

ОТЗЫВ  
официального оппонента на диссертацию  
Галиева Рамзиля Раушановича  
**«Оптимизация режима затягивания частоты полупроводникового  
лазера высокодобротным микрорезонатором»**  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.2 – «приборы и методы экспериментальной  
физики»

Диссертационная работа Галиева Р.Р. посвящена разработке эффективных теоретических моделей, описывающих явление стабилизации одночастотных и многочастотных лазерных источников в режиме затягивания частоты высокодобротными микрорезонаторами, поиску новых оптических схем и выявлению оптимальных режимов, обеспечивающих наилучшее подавление фазовых шумов лазеров, работающих в этом режиме. Исследования, несомненно, представляются актуальными для решения передовых задач когерентной фотоники.

Для многих практических приложений необходимы компактные источники лазерного излучения с малой шириной линии. В данной работе продемонстрировано когерентное излучение компактных многочастотных диодов в режиме затягивания частоты лазерного излучения модой шепчущей галереи высокодобротного микрорезонатора. Преимуществом микрорезонаторов такого рода является то, что, имея субмиллиметровые размеры, они могут обладать сверхвысокой добротностью от УФ до дальнего ИК диапазона, что позволяет использовать их для стабилизации лазеров в этом спектральном диапазоне. В режиме затягивания эффективная обратная связь реализуется за счет рэлеевского рассеяния на неоднородностях микрорезонатора, при котором часть входящего излучения отражается обратно в рабочую область лазера. Для одночастотных лазеров этот эффект обеспечивает быструю оптическую обратную связь и приводит к кардинальному сужению ширины линии лазера. Впервые продемонстрированный с микросферами из плавленого кварца, этот метод использовался для сужения ширины линии и стабилизации частоты различных одночастотных лазеров с мгновенной шириной линии ниже нескольких сотен герц.

В работе Галиева Р.Р. на основе разработанной им оригинальной модели был проведен численный и аналитический анализ оптимальных режимов и параметров системы затягивания для линейной и нелинейной обратной связи, обеспечивающих наиболее эффективную стабилизацию лазера.

Проведена пятипараметрическая оптимизация параметров лазерного диода работающего в режиме затягивания на моду высокочастотного МШГ резонатора. Было обнаружено, что оптимальные параметры зависят только от двух величин - обратного рассеяния, нормированного на ширину линии нагруженного микрорезонатора и от расстояния между лазером и микрорезонатором. Оптимальные комбинации параметров затягивания были получены для различных экспериментально реализуемых режимов: режим, оптимизированный по всем параметрам; режим критической связи; режим фиксированной нулевой фазы, который расходуется на две оптимальные ветви, соответствующие режимам перегруженной связи и критической связи. Нулевая расстройка и нулевая фаза являются оптимальными для режима слабого обратного рассеяния. Было показано, что высокая интенсивность поля внутри микрорезонатора может привести к ограничению стабильности и нежелательным эффектам нелинейной генерации (четырёхволновое смешение или вынужденное рамановское рассеяние), что влечет к переносу флуктуаций интенсивности излучения лазера на частотный шум. Было показано, что влияние нежелательных нелинейных эффектов на стабильность лазера можно уменьшить, реализовав режим перегруженной связи, снизив таким образом мощность внутри микрорезонатора. Для этого режима Галиев Р.Р. предложил оптимальные параметры, которые обеспечивают максимальную стабильность частоты лазера в режиме затягивания с учетом нелинейных эффектов. В своей работе Галиев Р.Р. привел рекомендации по экспериментальной реализации оптимального режима затягивания с учетом нелинейных эффектов.

Во введении формулируется актуальность, новизна, практическая значимость работы. Также во введении приведен обзор литературных источников и даны определения основным понятиям и эффектам, необходимые для понимания дальнейшего текста.

В первой главе разработана модель затягивания лазера на высокочастотный микрорезонатор, которая, с одной стороны, позволяет глубже понять основные физические особенности эффекта затягивания, а с другой стороны, позволяет улучшить экспериментальные результаты. Разработанная модель также проясняет фундаментальные ограничения на ширину линии затянутых лазеров.

