

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Скворцова Михаила Николаевича на диссертацию Поддубровского Никиты Романовича «Разработка и применение эрбиевых непрерывных одночастотных самосканирующих лазеров», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика».

Актуальность темы диссертации.

Целью настоящей диссертационной работы являлась исследование разработка, изучение и применение непрерывных одночастотных самосканирующих эрбиевых волоконных лазеров. Разработка эрбиевых лазеров является актуальным направлением исследований по причине высокой значимости диапазона вблизи длины волны 1550 нм, соответствующей минимуму потерь в оптоволокне. На момент начала исследования не было дано объяснение причин наблюдаемого режима непрерывного сканирования, не были изучены свойства излучения и динамика продольных мод, не были показаны практические приложения непрерывных самосканирующих лазеров.

В диссертации проведен высокоразрешающий анализ модовой динамики непрерывного одночастотного самосканирующего лазера. Продемонстрировано использование непрерывных одночастотных самосканирующих лазеров в трех практических приложениях: терагерцовая спектроскопия, когерентная оптическая частотная рефлектометрия и бриллюэновский анализ.

Поэтому актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Структура и содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из четырёх глав, заключения, списка публикаций по теме 6 наименований, списка цитируемой литературы из 149 наименований. Общий объем диссертации составляет 139 страниц, включая 2 таблицы и 53 рисунка.

Первая глава введение, в котором описывается состояние области исследования, обосновывается актуальность темы диссертации, дается обзор публикаций, посвященных одночастотным и перестраиваемым лазерам. Проведен обзор работ, посвященных одночастотным волоконным лазерам на основе динамической решетки населённости, формирующейся в поглощающем волокне. Отмечено, что работа самосканирующего лазера также связана с формированием динамической решетки населённости. Однако, в отличие от

стабильных одночастотных лазеров, в случае самосканирующего лазера генерация является импульсной. Также рассмотрены пионерские работы, в которых описана непрерывная динамика интенсивности самосканирующего лазера и сформулированы цель и задачи, направленные на исследование лазеров данного типа. Далее формулируется новизна и практическая значимость исследования, а также защищаемые положения. В конце введения приводится изложение основного содержания работы по главам.

Во второй главе представлены методы теоретического и экспериментального исследования свойств лазерной генерации. Теоретически описано формирование динамической решетки населённости и её влияние на генерацию. Помимо этого, описаны методы экспериментального анализа (гомодинирование и гетеродинирование) излучения и представлен оригинальный метод декомпозиции продольных мод.

Представлено описание принципов спектральной селекции на основе динамической решетки населённости. Описано, что динамическая решетка населённости, формирующиеся в поглощающих волокнах, приводят к стабилизации длины волны, а динамическая решетка населённости формирующиеся в усиливающих волокнах, приводят к модовым перескокам. Описаны методы автогомодинирования и гетеродинирования, которые используются для анализа излучения лазеров. Представлено описание предложенного метода декомпозиции продольных мод. Данный метод позволяет восстанавливать эволюцию интенсивности отдельных продольных мод для некоторого их набора. Для этого необходимо осуществить оптическое гетеродинирование, оконное преобразование Фурье от сигнала биений и полосовую фильтрацию в границах, отвечающих интерференции между локальным осциллятором и i -той продольной модой. При этом оказывается возможным восстановление эволюции интенсивности данной продольной моды.

В третьей главе представлены результаты, посвященные разработке и изучению свойств непрерывных одночастотных самосканирующих лазеров. Проведена апробация метода модовой декомпозиции на примере разработанного иттербиевого самосканирующего лазера. Разработан эрбиевый непрерывный одночастотный самосканирующий лазер и проведен детальный анализ его модовой динамики и когерентных свойств его излучения.

Описаны результаты, полученные для иттербиевого самосканирующего лазера с сигма-резонатором. Динамика интенсивности лазера отвечает непрерывному одночастотному самосканированию. Участки непрерывной генерации разделены двухчастотными всплесками интенсивности, период повторения которых составлял 800 мкс. Была реализована декомпозиция продольных мод. В результате было установлено, что генерация представляет

собой последовательность перекрывающихся импульсов прямоугольной формы, соответствующих отдельным импульсам продольных мод. Помимо этого показано, что в ходе отдельных импульсов наблюдается экспоненциальный чирп частоты с отстройкой до 700 кГц.

Представлены результаты, посвященные разработке эрбиевого непрерывного самосканирующему лазеру с сигма-резонатором. В динамике длины волны наблюдался переход от стабилизации длины волны к самосканированию при увеличении мощности накачки. Диапазон перестройки составил около 20 пм, генерация происходила вблизи центральной длины волны 1560.2 нм. При этом динамика интенсивности была аналогична случаю иттербиевого непрерывного одночастотного самосканирующему лазеру. Период повторения всплесков в случае регулярного самосканирования составлял 3-4 мс. Излучение эрбиевого самосканирующего лазера было выполнено с использованием метода автогомодинирования. Было установлено, что между соседними всплесками происходит одночастотная генерация с шириной линии не более 4 кГц, при этом наблюдается экспоненциальный чирп с максимальной отстройкой частоты до 40 кГц.

