

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
цифровому развитию
Владимирского государственного
университета им. А.Г. и Н.Г.
Столетовых

Кучерик А.О.

«12» 08 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Гурьева Дениса Аркадьевича**
«Дисковые лазеры с резонаторами вырожденного типа и многоточечной накачкой»,
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности

1.3.19 – Лазерная физика

Разработка твердотельных лазерных систем большой мощности (в десятки кВт, хотя это и выходит за рамки данной диссертации) с хорошим качеством излучения при непрерывной генерации требует подавления термооптических эффектов из-за поглощения излучения накачки в их активных элементах. Необходимый выбор соответствующих схем конструирования и геометрии таких систем для управления равномерным и эффективным отводом тепла от активного элемента уже многие годы связан со слэб-системами с большими поперечными размерами. Однако, здесь возникает ряд проблем с их накачкой, особенно для тонких элементов. В этом аспекте большие преимущества дают дисковые лазерные системы, располагаемые на охлажденной подложке, прилегаемой к зеркальной поверхности диска, с определенной конструкцией резонатора и системами накачки, которым и посвящена настоящая диссертация. Автор исследует генерацию излучения в резонаторах вырожденного типа с охватом излучения генерации всей области инверсной населенности среды при многоточечной/многопучковой накачке. Актуальность темы исследования и ее безусловная востребованность для решения как фундаментальных задач, так и прикладных – не вызывает сомнений. Это, тем более, принципиально, когда автор концентрируется на компактных и относительно простых конфигурациях лазерных систем с одномодовой генерацией с близкой к

дифракционной расходимостью выходящего лазерного излучения в условиях синфазной коллективной генерации. Поэтому научная новизна работы и ее научно-практическая значимость очень высоки.

Среди наиболее важных результатов, полученных диссертантом следует отметить следующие.

Первое. Выбранная автором схема с многоточечной накачкой при расстоянии между пучками накачки с гауссовскими профилями порядка размеров самих пучков позволила сформулировать методы управления распределением излучения дискового активного элемента лазера (Nd:YVO_4 ($\lambda = 1064$ нм), толщиной 0.5 мм с достигнутой шириной линии генерации не более 200 МГц) по амплитуде и ширине, практически не зависящей от мощности накачки. Построена соответствующая численная модель и проведено исследование наведенной термолинзы при обработке и анализе интерференционных картин.

Второе. Реализован в вырожденном резонаторе режим когерентного сложения излучения в условиях 8-10 пучковой накачки по всем лазерным каналам и получена коллективная генерация в определенных экспериментальных условиях в дисковом лазере с плоскопараллельным резонатором.

Построена соответствующая модель (при помощи методов матричной оптики), адекватно объясняющая экспериментальные результаты, и показано, что полная синхронизация лазерных каналов происходит для вырожденного резонатора, обладающего спектрально-селективными свойствами.

Третье. Определены спектрально-селективные характеристики плоско-сферического вырожденного резонатора М-типа, важного в практических приложениях, и показано в эксперименте, что ими можно управлять в зависимости от угла наклона сферического зеркала относительно оптической оси резонатора и от распределения пучков генерации на поверхности активного диска. Продемонстрировано, что такого типа лазер с трехпучковой накачкой имеет устойчивый режим работы в субгигагерцовом режиме биений двух соседних мод (2-х частотный режим генерации) с частотой 360 МГц, соответствующей межмодовому сдвигу между TEM_{00} и TEM_{10} , поперечными модами. Получено, что они обладают узкой шириной линии генерации (< 3 кГц). Проведено численное

моделирование и выявлены условия получения одночастотной генерации с одной продольной модой с мощностью излучения 1.35 Вт суммарно с двух каналов при 10 Вт поглощенной мощности накачки. При этом расходимость излучения 2.2 мрад соответствовала основной моде TEM_{00} с качеством пучка не хуже $M^2 < 1.2$.

Недостатки работы.

А. Сначала замечания общего характера.

А.1. Поскольку работа является экспериментальной, и в ней разработан ряд математических численных моделей, то объем диссертации мог бы быть увеличен, что позволило бы лучше и более детально оценить достижения автора и ценность полученных им результатов. Об этом и идет речь в замечаниях, приведенных ниже. Это же относится и к автореферату и распределению материала в нем.

А.2. Много места уделяется обоснованию актуальности темы, даже в автореферате (4 страницы с 26 ссылками при общем объеме в 22 страницы), хотя к настоящему времени она уже достаточно хорошо известна, но проблема состоит в практической конкретной реализации подобных лазерных систем, чему и посвящена диссертация – многоточечная накачка с двухзеркальным резонатором.

А.3. Вызывает сомнение утверждение автора (с.5), что именно в 3-х уровневой лазерной системе энергетических уровней удастся организовать большую эффективность инверсной заселенности, пусть и в многопроходовой схеме накачки дисков с меньшей степенью легирования активного элемента.

А.4. Из четырех пунктов научной новизны в 3-х первых изложение начинается со слов «впервые», а что, во-первых, 4-ый пункт – не впервые (?), во-вторых, формулирование научной новизны и является приоритетом работы.

А.5. Не очень понятно, что имеет в виду автор под словами «распределение изменения оптической толщины дискового активного элемента лазера», которые входят в формулировку первого защищаемого положения, в условиях термонаведенной линзы, когда речь, по-видимому, идет об ее оптической силе. При этом используются 2 подхода – на основе параболической и гауссовой зависимости – нужны комментарии.

А.6. Требуется более глубокого анализа полученный результат, что для вырожденного резонатора М-типа две соседние моды имеют предельно узкую

ширину линии генерации (с.86), тем более, когда используются результаты полученных интерферограмм, осциллограмм и радиочастотные спектры.

