

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Мамонова Дмитрия Николаевича «Методы увеличения яркости и управления временными характеристиками интегрированных массивов излучателей и лазеров с секционированной накачкой», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Диссертационная работа Мамонова Д.Н. посвящена исследованию методов модификации пространственных и временных характеристик совокупности лазерных элементов и охватывает широкий круг исследуемых вопросов: свойства излучения линейки одномодовых лазерных диодов при когерентном и некогерентном (спектральном) сложении их световых полей; условия возникновения связанной генерации гигантских импульсов в двух продольных каналах с диодной накачкой в пределах одного твердотельного активного элемента, разработка и создание на этой основе мощной компактной лазерной системы, содержащей семь каналов генерации, и разработка системы для генерации последовательности гигантских импульсов при внутррезонаторном спектральном сложении. В настоящее время лазерные источники излучения находят широкое применения во многих областях науки и техники. Поэтому актуальность представленных в работе исследований не вызывает сомнений.

Структурно диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы и двух приложений. Работа изложена на 144 страницах, содержит 106 рисунков и 6 таблиц, список литературы включает 106 наименований.

Во введении формулируется цель работы, обосновывается актуальность исследований, приводятся научная новизна, практическая значимость, защищаемые положения и перечень работ по теме диссертации, отмечен личный вклад соискателя и достоверность результатов работы.

Первая глава представляет собой литературный обзор и посвящена рассмотрению существующих схем когерентного и некогерентного сложения световых полей изначально независимых источников лазерного излучения, а также способов связывания каналов генерации в пределах одного твердотельного активного элемента. Отмечается недостаток данных по связыванию каналов в режиме модуляции добротности резонатора. Приводятся сведения о терминологии и понятиях, используемых при изложении результатов работы.

Во второй главе приводятся результаты экспериментов по связыванию двух продольных каналов накачки с цилиндрической геометрией внутри одного твердотельного активного элемента в лазере с пассивной модуляцией добротности. Активным элементом является кристалл Nd:YAG длиной 15 мм. Он установлен вблизи глухого зеркала резонатора, просветленного для излучения накачки двумя диодными модулями с волоконным выводом и импульсной мощностью по 120 Вт. Длина резонатора варьировалась в пределах 50-400 мм. В качестве насыщающегося поглотителя используется кристалл Cr:YAG. При близких параметрах накачки и при подходящем расстоянии между осями каналов был обнаружен эффект связывания каналов. Эффект заключается в сокращении и стабилизации времени задержки между импульсами генерации до нескольких нс, и состоит в том, что в канале с меньшим уровнем накачки (ведомый канал) его просветление происходит раньше, чем в независимом режиме, за счет попадания части излучения от ведущего

канала. В главе исследована зависимость времени задержки от расстояния между центрами каналов, длины резонатора и тока накачки в ведомом канале. Было установлено, что тепловая линза, возникающая при переходе от накачки одиночным импульсом к импульсно-периодическому режиму, практически не влияет на величину времени задержки.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования связывания каналов генерации в одном активном элементе в лазере с пассивной модуляцией добротности. Скоростные уравнения для населенности верхнего лазерного уровня активного элемента и нижнего уровня поглотителя рассматриваются совместно с дифракционным распространением излучения по схеме Гюйгенса-Френеля. Полученная зависимость времени задержки между импульсами генерации от расстояния между центрами областей накачки близка к экспериментальной зависимости.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям по спектральному внутрирезонаторному сложению излучения одномодовых лазерных диодов. В используемой схеме сложения с комбинирующим объективом, дифракционной решеткой и внешним зеркалом, но содержащей один диод, максимальная выходная мощность зависела от длины волны излучения и коэффициента отражения зеркала. Расчеты для спектрально селективного зеркала, выбранного на основании измерений, позволяют увеличить общую выходную мощность почти на 15% по сравнению с максимальной мощностью, измеренной для 10%-го коэффициента отражения. Далее в экспериментах с одним диодом сообщается о расширении в непрерывном режиме работы, зависящим от коэффициента отражения выходного зеркала, спектра генерации в коротковолновую область вплоть до 912 нм, превышающим таковую для импульсного режима (915 нм). Дана качественная интерпретация этого эффекта. Эксперименты по спектральному сложению проводились для двух диодов с длинами волн 963,1 нм и 939 нм, содержащимися в дальней зоне в общем центральном пике в результате сложения. Наблюдались также два симметричных боковых пика с длиной волны 952,1 нм. Их появлением связано с образованием когерентного канала, возникающего при попадании отраженного от зеркала излучения одного из диодов в другой диод. Боковые пики имеют высокий порог по току накачки и устраняются при уменьшении тока или за счет размещения за выходным зеркалом пространственного фильтра. Отметим, что при расстоянии между двумя диодами 10 мм, используемая схема пригодна для сложения излучения и линейки из 28 диодов с периодом 90 мкм при условии, что размер освещенной на решетке области примерно одинаков и равен 1 см.

