

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.373.4

Тарасенко
Алексей Олегович

Оптимизация выходной характеристики лазера в зависимости от длины и концентрации атомов активного элемента

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание академической степени
магистра технических наук

по специальности 1-40 80 04 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Научный руководитель
Минченко Л.И.
профессор, д-р физ.-мат. наук

Минск 2015

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Процесс разработки лазера как прибора на сегодняшний день - это дорогостоящий процесс моделирования. Более того многие прикладные задачи требуют от лазеров и лазерных систем заданных характеристик излучения (временная и пространственная структура излучения при соответствующем уровне энергетических характеристик). Становится совершенно очевидно, что необходимо искать актуальные подходы для расчета и проектирования лазеров. Такими подходами являются методы расчета, проектирования лазеров и лазерных систем, построенные по принципу прямых и обратных задач с реализацией этих задач при помощи электронно-вычислительной машины (ЭВМ). В рамках прямых задач необходимо определить выходные характеристики лазерных систем при заданных конструктивных параметрах, начальных условиях.

Для решения прямых задач будущим специалистам в области математического моделирования важно понимать суть физических процессов, которые определяют принципы генерации в выбранном типе лазера. Иметь представление о физических основах оптотехники твердотельных лазерных излучателей, параметрах лазера и его излучения. Уметь применять приемы численных методов и пользоваться комплексами программ для проведения необходимых оптических и энергетических расчетов лазерных систем.

Диссертационная работа посвящена расчетам и оптимизации выходной характеристики неодимового лазера в зависимости от длины и концентрации атомов активного элемента. Неодимовые лазеры являются самыми популярными из твердотельных лазеров. В качестве активной среды используются различные матрицы, например: кристалл алюминиево-иттриевого граната (АИГ) $Y_3Al_5O_{12}$ сокращенно называемый YAG (*yttrium aluminum garnet*), кристалл ванадата иттрия YVO_4 , кристалл иттрий-лития фторида $YLiF_4$, KGW. В процессе выращивания данных кристаллов часть ионов иттрия Y^{3+} заменяется ионами неодима Nd^{3+} , которые участвуют в генерации. В связи, с чем лазеры и получили подобное название.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является определение оптимальных значений длины активного элемента и концентрации атомов неодима для получения максимальной выходной энергетической характеристики.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить физические процессы лазерного излучения в режиме свободной генерации.
2. Построить математическую модель, описывающую процессы генерации, в виде системы балансных уравнений типа Статца-Де Марса.
3. Провести расчеты и определить значения выходной энергетической характеристики в рамках технических параметров.
4. Определить максимальные значения мощности излучения при заданных значениях концентрации атомов неодима и длины активного элемента.
5. Построить 3-х мерные модели описывающие влияние концентрации и длины активного элемента на плотность потока фотонов.

Объектом исследования является компактный твердотельный неодимовый лазер с диодной накачкой.

Предметом исследования является система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающая точечную модель неодимового лазера.

Основной *гипотезой*, положенной в основу диссертационной работы, является возможность использования точечной модели для описания работы оптических генераторов. Она позволяет определить основные характеристики оптических лазерных систем в режиме свободной генерации, но недостаточна для расчета когерентных нелинейно-оптических явлений. Точечная модель лазера, описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений. Решения данной системы не может быть найдено аналитически, поэтому прибегают к численным методам. На основе полученных решений устанавливается влияние физических параметров лазера на величину выходной энергии. Это позволяет

оптимизировать выходную характеристику лазера в зависимости от длины и концентрации атомов активного элемента. Результаты работы могут быть использованы в процессах разработки и конструирования компактных лазерных систем с диодной накачкой.

Личный вклад соискателя

Расчеты математической модели, полученные результаты и построенные графические 3D модели, приведенные в диссертации, получены соискателем лично.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на I Международной научной конференции аспирантов, магистрантов, студентов и молодых ученых 4.12.2014, ВГУ им. Машерова, Витебск, Беларусь

Публикации результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 2 печатные работы в сборниках трудов и материалов международных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация включает в себя титульный лист, реферат диссертационной работы на русском и английском языках, оглавление, перечень условных обозначений и терминов, общую характеристику работы, введение, основную часть, разбитую на четыре главы, заключение, список использованных источников и приложение.

Общий объем работы составляет 50 страниц, рисунков – 11, таблиц – 2, использованных источников – 10.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определена область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика исследуемых вопросов, обозначена практическая ценность работы.

В **первой главе** приведен теоретико-методологический обзор работы. В нем описывается подход к моделированию физических процессов в лазерных системах. Он основывается на применении точечной модели. Суть точечной модели заключается в построении системы балансных уравнений, описывающей переходы между энергетическими уровнями атомов неодима. Уравнения составлены в рамках технических ограничений. Технические ограничения обусловлены конструкцией лазерной системы. Она представляет собой компактный твердотельный лазер на неодиме с продольной диодной накачкой.

Во **второй главе** рассматривается последовательный вывод балансных уравнений. Данная система нелинейных уравнений позволяет установить влияние матрицы на динамику и энергетические характеристики излучения. Так как система уравнений нелинейная относительно переменных, то она не имеет аналитического решения. Расчет лазера сводится к численному решению задачи Коши с заданными начальными условиями. Алгоритм программы для расчета приведен.

