

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.034.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН),
Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «06» октября 2017 г. № 4

о присуждении Дворцову Денису Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Одночастотные лазерные диоды с длинами волн 630 – 660 нм для интерференционных измерений» по специальности 01.04.01 — Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 15.06.2017 г., протокол № 2, диссертационным советом Д002.034.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 190103, Санкт-Петербург, Рижский пр., д. 26, приказ 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Дворцов Денис Валерьевич, 1988 года рождения, в 2012 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по направлению «Телекоммуникации» (специализация «Лазерные и оптоволоконные системы»).

Диссертация выполнена на кафедре квантовой электроники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель — кандидат технических наук, Парфенов Владимир Александрович, доцент кафедры квантовой электроники, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Официальные оппоненты:

1. Каманина Наталия Владимировна, доктор физико-математических наук, начальник отдела "Фотофизика сред с нанообъектами" ГОИ им. С. И. Вавилова
2. Пихтин Никита Александрович, кандидат физико-математических наук, исполняющий обязанности заведующего лабораторией "Полупроводниковой люминесценции и инжекционных излучателей" Физико-технический институт РАН им. А.Ф. Иоффе дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), кафедра лазерных измерительных и навигационных систем (ЛИНС) в своем положительном заключении, подписанном Филатовым Юрием Владимировичем, доктором технических наук, заведующим кафедрой ЛИНС, профессором, Лукьяновым Дмитрием Павловичем, доктором технических наук, заслуженным профессором СПбГЭТУ, Венедиктовым Владимиром Юрьевичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры ЛИНС, утвержденном Гайворонским Дмитрием Вячеславовичем, и.о. проректора по научной работе СПбГЭТУ, указала на следующие замечания:

- «Представляется, что в диссертации, в ее обзорной главе, уделено недостаточное внимание особенностям конструкции используемых лазеров с резонатором Фабри-Перо и особенностям формирования в них одночастотного режима».
- «В диссертации во многих местах, и в том числе в первом защищаемом положении, в качестве объекта исследования упоминаются «серийно выпускаемые диоды с длинами волн 630–660 нм». На наш взгляд, такое определение слишком широкое и неконкретное».
- «Представляется, что пятое защищаемое положение сформулировано слишком общо и неконкретно. Во-первых, сам факт воздействия возвращаемого в резонатор излучения на спектр лазера давно известен и автору следовало бы точнее обозначить вновь выявленные им закономерности. Во-вторых, формулировка «направленное под малым углом» неконкретна; хотелось бы услышать конкретные величины таких углов».
- «Диссертация несвободна от некорректной терминологии и жаргонизмы. Приведем два примера. В диссертации неоднократно используется термин «интерференционные измерения», хотя на самом деле речь идет об «интерферометрических измерениях». Аналогично, в тексте неоднократно встречается совершенно жаргонный термин «пропись спектра» – вероятно, речь идет о «регистрации спектра».

Соискатель имеет опубликованных работ по теме диссертации — 26 (двадцать шесть), опубликованных в рецензируемых научных изданиях — 8 (восемь). К наиболее значительным работам, отражающим основное содержание диссертации, относятся:

1. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А** Одночастотный режим работы лазерных диодов // ИТВ СПб. Физ.- мат. науки. 2013. Вып.2 (170). С. 89 – 96. (ВАК)
2. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А.** Спектральные характеристики одночастотного режима работы лазерных диодов // Научное приборостроение. 2014. Т. 24. № 3. С. 17 – 23. (ВАК)

3. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А., Фомин А. С.** Стабилизация частоты излучения лазерных диодов по частоте поглощения изотопа йода $^{127}\text{I}_2$ // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 3. С.9 – 12. (SCOPUS, ВАК)
4. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А.** Особенности формирования сигнала ошибки при стабилизации частоты лазерного диода // Научное приборостроение, 2015. Т.25. № 2. С.108 – 112. (ВАК)
5. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А.** Особенности использования лазерных диодов для регистрации линий поглощения йода // Научное приборостроение. 2016. Т.26. № 1. С. 62 – 67. (ВАК)
6. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А.** Измерение нестабильности оси диаграммы направленности излучения лазерных диодов // Оптический журнал. 2016. Т.83. № 5. С.1 – 5. (SCOPUS, ВАК)
7. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А.** Переходный режим работы лазерных диодов красного диапазона спектра // Научное приборостроение. 2017. Т.27. № 1. С. 77 – 82. (ВАК)
8. **Дворцов Д.В., Парфенов В.А.** Влияние обратно отраженного излучения на режим работы лазерного диода красного диапазона спектра // Оптический журнал. 2017. Т.84. № 4. С. 73 – 76. (SCOPUS, ВАК)

Соискателем поставлены цель и задачи исследования, сделан обзор литературы; проведено последовательное научное исследование одночастотного режима FP лазерных диодов с длинами волна 630 – 660 нм; получены данные об характеристиках такого режима; рассмотрены особенности регистрации линий поглощения йода с целью последующей стабилизации по ним частоты лазеров; осуществлена стабилизация частоты по линиям поглощения йода и произведена оценка достигнутой стабильности; показана возможность построения на основе FP лазерных диодов источника когерентного излучения для интерференционных измерений.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От Каманиной Наталии Владимировны, доктора физико-математических наук, начальника отдела Фотофизика сред с нанообъектами «ГОИ им. С. И. Вавилова».

