

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника
Каманиной Наталии Владимировны
на диссертационную работу Дворцова Дениса Валерьевича на тему
«Одночастотные лазерные диоды с длинами волн 630 – 660 нм для
интерференционных измерений», представленной к защите на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 —
«Приборы и методы экспериментальной физики».

Среди различных инновационных направлений, делающих акцент на изучение свойств материалов при применении лазерных технологий, определённую нишу занимают исследования физико-технических характеристик лазерных Фабри-Перо устройств. Это обусловлено, в том числе тем, что лазерные диоды, в силу своей компактности, малого энергопотребления и приемлемой стоимости, стали широко использоваться в разных областях науки и техники. К таковым областям можно отнести спектроскопию, солнечную энергетику, голографию, общие системы телекоммуникаций, а также биомедицину. Поэтому, углубление научного видения проблемы стабильности одночастотного режима работы лазерных диодов, безусловно, ***является своевременным и актуальным.***

Настоящая диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и заключения. Работа изложена на 181 странице, включает 74 рисунка, 2 таблицы, внушительный список цитированных источников в количестве 204 наименований, а также содержит 3 приложения. Довольно значим и список работ самого автора диссертации, среди которых 8 статей опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 – в базе данных SCOPUS. Диссертационная работа производит целостное впечатление, хорошо структурирована, раскрывает востребованную цель и актуальные задачи, сформулированные во введении. По каждой главе и по работе в целом сделаны адекватные, логически выстроенные и понятные выводы.

В первой главе делается интересный литературно-исторический обзор по постепенному развитию технических новшеств в оптимизации параметров полупроводниковых лазерных устройств с описанием места среди данных исследований именно Фабри-Перо лазерных диодов. Описаны лазеры на гетеропереходах, лазеры на квантовых ямах, лазеры с распределённой обратной связью, лазеры с распределёнными брэгговскими отражателями, а также поверхностно-излучающие лазеры с вертикальным резонатором. Проводится анализ как теоретических, так и экспериментальных работ других научно-технических коллективов, отмечены достоинства и недостатки разных подходов с выделением особенностей применения каждого из них под конкретную поставленную задачу. Таковой анализ позволил, что естественно, определить место собственных исследований диссертанта, а, зачастую, и приоритет, сформулировав вопросы и задачи, требующие решения в настоящей работе.

Во второй главе описаны экспериментальные результаты, полученные при измерении спектральных характеристик лазерных диодов с резонатором Фабри-Перо. Приведены данные по используемой аппаратуре и характеристикам лазерных устройств. Полученные результаты довольно глубоко проанализированы и хорошо проиллюстрированы, что способствует оппоненту воспринять содержание диссертации.

Установлено, что изучаемые лазерные диоды устойчиво работают в одночастотном режиме с визуализацией уровня боковых мод, составляющим несколько процентов от уровня доминирующей моды. Стоит заметить, что в экспериментах был использован специально созданный сканирующий интерферометр Фабри-Перо, что позволяло анализировать спектры излучения лазеров с несколькими продольными модами. Уделено внимание наблюдаемой смене генерируемых мод в многомодовом режиме, что позволило идентифицировать его, как переходный режим между одночастотными режимами на разных продольных модах. Учитывалась погрешность измерения уровня мощности моды в зоне одночастотной

генерации. Установлено, что переходный режим может реализовываться, по крайней мере, в двух вариантах. Первый вариант показал, что для лазеров одного типа были характерны включения-выключения мод на различную длительность. При приближении к границе одночастотного режима периоды включения одной из мод уменьшались, в то время как другая мода может оставаться включённой. В одночастотном режиме таковые переключения пропадали. Второй вариант показал, что для лазеров другого типа характерна генерация мод в виде импульсов генерации, причём по мере приближения и удаления от границы одночастотного режима, меняется частота появления этих импульсов для каждой из мод, при этом их длительность остаётся практически неизменной.

