральных линий. Механизмы однородного и неоднородного уширения линий в газах и твердых телах, времена поперечной и продольной релаксаций.

– Инверсия населенностей энергетических состояний. Коэффициент усиления лазерной среды. Принципы создания инверсной населенности.

– Насыщение, поглощение и усиление света.

– Искажения контуров спектральных линий, эффект «выжигания дыр» в неоднородно уширенных линиях.

– Мазер на пучке молекул аммиака. Квантовый парамагнитный усилитель СВЧ.

– Газовые лазеры: газоразрядные (атомные, ионные, молекулярные, на парах металлов), фотодиссоционные, химические, газодинамические, электроионизационные, эксимерные. Особенности кольцевых газовых лазеров.

– Лазеры на твердых активных средах – стеклах, кристаллах, активированных волоконных материалах. Лазеры на кристаллах семейства гранатов с неодимом.

– Полупроводниковые инжекционные лазеры, лазеры на гетероструктурах, лазеры на квантово-размерных структурах.

– Лазерные усилители (бегущей волны, многопроходовые).

– Преобразователи частоты излучения и перестраиваемые лазеры: генераторы оптических гармоник, суммарных и разностных частот.

– Лазеры на растворах органических соединений (красителей).

– Комбинационные преобразователи и лазеры (на ВКР).

– Параметрические усилители и генераторы света.

– Перестраиваемые полупроводниковые лазеры.

– Лазеры на F -центрах.

– Лазеры на свободных электронах.

– Объемные резонаторы СВЧ.

– Оптические резонаторы; основные типы открытых резонаторов: плоскопараллельные, конфокальные, устойчивые, неустойчивые, кольцевые.

– Типы колебаний, собственные частоты, добротность оптических резонаторов.

– Методы селекций продольных и поперечных типов колебаний.

– Пространственные и угловые характеристики излучения лазеров.

Раздел 2. Свойства активных сред и динамика излучения лазеров

– Активные среды с однородно-уширенной линией, кинетические уравнения, уравнения переноса.

– Анализ кинетики одномодового генератора. Взаимодействие различных типов колебаний.

– Роль насыщения и неоднородности накачки. Конкуренция мод, многомодовый режим.

Пички в лазерах.

- Динамика полупроводниковых лазеров и газовых лазеров с доплеровской линией.
- Шумы излучения. Методы стабилизации интенсивности и частоты излучения лазеров.
- Модуляция добротности. Время нарастания и длительность импульса генерации. Электрооптические, магнитооптические, оптико-механические, акустооптические и другие модуляторы добротности.

- Просветляющиеся фильтры.

- Генерация серии импульсов. Метод синхронизации мод, полоса синхронизации и параметры импульсов.

- Управление параметрами импульсов, схемы модуляции добротности.

- Методы генерации сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов света.

Раздел 3. Основные параметры лазерного излучения

- Мощность (непрерывная, импульсная, средняя) лазерного излучения, энергия импульса излучения.

- Распределение излучения в ближней и дальней зонах, угловая расходимость.

- Когерентность (пространственная, временная).

- Поляризация, спектр мод резонатора (продольные и поперечные моды).

- Стабильность (кратковременная и долговременная, амплитудная и частотная).

- Шумы излучения, параметры модуляции лазеров.

- Методы измерения перечисленных параметров лазерного излучения.

- Лазерные затворы.

- Дефлекторы и модуляторы лазерного излучения.

- Ячейки Керра, Поккельса, Фарадея, акустооптические. Принцип работы, методы расчета, синхронизация внешним сигналом.

- Пространственно-временные модуляторы света.

- Адаптивные зеркала.

- Оптические, в т.ч. управляемые фильтры.

Раздел 4. Принципы конструкции лазеров

- Источники питания твердотельных лазеров. Импульсные и непрерывные лампы накачки (типы, предельные и типовые мощности, методы поджига); разрядники (вакуумные, высокого давления, воздушные); методы управления и синхронизации.

- Источники питания газоразрядных лазеров. Методы преионизации. Электроионизационный метод (принцип, требования к электронному пучку, системе питания). Электроразрядные сильноточные источники накачки (принцип работы, условия применимости). ВЧ-накачка газовых лазеров.

- Особенности источников питания инжекционных полупроводниковых лазеров.

- Накачка твердотельных лазеров световыми и лазерными полупроводниковыми диодами.

- Выбор оптической схемы, типа резонатора, оптических развязок, материалов (пропускание, однородность, оптическая плотность, точность обработки), элементов управления.

- Выбор источников накачки и параметров системы питания.

- Обеспечение вибро- и удароустойчивости.

- Конструктивные принципы стабилизации основных параметров и обеспечения работы лазера в широком диапазоне температур. Системы теплоотвода и охлаждения активных элементов.

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для получения необходимой информации и самостоятельной работы аспирантов используются web-ресурсы Интернет и библиотеки БЕН РАН.

Для проведения практических занятий предназначены оборудование и расходные материалы рабочих комнат и экспериментальных залов отдела НИЦТЛ (Научно-исследовательский центр по технологическим лазерам), лаборатории термических лазерных технологий, лаборатории лазерной сварки, лаборатории взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом, лаборатории лазерного синтеза объемных изделий.

При чтении лекций используются: ноутбук, проектор, экран.