В пятой главе изложены результаты по когерентному сложению излучения линейки одномодовых лазерных диодов с длиной волны 930-950 нм. Использовались линейки из 25, 50, 75 и 100 диодов. Задняя грань линеек имеет 100%-е отражающее покрытие, передняя грань просветлена до 99,5 % пропускания. Общий резонатор линеек образован задней гранью и резонансным волноводным зеркалом, представляющим собой планарную многослойную структуру, один из слоев которой имеет гофрированный профиль и служит волноводом. Перед зеркалом расположена цилиндрическая линза, используемая для коллимации излучения диодов. Фактически зеркало является пространственным фильтром, обеспечивающим из-за дифракции оптическую связь между диодами и выделяющим необходимую коллективную моду (супермоду) излучения. При нормальном падении излучения на зеркало выделялась синфазная супермода, имеющая в дальней зоне центральный максимум и соответствующие боковые максимумы. Детальное исследование структуры

центрального максимума показало, что угловое распределение интенсивности излучения в нем является 2-х лепестковым с провалом в приосевой части, связанным с особенностями углового распределения коэффициента отражения зеркала. Для повышения эффективности когерентного режима генерации линейки был использован следующий прием. Путем поворота зеркала на угол $\lambda/2d$ (здесь d – период линейки) выделялась антифазная супермода. При этом направление +1 или -1 порядка дифракции соответствует нормальному падению на зеркало, в распределении для данного порядка возникает провал в приосевой части, а энергия одного из лепестков перекачивается в другой порядок и приводит к повышению его интенсивности. Таким способом формируется главный пик сфазированной линейки, содержащий при токе накачки 4А 85% и 60% от мощности независимой генерации для линейки из 25 и 100 диодов, соответственно. В заключительной части главы показана возможность получения в импульсно-периодическом режиме работы сфазированной линейки импульсов длительностью 3-8 нс, следующих с частотой 20 МГц. При снятии ограничений на используемый источник накачки частота повторения импульсов может быть увеличена до сотен МГц.

В шестой главе приводятся два примера масштабирования устройств по связыванию каналов генерации в пределах одного твердотельного активного элемента. В первом примере активным элементом является кристалл Cr:LiCaF, в котором при торцевой накачке формируется несколько каналов генерации. В резонаторе размещаются также два насыщающихся поглотителя на основе кристалла Cr:YAG и спектральный элемент между ними в виде двух дифракционных решеток, аналогичный компенсатору дисперсии групповых скоростей и предназначенный для спектрального сложения излучения каналов. В расчетах для четырех каналов разность длин волн между каналами составила 3,4 нм при временной задержке между импульсами в пределах (26-173) нс и суммарной выходной энергии 2,83 мДж. Второе устройство реализовано на практике. В схеме, аналогичной описанной в главе 2, используется 7 каналов, расположенных по сечению кристалла Nd:YAG в гексагональном порядке. Центральный канал является ведущим, а остальные – ведомыми. Такая упаковка обеспечивает минимальную задержку между импульсами генерации и на осциллограмме суммарный импульс выглядит как один импульс. Его длительность равна 3,3 нс, максимальная энергия достигает 19,6 мДж.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В Приложении А дается процедура построения скоростных уравнений для описания работы лазера с насыщающимся поглотителем.

В Приложении В приводится описание известных способов формирования мод генерации в лазерах.

Замечания к работе

1. В главе 2 на стр.41 приводится фраза: «На графиках рисунка 2.3 можно видеть, что для заданного расстояния между каналами время задержки dt минимально при наиболее близких параметрах накачки в двух каналах». Однако на самом рисунке 2.3 и в подрисуночной подписи эти параметры не приводятся.