Важно отметить, что в данной главе была проведена экспериментальная оценка ширины линии излучения исследуемых лазеров, которая составила ≤ 100 МГц, что не противоречила теоретическим расчётам, выполненным по формуле Шавлова-Таунса. Стоит сказать, что в данной главе описаны также результаты по протяжённости зон одночастотного режима, что составила по температуре $\sim (1-3)^{\circ}\text{C}$ и по току $\sim (2-3)$ мА; приведены данные по крутизне зависимости частоты излучения лазера от тока инжекции и температуры в диапазоне существования одночастотного режима, что составили ~ 8 ГГц/мА и ~ 30 ГГц/ $^{\circ}\text{C}$, соответственно; измерены межмодовые расстояния для разных типов лазеров, что находятся в пределах 100-200 ГГц, др.

В конце главы сформулированы основные выводы и приведены полученные характеристики лазерных диодов, работающих в одночастотном режиме.

В третьей главе рассмотрены результаты экспериментов по изучению стабилизации частоты лазерных диодов по доплеровски уширенным линиям поглощения йода. При этом была предложена собственная методика перестройки частоты, заключающаяся в перестройке частоты лазера за счёт изменения температуры от одного фиксированного значения до другого при

одновременном сканировании частоты током. Здесь модуляция тока обеспечивалась подачей треугольного напряжения на вход источника тока лазерного диода. Следовательно, возможно стало регистрировать линии поглощения, попадающие в область сканирования частоты током вблизи выбранного значения температуры. Приведён фрагмент спектра линий поглощения йода, попадающих в область перестройки частоты излучения лазерного диода конкретного типа, а именно: ADL65055. Показана и описана также экспериментальная установка, используемая для стабилизации частоты излучения лазерных диодов. Отмечено, что в реализованной схеме управления частотой генерации лазера её модуляция осуществлялась изменением тока, что, по существу, вызывало модуляцию мощности. Выполнена оценка погрешности, приводящая к возможной оценочной ошибке величины частотного сдвига рабочей точки, что обратно пропорциональна уровню мощности выходного излучения и зависит от крутизны вольт-амперной и перестроечной характеристики лазера. Показано, что данная величина ошибки величины сдвига составляет ~ 3 МГц.

Стоит заметить, что в конце описания данных, представленных в третьей главе, делается анализ достигнутой стабильности частоты по дискриминационной характеристике. Показано, что остаточные отклонения частоты реализованной системы стабилизации после замыкания петли блока автоподстройки частоты не превосходят ± 15 МГц, что эквивалентно нестабильности частоты $\Delta\nu/\nu \sim 10^{-8}$ для лазерных диодов красного диапазона спектра.

В четвёртой главе приведены данные о практической реализации лазерных диодов для интерферометрии. Убедительно показано, что одночастотный режим работы Фабри-Перо лазерных диодов, выпускаемых серийно, с длинами волн 630-660 нм, можно использовать для интерференционных измерений. Рассмотрено несколько возможностей такого использования лазерных диодов. Первый вариант связан с тем обстоятельством, что рабочие параметры лазерного диода выбираются в

центре области одночастотного режима. Требования к постоянству тока и температуры при этом минимальные — ± 1 мА и $\pm 0,5$ °С. Нестабильность частоты лазера, соответствующая именно такому случаю, составляет: $\Delta\nu/\nu \sim \pm 3,2 \cdot 10^{-5}$. Второй вариант предполагает поддержание стабильности и воспроизводимости тока накачки и температуры на более высоком уровне.

Здесь нестабильность частоты лазера можно рассчитывать на другом уровне, а именно: $\Delta\nu/\nu \sim \pm 3,2 \cdot 10^{-6}$. Если же принять во внимание стабилизацию частоты по йоду, то можно получить источник с воспроизводимостью среднего значения частоты $\Delta\nu/\nu \pm 5 \cdot 10^{-8}$, то есть $\Delta\nu = \pm 20$ МГц, и длиной когерентности, определяемой шириной линии, то есть меньше 100 МГц.