Далее была осуществлена декомпозиции продольных мод. Было установлено, что аналогично случаю иттербиевого излучение представляло собой последовательность одночастотных модовых импульсов прямоугольной формы. При этом, в процессе перехода от одной моды к другой, наблюдается прирост интенсивности соседних продольных мод. Данный прирост интенсивности был описан в терминах процессов четырехволнового взаимодействия. Установлено, что в результате интенсивности мод, не участвующих непосредственно в переходе, могут возрастать до 4% от суммарной интенсивности.

В четвертой главе показаны важные практические приложения разработанных эрбиевых непрерывных одночастотных самосканирующих лазеров. Рассмотрено их применение для генерации перестраиваемого излучения терагерцового диапазона, когерентной оптической частотной рефлектометрии и бриллюэновского анализа.

Показано, что с использованием эрбиевого непрерывного одночастотного самосканируемого лазера можно осуществлять генерацию перестраиваемого терагерцового излучения. Диапазон перестройки составил 6 ГГц. Спектральное разрешение составило 50 МГц.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе исследования, а также объявлены благодарности. В конце приводится список публикаций по теме исследования и список цитируемой литературы.

Практическая и научная значимость диссертационной работы Н.Р. Поддубровского, её практический и научный интерес, заключается в следующем:

- 1) Предложен и реализован оригинальный метод декомпозиции продольных мод для анализа временной эволюции отдельных продольных мод лазера. С использованием метода проведен анализ модовой динамики эрбиевого и иттербиевого непрерывных одночастотных самосканирующих лазеров.
- 2) Впервые для эрбиевого волоконного лазера получено непрерывное одночастотное самосканирование длины волны. Показан переход от стабильной непрерывной одночастотной генерации к непрерывному самосканированию длины волны с ростом мощности накачки. Установлено, что в случае непрерывного одночастотного самосканирования длины волны в ходе одного модового импульса наблюдается чирп частоты.
- 3) Предложена качественная модель, объясняющая режим непрерывного одночастотного самосканирования длины волны. Наблюдаемая динамика в эрбиевом лазере обусловлена конкуренцией динамической решетки населённости поглощения и усиления, формирующихся в линейной и кольцевой части резонатора соответственно.
- 4) Показано, что во время перехода между соседними модовыми импульсами в эрбиевом непрерывном самосканирующем лазере происходит четырехволновое смешение, приводящее к росту интенсивности близких мод, не участвующих в переходе.
- 5) Продемонстрирована возможность использования эрбиевого непрерывного самосканирующего лазера для трех приложений: для генерации перестраиваемого излучения терагерцового диапазона, когерентной оптической частотной рефлектометрии и бриллюэновского анализа.

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать для использования в научно-технической деятельности ИОФАН (г. Москва), ФИАН (г. Москва), ИСАН (г. Троицк), МГУ (г. Москва), НГУ (г. Новосибирск), ИЛФ СО РАН (г. Новосибирск), ИАиЭ СО РАН (г. Новосибирск), ИФП СО РАН (г. Новосибирск) и других научных организациях.

По диссертации имеются следующие замечания:

Есть отдельные недочеты в оформлении работы, например многие графики и подписи к ним показаны не на одной странице, не все обозначения расшифрованы (АОМ, НО ВБР, ВО ВБР, ЭУ). Однако данные замечания носят не принципиальный характер и не снижают научно-технической ценности работы.

Заключение:

Положения диссертации Поддубровского Н.Р., выносимые на защиту, обладают несомненной научной новизной. Работа выполнена на высоком научно-исследовательском уровне и является существенным вкладом в лазерную физику. Основные результаты диссертации опубликованы в 6 статьях в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией и опубликованы в трудах 10 конференций. Автореферат диссертации Н.Р. Поддубровского точно отражает ее содержание и выводы.

Диссертационная работа Поддубного Никиты Романовича «Разработка и применение эрбиевых непрерывных одночастотных самосканирующих лазеров», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к работам такого уровня. По совокупности представленных результатов, по уровню квалификации Н.Р. Поддубровского считаю его безусловно заслуживающим присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 Оптика.

Доктор физико-математических наук
руководитель группы Лазерная спектроскопия,
главный научный сотрудник
ИЛФ СО РАН



Скворцов М.Н.
1 ноября 2024 г.

Подпись д.ф.-м.н. Скворцова М.Н. заверяю:
Ученый секретарь ИЛФ СО РАН
кандидат физико-математических наук



Покасов П.В.
1 ноября 2024 г.

630090, г. Новосибирск,
пр. Акад. Лаврентьева, 15 Б
e-mail: skv@laser.nsc.ru
Телефон: +7(383) 333 21 27