



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор
ФГБУН ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН
доктор физико-математических наук,
академик РАН, А.В. Латышев

« 8 » апреля 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Савинова Константина Николаевича «Многочастотное излучение диодного лазера с внешним резонатором для возбуждения КПП резонансов в рубидии-87», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 "Оптика".

Тема диссертационной работы К.Н. Савинова относится к актуальному разделу лазерной физики, направленному на изучение модуляционных свойств полупроводниковых лазеров с целью их применения в качестве источников излучения во вторичных стандартах частоты на основе эффекта когерентного пленения населенности.

Актуальность выбранного направления обусловлена растущей потребностью современной науки и техники в малогабаритных атомных стандартах частоты и времени универсального типа, как оптических, так и радиочастотных. Это связано с необходимостью создания более точных систем навигации, более точного измерения времени в телекоммуникациях, более совершенных и менее дорогостоящих систем синхронизации лазерных реперов частоты для метрологии.

Представленная работа состоит из Введения, четырех глав, Заключения, Списка сокращений и условных обозначений, Списка работ, опубликованных по теме диссертации и Списка литературы.

Во **Введении** дается краткая характеристика исследований, послуживших мотивацией выбора темы диссертации, описаны цели и задачи диссертации. Сформулирована научная новизна и практическая значимость работы. Перечислены положения, выносимые на защиту. Указан личный вклад автора. Описана структура и объем работы, включающие 115 страниц текста, 56 рисунков и список литературы из 73 работ. Дается характеристика основных публикаций по теме диссертации и приведены данные по апробации работы. Кратко изложено содержание диссертации по главам.

Первая глава направлена на исследование характеристик полупроводникового лазера, который применялся в дальнейшей работе. Приведена экспериментальная установка для исследования основных характеристик полупроводниковых лазеров. Описаны результаты изучения основных характеристик полупроводникового лазера с внешним резонатором, работающего вблизи D_1 линии поглощения атомов рубидия.

Во **второй главе** кратко рассмотрены физические основы явления когерентного пленения населенности (КПН) при оптическом возбуждении одним лазером, а также обсуждаются особенности спектра излучения диодного лазера при модуляции его тока инъекции СВЧ сигналами. Также в данной главе представлены экспериментальные результаты по регистрации резонансов КПН при классическом двухчастотном оптическом возбуждении.

В **третьей главе** изложен метод наблюдения резонансов КПН с использованием многочастотной модуляции тока лазерного диода. Описана экспериментальная установка для исследования ОВЧ модуляции лазерного излучения с помощью сканирующего интерферометра. Приводятся результаты экспериментов по ОВЧ модуляции лазера с внешним резонатором.

В **четвертой главе** исследуется модуляция лазера с внешним резонатором при совместном действии ОВЧ и СВЧ модуляции. Представлена экспериментальная установка для исследования спектров излучения лазера при совместном действии СВЧ и ОВЧ модуляции тока инъекции. Приведены результаты эксперимента по регистрации резонансов КПН при многочастотном оптическом возбуждении.

Научная новизна работы заключается в том, что экспериментально продемонстрировано, что: при ОВЧ модуляции тока инъекции диодного лазера с внешним резонатором на соседних оптических модах возникают структуры компонент; положение выделенной компоненты определяется частотой соседней моды лазера; при совместном действии СВЧ и ОВЧ модуляции тока инъекции диодного лазера с внешним резонатором частотный интервал между соответствующими компонентами структур на боковых полосах спектра определяется частотой СВЧ модуляции; наблюдалась серия резонансов КПН при многочастотном возбуждении несколькими парами спектральных компонент диодного лазера с внешним резонатором.

Практическая значимость заключается в том, что

1. Использование экспериментально записанной функции пропускания интерферометра Фабри-Перо позволяет повысить точность обработки лазерных спектров, состоящих из нескольких компонент;
2. Показано, что использование комбинированной СВЧ и ОВЧ модуляции позволяет управлять отношением амплитуд боковых полос спектра лазера с внешним резонатором

Достоверность и обоснованность научных результатов и основных выводов диссертационной работы достигается использованием известных общепринятых методик эксперимента, взаимным согласием и непротиворечивостью полученных экспериментальных результатов, высоким уровнем экспериментального оборудования. Они находятся в хорошем соответствии с известными из публикаций теоретическими и экспериментальными результатами других авторов.