Б. Конкретные замечания.

Б.1. Во всей диссертационной работе используется и обсуждается только одна активная среда – ортованадат иттрия, легированный неодимом ($YVO_4:Nd$). Она является прекрасным материалом для относительно маломощных непрерывных лазеров. В то же время в работе неоднократно подчёркивается, что преимущества рассматриваемых дисковых лазеров реализуются для мощных систем киловаттного уровня. Так как YVO_4 существенно уступает YAG по теплопроводности (вдвое), то автор должен был бы обосновать применение ортованадата в данном случае.

Б.2. В главе 2 обсуждается эксперимент по интерферометрическому контролю деформаций активного элемента под действием накачки. Непонятно, почему автор никак не описал тот факт, что кристалл YVO_4 является одноосным кристаллом с сильным двулучепреломлением. Возможно, вклад эффектов оптической анизотропии невелик и они слабо сказываются на контрасте интерференционной картины. Но соответствующие оценки, показывающие, что это действительно так, надо было бы привести.

Б.3. При измерении спектрального состава излучения лазера в главе 4 используется интерферометр Фабри-Перо. Заявленная в таблице 1 разрешающая способность лишь ненамного уступает теоретическому пределу: примерно 0.8 от теоретического предела. Достойный результат. Но автор должен был бы пояснить, откуда получилось такое значение. Это может получиться только в результате нетривиального эксперимента.

В диссертации автор поясняет уменьшение разрешающей способности следующим образом: «Эти характеристики отличались от максимальной разрешающей способности эталонов Фабри-Перо, поскольку камера, регистрирующая спектры генерации, имела большое время экспозиции (порядка 60 мс), поэтому отснятые спектры могли уширяться из-за «дрожания» длины волны генерации, из-за флуктуаций температуры активной среды и длины резонатора». Это вряд ли – основной вклад даёт отступление от плоскостности зеркал и их неидеальная юстировка на параллельность.

Б.4. И в главе 2, и далее в главе 4 сказано, что активный кристаллический элемент крепился к теплоотводу через слой термопасты КПТ-8. Довольно странное утверждение, т.к. в сколь-нибудь мощных дисковых лазерах активный элемент соединяется с теплоотводом при помощи пайки/диффузионной сварки через металлический интерфейс, теплопроводность которого существенно выше теплопроводности кристалла, а термопаста КПТ-8 представляется самой неподходящей термопастой. В компьютерной индустрии легко доступны пасты с теплопроводностью на порядок большей. И применение таких паст хотя бы частично приблизило эксперимент к реальной ситуации.

Приведенные замечания носят технический характер и имеют смысл, скорее, пожеланий на будущую работу диссертанта. Они нисколько не умаляют достоинства диссертации и тот большой объем работы, который провел диссертант с получением ряда оригинальных результатов. В частности, принципиальный приоритетный практический результат работы – получение выходного излучения с малой расходимостью при суммарном размере зоны накачки, значительно превышающем диаметр пучка фундаментальной моды в условиях когерентного сложения излучения от 8-10 лазерных каналов. Это может быть использовано при создании задающих генераторов в лазерных системах большой мощности, когда удается управлять распределением тепловой нагрузки на активный элемент лазера и получать выходное излучение с высоким качеством пучка.

Результаты работы прошли достаточную апробацию на научных конференциях разного уровня; основные достижения автора опубликованы в авторитетных журналах и были поддержаны грантом РФФИ для аспирантов.

Достоверность полученных автором результатов как экспериментальных – на современном оборудовании, так и модельно-теоретических с использованием современных математически-вычислительных систем, в целом не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из Введения, 5-ти глав (1-ая глава – обзорная), Заключение и Списка литературы в числе 102 наименований. Общий объем диссертации составляет 103 страницы, включая 47 рисунков и 1 таблицу. Она написана понятным языком. К каждой главе приведены свои локальные выводы.

Автореферат диссертации достаточно полно и точно соответствует ее содержанию.

Материалы диссертации соответствуют п. 2 «Процессы генерации и преобразования когерентного оптического излучения, физические методы управления свойствами и параметрами лазерного излучения, включая разработку источников излучения с неклассическими свойствами» и п. 6 «Физические и технические основы лазерных технологий и устройств для различных областей науки и техники, включая высокоточные оптические измерения, модификацию и обработку материалов, локацию, лазерную медицину и др.» паспорта специальности ВАК РФ 1.3.19 «Лазерная физика».

Диссертация в целом является завершенной научно-квалификационной работой по актуальной тематике и обладает большой практической ценностью.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертация Гурьева Дениса Аркадьевича на тему «Дисковые лазеры с резонаторами вырожденного типа и многоточечной накачкой» полностью отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с п.9 и п.13 Положения, утвержденного Правительством РФ «О присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Гурьев Д.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Отзыв на диссертацию обсуждён и одобрен на заседании кафедры физики и прикладной математики Владимирского государственного университета, протокол №11а от 30.05.2022 г.

Отзыв составили

Заведующий кафедрой физики и прикладной математики (ФиПМ)

Владимирского государственного университета,

доктор физико-математических наук, профессор

/ Аракелян С.М.

Старший научный сотрудник кафедры ФиПМ

/ Герке М.Н.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЮ

**Уч. СЕКРЕТАРЬ ВЛГУ
КОННОВА Т. Г.**

Ведущая организация:

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

Почтовый адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

Телефон: +7 (4922) 33-33-69

Адрес электронной почты: arak@vlsu.ru

Web-сайт организации: vlsu.ru

Подпись проф. С.М. Аракеяна и Герке М.Н. заверяю,
Ученый секретарь ВлГУ



Т.Г. Коннова
10 августа 2022 г.