2. В главе 4 на стр.82 говорится о том, что при максимальном токе накачки в паразитных пиках, связанных с образованием когерентного канала генерации, содержится 44% мощности. Из текста не ясно, какова эффективность спектрального сложения в отсутствие когерентного канала и при его появлении.

3. На стр.100 (глава 5) главный пик, полученный после перекачки энергии между +1 и -1 порядками дифракции антифазной супермоды, называется фундаментальной модой. Такое название сформированного пика не вполне корректно.

4. Из рисунка 5.21 на стр.102 следует, что доля мощности в главном пике при увеличении числа диодов уменьшается. Желательно было бы привести качественную интерпретацию этого эффекта.

В результате анализа представленного материала отметим следующее.

1. Научная новизна. В экспериментах с продольной накачкой двух каналов в лазере с общим твердотельным активным элементом и пассивной модуляцией добротности показана возможность связывания каналов, позволяющая уменьшать задержку между импульсами генерации вплоть до нескольких нс. Результаты экспериментов согласуются с расчетами по разработанной модели. При некогерентном внутрирезонаторном сложении излучения лазерных диодов экспериментально продемонстрировано расширение спектра генерации в коротковолновую область. В схеме когерентного сложения излучения линейки одномодовых лазерных диодов с применением резонансного волноводного зеркала для оптической связи осуществлен импульсно-периодический режим генерации с длительностью импульсов до 3 нс.

2. Практическая значимость работы. На основе разработанного способа связывания импульсного излучения в каналах общего твердотельного активного элемента могут создаваться устройства с управляемым временным профилем импульса. Разработанный лазер с семью каналами может служить основой для создания лазерных излучателей, применяемых для оптической локации, дистанционного зондирования объектов с целью определения их химического состава и поджига горючих смесей, при решении задач лазерной термической технологии. Показанная возможность расширения в коротковолновую область спектрального диапазона при некогерентном внутрирезонаторном сложении излучения лазерных диодов позволяет увеличивать суммарную яркость излучения за счет увеличения числа диодов. Сфазированная с помощью резонансного волноводного зеркала линейка лазерных диодов, работающая в режиме частотной модуляции тока накачки, может найти применение в качестве передатчика в высокоскоростных линиях оптической связи. Перечисленные области возможного практического применения разработанных лазерных устройств могут служить основой для развития работ в этих направлениях в таких организациях, как АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИАН им. П.Н. Лебедева, СПбПУ Петра Великого, НИЯУ МИФИ и в ряде других организаций.

3. Современный уровень эксперимента, полнота проведенных численных расчетов и корректность интерпретации результатов, а также вполне достаточный иллюстративный материал и перечень цитируемой литературы – все это подтверждает достоверность материала и достаточную степень обоснованности и новизны положений и выводов.

4. Положения, вынесенные на защиту, прошли широкую апробацию и хорошо известны специалистам, о чем свидетельствуют публикации автора в 7 статьях в журналах из перечня ВАК, патент на полезную модель и доклады результатов исследований на 5 конференциях.

5. Личный вклад соискателя вполне достаточен. Он заключается в проведении экспериментальных измерений и численных расчетов, в написании и подготовке к

публикации научных статей. Все использованные в работе экспериментальные результаты получены автором лично или при его определяющем участии.

6. Автореферат в полном объеме и с правильной расстановкой акцентов отражает содержание работы.

7. Приведенные замечания не снижают несомненных достоинств диссертации.

Таким образом, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор Мамонов Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Отзыв подготовил

доктор физ.-мат. наук, профессор,

главный научный сотрудник  Глова А.Ф. «18» мая 2022 г.


Тел.: +7(495)851-06-49, e-mail: afglova@triniti.ru

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» (АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»).
Россия, 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, вл. 12,
тел.: +7(495)841-53-09, e-mail: liner@triniti.ru

Личную подпись Гловы А.Ф. заверяю.

Ученый секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»,

кандидат физ.-мат. наук

 Ежов А.А. «18» мая 2022 г.

Тел.: +7(495)851-88-27, e-mail: ezhov@triniti.ru