Во второй главе предлагается модифицированная схема затягивания, в которой оптическая обратная связь и коэффициент стабилизации частоты лазера могут быть настроены путем перестройки связи с дополнительной призмой и зеркалом. Автором была разработана аналитическую модель для этой схемы, анализ которой показал, что при оптимальной настройке

коэффициент стабилизации частоты лазера близок к максимальному уровню коэффициента стабилизации частоты лазера классической схемы затаивания с оптимальным рэлеевским рассеянием. Таким образом, предложенная схема лазерной стабилизации не менее эффективна, чем классическая схема затаивания, но гораздо более гибкая.

В третьей главе представлен метод, позволяющий получать одночастотное излучение с шириной линии менее кГц от компактного многочастотного лазерного диода, затаиваемого на высокочастотный оптический микрорезонатор. Автор провел детальный анализ стабильности частоты излучения лазера в режиме затаивания. В спектре такого лазера наблюдался и исследовался эффект Богатова. Для анализа рассматриваемого эффекта автор разработал оригинальную теоретическую модель, учитывающую эффект затаивания, конкуренцию мод и богатовское асимметричное взаимодействие мод, и провел численное моделирование.

В четвертой главе автор исследует схему калибровки перестраиваемого лазера частотной гребенкой и рассчитывает точность измерения частоты лазера.

Работа представляет собой законченное исследование, выполнена на высоком уровне, хорошо и логично структурирована. В работе представлен целый спектр оригинальных теоретических и экспериментальных исследований. Достоверность полученных результатов обеспечена хорошим соответствием экспериментальных результатов с полученными аналитически, а также сравнением представленных результатов с полученными другими исследователями как теоретически, так и в эксперименте.

Материал диссертации логично связан между собой, выстроен в связанной последовательности и хорошо проиллюстрирован.

К работе имеются следующие замечания. Так, Галиев Р.Р. показывает важность рэлеевского рассеяния на поверхностных неоднородностях микрорезонатора для эффективного затаивания частоты лазера на резонансную частоту микрорезонатора. Однако, анализ зависимости обратного рэлеевского рассеяния микрорезонатора от структуры поверхности микрорезонатора отсутствует. В данной работе Галиев Р.Р. исследует влияние нелинейных эффектов на эффективность стабилизации лазера. Автор показывает, что нелинейные эффекты уменьшают эффективность стабилизации частоты лазера в режиме затаивания. Однако, автор не исследует схему затаивания, где связь лазера и микрорезонатора осуществляется через задний торец лазера. В такой схеме мощность излучения лазера поступающая в резонатор

существенно меньше, что может уменьшить нежелательные нелинейные эффекты в микрорезонаторе. Так же, в тексте диссертации встречается словосочетание «затянутый лазер», которое, очевидно, является научным жаргоном.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не снижают высокий уровень диссертационной работы.

Диссертация содержит большое количество нового обобщенного материала и является законченным научным исследованием. Материалы диссертации достаточно полно обосновывают положения и выводы. Автореферат диссертации правильно отражает основное содержание диссертации. Основные результаты диссертационной работы были своевременно опубликованы и докладывались на российской и международных конференциях.

Считаю, что диссертационная работа «Оптимизация режима затягивания частоты полупроводникового лазера высокочастотным микрорезонатором» полностью соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», а её автор Галиев Рамзиль Раушанович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент

д.т.н., профессор, зам. нач. отделения «Голографии, оптической томографии, нанотехнологий и наноматериалов», ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений», 119361, г. Москва, Озерная ул., д.46

e-mail: [levin@vniiofi.ru](mailto:levin@vniiofi.ru) веб-сайт: <http://www.vniiofi.ru>

телефон: +7(495)437-34-01

Левин Геннадий Генрихович

Подпись зам. руководителя НИО

д.т.н., проф. Левина Геннадия Генриховича  
заверяю: вед. спец. отдела кадров

Позднякова Т.В./