Замечания:

- «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».
- «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».

- «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 комплексобразованием, что также может быть изучено именно с применением исследуемых лазерных устройств».

- «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 таковым исследованиям, что расширило бы наше понимание как в области изучения лазерных диодов, так и в материаловедении».

2. От Пихтина Никиты Александровича, кандидата физико-математических наук, исполняющего обязанности заведующего лабораторией «Полупроводниковой Люминесценции и инжекционных излучателей» ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.
Замечания:

- «При проведении исследований спектральных характеристик серийно выпускаемых лазерных диодов (глава 2) не был проведен анализ влияния длины резонатора лазера на его одночастотный режим работы. Тем не менее, известно, что чем меньше длина Фабри-Перо резонатора лазера, тем больше межмодовое расстояние. Соответственно, по всей видимости, и больше вероятность достижения одночастотного режима работы. поскольку межмодовые расстояния были даже измерены в исследуемых образцах и варьировались от 92 ГГц до 190 ГГц, длины резонатора исследованных образцов отличались. Было бы интересно и не лишне провести такие исследования».

- «При описании характеристик исследуемых серийно выпускаемых лазерных диодов указано, что выходное зеркало всех исследуемых образцов имеет пропускание $\sim 0,7$ и отражение — 0.3 по мощности (стр. 83). Однако не очень понятно, на основании каких данных сделан такой вывод. В техническом описании производителей этих лазеров оппонент не нашел таких данных. Известно, что все производители в основном наносят просветляющие покрытия на выходной торец лазера с коэффициентом отражения 1-8 %, в том числе и с целью увеличения срока

службы прибора. Если это так, то это необходимо учитывать в некоторых вычислениях, приведенных в работе, а также при проведении экспериментов по исследованию влияния обратно отраженного излучения на одночастотный режим работы Фабри-Перо лазерных диодов».

3. От Дудкина Валентина Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Фотоники и линий связи» СПбГУТ.

Замечания:

- Из автореферата не ясно «С какими причинами могут быть связаны изменения углового положения оси диаграммы направленности лазерного излучения?».

- «В конце автореферата сообщается, что в рамках работы делались оценки уровня амплитудных шумов излучения лазера, позволившие сделать вывод о возможности уменьшения размеров кювет с йодом, например, до 1 см. Хотелось бы уточнить, во сколько раз уровень полученных из оценок сигналов, связанных с расстройкой частоты, превышает уровень шумов в этом случае?»

4. От Устюгова Владимира Ивановича, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника АО «ГОИ им С.И. Вавилова»

Замечание:

Можно отметить следующий недостаток автореферата: «в упомянутых на стр.8 экспериментах по наблюдению одночастотного режима работы использован сканирующий интерферометр Фабри-Перо в условиях наклонного падения излучения (с целью исключения влияния обратного отражения на работу исследуемых лазеров). Следовало бы пояснить, насколько такая схема наблюдения повлияла на разрешающую способность интерферометра».

5. От Павленко Александра Васильевича кандидата физико-математических наук, заместитель директора НТЦ «ЛКиТ», начальника отдела ЛК-1 и Мокрушина Юрия Михайловича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника ФГУП «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В.Ефремова», «ЛКиТ».

Замечания:

- «Одночастотный режим работы FP лазерных диодов стал исследоваться достаточно давно. Следовало бы включить в автореферат, с учетом проведенных исследований, информацию о причинах установления одночастотного режима и факторах способствующих его устойчивости».

- «В экспериментах по стабилизации частоты оценка остаточных отклонений частоты составила ± 15 МГц, в то время как при рассмотрении вопроса использования лазеров в интерференционных измерениях используется значение ± 20 МГц. Почему используется такое значение?».

6. От Витушкина Леонида Фёдоровича, доктора технических наук, руководителя лаборатории 2532 и Орлова Олега Александровича, кандидата физико-математических наук, руководителя сектора 2531 «ВГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Замечания:

- «Результаты измерений, приведенные на стр.13, пункт 3, автореферата, содержат важную информацию об уходах частоты лазера. По-видимому, они послужили основой для реализации системы АПЧ. Следовало указать, каким методом были получены эти данные, и что служило репером при выполнении этих исследований».

- «Как видно из рисунка 6 на странице 14 в зоне перестройки частоты лазера лежим несколько сильных линий поглощения йода, поэтому сложно сказать по какой именно линии стабилизируется лазер. Отсюда встаёт вопрос о воспроизводимости частоты такой системы, т.к. при интерференционных измерениях нужна не только стабильность частоты, но и её точное значение».