По тексту диссертации могут быть сделаны следующие **замечания**:

1. Постановка задачи данной диссертации сводится к созданию многочастотного лазерного источника на основе перестраиваемого лазера с внешним резонатором с целью возбуждать многочастотные переходы в атомах рубидия между разными состояниями сверхтонкой структуры верхних и нижних уровней атомов.

Несомненно, такой источник излучения мог бы найти ряд применений в спектроскопии, однако эти применения и преимущества никак не анализируются в диссертации, что снижает практическую значимость работы.

2. В работе предлагается использовать метод модуляции лазерного диода несколькими радиочастотными полями с целью создания комбинированных стандартов частоты оптического и радиодиапазона. Здесь следует отметить, что прямая модуляция тока лазерного диода снижает перспективы создания такого оптического стандарта, т.к. уширяет ширину линии излучения лазера, и создает его паразитную амплитудную модуляцию.
3. В содержании 1 главы диссертации приводится описание коммерческого лазера с внешним резонатором, который используется в экспериментах, однако отсутствует обоснование выбора данного лазера и его конкретной схемы резонатора в выполняемых исследованиях.
4. В содержании 4 главы диссертации утверждается, что справедливость механизма многочастотного возбуждения (резонансов КПН) подтверждена наличием боковых резонансов, отстоящих от центрального на половину частоты ОВЧ модуляции. Между тем, многофотонную интерференцию на атомных переходах можно доказать лишь по различию поведения двух- и многофотонных спектров в одинаковых условиях эксперимента, что не сделано в диссертации.
5. В тексте диссертации встречаются жаргонизмы и местами используются отличные от общепринятых термины: так, например, автор путает между собой явления «когерентного пленения населенности» и «электромагнитно-индуцированной прозрачности», называя когерентным пленением населенности эффект, наблюдаемый в спектре пропускания.
6. В экспериментальной части диссертации изучается прямая модуляция тока лазерных диодов генераторами высоких и сверхвысоких частот, однако в работе не рассматривается вопрос о прямом измерении S-параметров исследуемого лазерного диода в рабочем диапазоне частот, что делает не вполне очевидными результаты ряда измерений главы 3.

Заключение

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. В целом диссертационная работа К. Н. Савинова, безусловно, является самостоятельным научным исследованием актуально развивающегося раздела физики лазеров.

Опубликованные автором результаты, несомненно, являются значимыми, о чем свидетельствует наличие публикаций в рецензируемых журналах, апробация работы в трудах международных конференций и наличие патента на изобретение.

Результаты работы можно рекомендовать для использования в научных организациях, где ведутся исследования по сходной тематике: Московском государственном университете им. В. М. Ломоносова; Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН; Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН; Институте спектроскопии РАН; ФГУП ВНИИФТРИ и др.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа К. Н. Савинова на тему «Многочастотное излучение диодного лазера с внешним резонатором для возбуждения КПН резонансов в рубидии-87» в полной мере соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней» (п.9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями от 20.03.2021), а ее автор Савинов Константин Николаевич достоин присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 "Оптика".

Доклад Савинова К.Н. по материалам диссертации был заслушан и обсужден на семинаре ФГБУН ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН на базе лаборатории нелинейных резонансных процессов и лазерной диагностики 12.03.2024г., протокол № 4. На семинаре присутствовало 13 человек. Из них: чл.-корр. РАН - 2 чел., д.ф.-м.н. - 3 чел., к.ф.-м.н. - 6 чел.

Заключение одобрено на заседании Учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, протокол № 3 от 1 апреля 2024 г.

Отзыв составил:

Рецензент семинара

с.н.с. Лаб. №32 ФГБУН ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН,
кандидат физико-математических наук



Энтин Василий Матвеевич

Адрес: просп. Акад. Лаврентьева 13,
г. Новосибирск, 630090,
e-mail: ventin@isp.nsc.ru
тел: +7(383)3332408

Председатель семинара:
д.ф.-м.н., чл.корр. РАН



Рябцев Игорь Ильич