В **третьей главе** приведены результаты решения системы балансных уравнений. Построены графики, описывающие динамику излучения в резонаторе. Для компактных неодимовых лазеров в режиме свободной генерации графики имеют пиковую структуру.

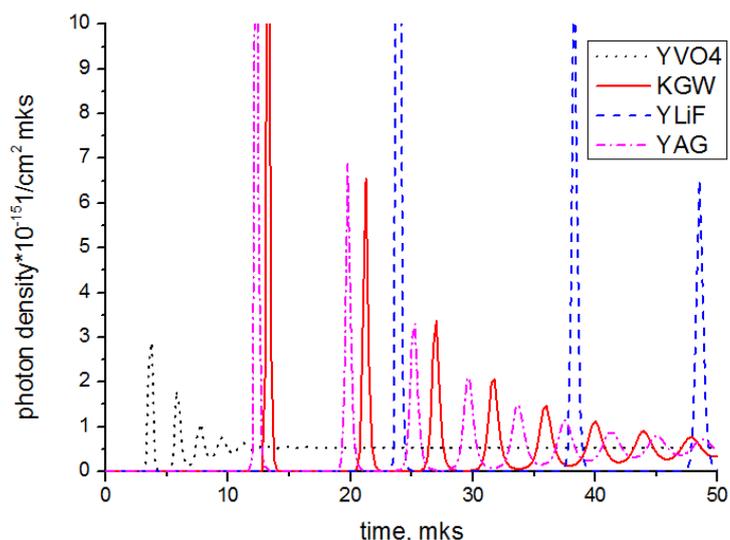


Рисунок 1. Динамика плотности потока фотонов для различных типов матриц.

Приведенные в работе диаграммы позволяют судить о различии и особенностях процессов генерации для выбранных матриц. На следующем этапе анализируется зависимость, выходных параметров активного элемента от его длины и концентрации атомов неодима. В работе построены 3D модели, позволяющие определить, оптимальное значение выходной плотности фотонов для заданных значений длины и концентрации.

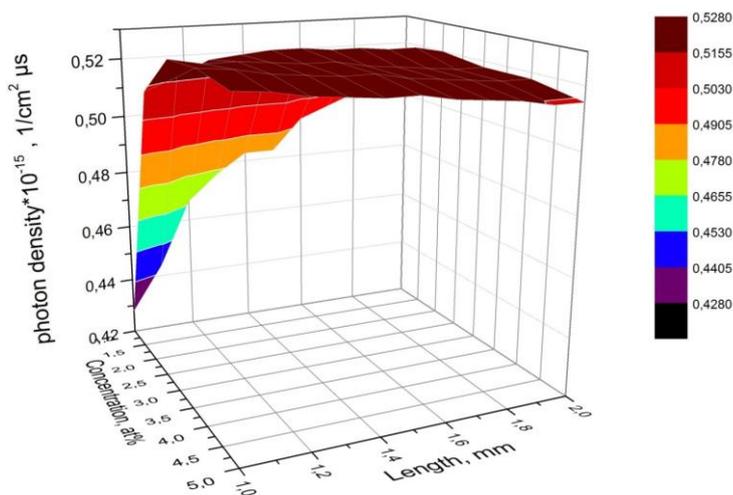


Рисунок 2. Плотность потока фотонов в зависимости от длины матрицы KGW и концентрации атомов неодима

Четвертая глава посвящена обсуждению результатов моделирования и подведению выводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В ходе научной работы были построены модели лазерных систем. Составлена и решена система балансных уравнений, описывающая физические процессы в активном элементе. Построена схема конструкции лазерной установки, описывающая техническую часть. Это позволило нам рассчитать следующие параметры лазерной установки: время начала генерации, плотность потока фотонов, минимальный порог мощности. Установлена зависимость плотности потока фотонов от концентрации атомов неодима и длины матрицы. Построены 3-х мерные графики, которые позволяют отследить оптимальные соотношения параметров для создания активного элемента. В рамках данной диссертационной работы была решена прямая задача, т.е. определены выходные характеристики лазерных систем при заданных конструктивных параметрах, начальных условиях. Получен навык моделирования лазерных систем.

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для проведения работ по проектированию, расчету и моделированию лазерных систем.

2. Разработанные методы и алгоритмы оптимизации выходных характеристик могут применяться при выполнении лабораторных работ в автоматизированных системах для оценки, контроля и принятия решения при проектировании неодимовых лазерных систем.

3. Результаты работы могут использоваться при подготовке персонала и учащихся для моделирования, настройки и обслуживания лазерных систем в качестве учебного материала.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1.Тарасенко А.О., Минченко Л.И. Matrix effects on the lasing characteristics of neodymium in DPSS lasers // Компьютерное моделирование физических процессов, устройств, систем в промышленности и образовании: Материалы 1-ой научной конференции аспирантов, магистрантов, студентов и молодых ученых, 4.12.2014, ВГУ им. Машерова, Витебск, Беларусь. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2014. – 352 с. – С. 28