Общие выводы, сформулированные в конце диссертационной работы вполне логичны, не вызывают сомнения, расширяют наши знания в области совершенствования характеристик лазерных диодов красного диапазона спектра, а также практически полезны.

Важно также ещё раз отметить, что основные положения, выносимые на защиту, прошли широкую апробацию в рецензируемых российских журналах, например, в Оптическом журнале, включённом в базу цитирования Scopus, а также обсуждались на международных конференциях.

Полученные результаты не противоречат друг другу, подтверждаются дополнительными теоретическими расчетами, находятся в согласии с данными, полученными независимыми исследователями. Поэтому, достоверность результатов и обоснованность выводов не вызывает сомнений.

Однако к работе имеются следующие **замечания и вопросы**:

1. Несколько перегружен литературный обзор, в сравнении с основным содержанием работы. Так, вторая глава, то есть одна из основных, начинается со страницы 63, а список литературы уже со страницы 160. Таким образом, литературный обзор составляет существенную часть диссертации, почти превалируя над рабочим материалом.
2. Зачастую автор допускает неточности в правильном наклоне символов, используемых для обозначения тех или иных физических величин, то есть

не соблюдает наклон латинских букв. Например, на с.69 диссертации, после рисунка 2.2.3, символ поперечного размера d не наклонён; на странице 70, в описании символов формулы 2.1, символ интенсивности излучения на выходе интерферометра I не наклонён, др. (см. описание символов, используемых в формулах 3.6, 3.7, др.), то есть, символы, написанные в латинской транскрипции, не наклонены.

3. В настоящей диссертации нет прогноза по использованию исследуемых лазерных диодов для биомедицинского применения. С одной стороны, ряд органических материалов как раз активно поглощает излучение именно красной области спектра, с другой стороны, инновационный процесс наноструктурирования сопряжённых органических материалов приводит к батохромному сдвигу в спектрах пропускания, связанному с межмолекулярным комплексообразованием, что также может быть изучено именно с применением исследуемых лазерных устройств.

4. В работе не представлены данные по возможности существенного расширения спектрального диапазона функционирования исследуемых лазерных диодов в сторону длин волн более 660 нм. Широкая возможность по смене полупроводникового материала позволила бы автору диссертацию составить таблицу данных по таким исследованиям, что расширило бы наше понимание как в области изучения лазерных диодов, так и в материаловедении.

Однако, сделанные замечания не носят принципиального характера, поскольку не затрагивают существа защищаемых положений и сформулированных выводов диссертации, то есть не снижают научную и практическую ценность полученных результатов.

Заключение

Переходя к общей оценке диссертации, считаю, что работа Дворцова Дениса Валерьевича на тему «Одночастотные лазерные диоды с длинами волн 630 – 660 нм для интерференционных измерений», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по

специальности 01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики», по актуальности решаемых задач, степени достоверности, научной новизне и практической значимости результатов полностью отвечает требованиям ВАК к диссертациям на соискание степени кандидата наук (п.9 Положения о присуждении ученой степени, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 ред. от 30.07.2014), а ее автор — Дворцов Денис Валерьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики».

Доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
начальник отдела «Фотофизика сред
с нанобъектами» ОА «ГОИ
им.С.И.Вавилова»
Кадетская линия, д.5, копр.2, Санкт-
Петербург,
199053, Россия
Моб.тел. +7 911 981 1199
Раб.тел.: +7 (812) 328-46-08
E-mail: nvkamanina@mail.ru

Указ

Каманина Наталия Владимировна



Подпись руки Каманиной Н.В.
удостоверяю 18.09.2017
Ю.М.Маринченко

Временный генеральный директор
АО «ГОИ им.С.И.Вавилова»
Кадетская линия, д.5, копр.2 Санкт-
Петербург,
199053, Россия



Ю.М.Маринченко