- «К сожалению, в работе не рассмотрены диодные лазеры с объёмной голографической решёткой (например: LD808-SE500), которые имеют существенно меньшую зависимость выходных параметров от тока и температуры».

7. От Сандуленко Александра Витальевича, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника АО «Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения Всероссийского научного центра «ГОИ им С.И. Вавилова».

Замечания:

- «В тексте, касающемся результатов измерений спектральных характеристик (стр.13) отсутствует информация о методах измерения крутизна зависимости частоты от тока и температуры, оценок уходах частоты генерации».

- «Результаты обоснования возможности миниатюризации кюветы изложены очень кратко (стр.19). Их следовало бы пояснить».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается большим опытом работы в области физики полупроводников, лазеров, светодиодов и квантовой электроники, а также опытом работы с устройствами на базе лазеров или измерительных систем на их основе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

доказано, что одночастотный режим некоторых типов серийно выпускаемых лазерных диодов с длинами волн 630 – 660 нм с одной поперечной модой обладает устойчивостью, воспроизводимостью от включения к включению и позволяет осуществлять стабилизацию частоты этих лазеров по доплеровски уширенным линиям поглощения йода;

показана возможность построения источника когерентного излучения для интерференционных измерений на основе FP лазерных диодов с длинами волн 630 – 660 нм, работающих в одночастотном режиме;

обнаружено, что угловое положение оси диаграммы направленности излучения FP лазерных диодов с длинами волн 630 – 660 нм может меняться с током и температурой;

предложена методика перестройки частоты одночастотных FP лазерных диодов с длинами волн 630 – 660 нм, включающая непрерывное периодическое изменение частоты генерации путем модуляции рабочего тока и одновременно выполняемую дискретную перестройку частоты излучения посредством изменения температуры лазера, так что два последовательных значения температуры лежат в диапазоне сканирования частоты током.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано на основании результатов исследований, что современные FP лазерные диоды с длинами волн 630 – 660 нм, мощностью 5 – 10 мВт, изготовленные с использованием технологий MQW, создающие одномодовое излучение (режим основной моды), могут работать в одночастотном режиме;

получены представления об особенностях реализации такого режима и подтверждено, что причины его установления обусловлены оптической схемой и свойствами полупроводниковой структуры;

установлены формы реализации переходного режима работы лазерных диодов, возникающего между областями одночастотной генерации;

доказана возможность стабилизации частоты некоторых типов FP лазерных диодов с длинами волн 630 – 660 нм по доплеровски уширенным линиям поглощения йода и возможность устойчивой работы лазера в этом режиме;

Применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов,

использован комплекс экспериментальных методик исследования спектральных характеристик лазерных диодов, что позволило уточнить и расширить научные представления об одночастотном режиме работы FP лазерных диодов с длинами волн 630 – 660 нм;

показано, что излучение, обратно отраженное в лазер в определенном диапазоне малых углов к выходному пучку, способно обеспечить устойчивую одночастотную генерацию на одной из ближайших к основной (совпадающей по частоте с максимумом линией усиления активной среды) продольной моды.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

представлено описание схем и методик измерений, с использованием которых получены данные о спектральных характеристиках лазерных диодов с длинами волн 630 – 660 нм. Они могут использоваться при исследовании лазерных диодов других диапазонов спектра;

рассмотрены способы построения источника излучения на основе FP лазерных диодов, работающих в одночастотном режиме, с сохранением присущих этому типу приборов достоинств;

предложена и применена новая методика перестройки частоты одночастотных FP лазерных диодов, которая позволяет регистрировать, выбирать линии поглощения йода для стабилизации частоты и контролировать их в процессе работы системы АПЧ;

получена оценка величины сдвига нуля дискриминационной характеристики, возникающего в системе стабилизации частоты с введением пробного сигнала при модуляции частоты током. На практике, при разработке системы АПЧ, она позволит делать предварительную оценку степени достижимой стабильности частоты;

проведена экспериментальная апробация интерферометрических измерений с использованием FP лазерных диодов в качестве источников излучения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные результаты подтверждаются большим количеством проведенных независимых экспериментов, их многократным повторением и хорошей воспроизводимостью в течение длительного времени. Они получены с применением современных спектроскопических методов и использованием современного оборудования, в том числе, интерферометров типа Фабри-Перо, Маха-Цендера, сканирующего интерферометра.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке и создании экспериментальных установок, проведении экспериментальных и теоретических исследований одночастотного режима лазерных диодов и в обработке и анализе полученных экспериментальных данных. Подготовка основных публикаций по выполненной работе проводилась при участии автора совместно с научным руководителем.

На заседании 06.10.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Дворцову Д. В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав Совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 15, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета
д.т.н., проф.

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница

06.10.2017 г.