

На правах рукописи

УДК 621.378.325

СИДОРОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПЕРИОДИЧЕСКИХ
УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ НА ДИНАМИКУ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО
КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА**

01.04.21 -лазерная физика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Москва-2004

Работа выполнена в Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН и в НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: член-корреспондент РАН,
профессор **Пашинин Павел Павлович**

Научный консультант: доктор физико-математических наук,
профессор **Кравцов Николай Владимирович**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор **Очкин Владимир Николаевич**
(Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН)

доктор физико-математических наук,
профессор **Смирнов Валерий Алексеевич**
(Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН)

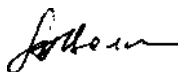
Ведущая организация: Институт Спектроскопии РАН

Защита состоится « _____ » _____ 2004 г. в _____ часов
на заседании Диссертационного совета Д 002.063.03 в Институте общей физики РАН
по адресу: 117942, Москва, ул. Вавилова, д.38.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИОФ РАН.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2004 г.

Ученый секретарь Диссертационного Совета
кандидат физико-математических наук



Т.Б.Воляк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

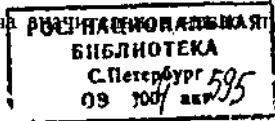
Актуальность проблемы. Успехи в разработке и создании твердотельных кольцевых лазеров (ТКЛ) нового поколения - монолитных кольцевых твердотельных лазеров (кольцевых чип-лазеров) с полупроводниковой накачкой значительно повышают интерес к таким лазерам. Этот интерес связан с широким практическим применением кольцевых лазеров в квантовой метрологии, в оптических стандартах частоты, при проведении различных прецизионных измерений, в доплеровских измерительных системах, в оптической связи и т.п. Детальные исследования нелинейной динамики: кольцевых твердотельных лазеров важны как для практических приложений, так и с точки зрения фундаментальной лазерной физики.

Твердотельные кольцевые лазеры, будучи сложными нелинейными системами, являются удобным объектом для исследования общих закономерностей нелинейной динамики самых различных нелинейных систем. Эти исследования позволяют также детализировать физические механизмы нелинейного взаимодействия встречных волн в активной среде. Одним из актуальных вопросов является изучение условий и механизмов возникновения динамического хаоса в твердотельных кольцевых лазерах. Детальные теоретические исследования нелинейной динамики и их сравнение с экспериментом являются основой для развития математической модели твердотельных кольцевых лазеров. Именно тщательно поставленный физический эксперимент позволяет решить вопрос об адекватности математической модели реальной нелинейной системе и установить на опыте границы ее применения.

В твердотельном кольцевом лазере излучение в каждом из встречных направлений характеризуется сложной нелинейной динамикой. В непрерывном кольцевом чип-лазере существует целый ряд режимов генерации: режим бегущей волны, автомодуляционные режимы первого и второго рода, режим стоячей волны, а также различные нестационарные режимы. С практической точки зрения наиболее важными из них являются режим однонаправленной генерации и двунаправленные автомодуляционные режимы генерации встречных волн.

Еще большее разнообразие режимов генерации имеет место в кольцевых неавтономных лазерах, т.е. в лазерах с периодическим изменением параметров (превышение мощности накачки над порогом, добротность резонатора, коэффициенты связи встречных волн через обратное рассеяние).

В последние годы большое внимание уделяется исследованию нестационарных и хаотических режимов в лазерах различных типов. Возможность возникновения хаотических процессов в детерминированных нелинейных системах - одна из фундаментальных проблем физики. Несмотря на



посвященных исследованиям квазипериодических и хаотических режимов генерации в твердотельных лазерах и системах связанных лазеров, в этой области в настоящее время имеется достаточно много белых пятен. Это в значительной мере связано с тем, что исследования динамического хаоса аналитическими методами оказываются крайне сложными, а численными методами можно исследовать только конкретные частные случаи, что ограничивает возможности проведения обобщений и предсказаний особенностей нелинейной динамики при других значениях лазерных параметров. Немаловажное значение имеет и то, что проведение детальных исследований долгое время было затруднено из-за высокого уровня технических флуктуации параметров твердотельных лазеров с ламповой накачкой. Таким образом, задача управления нестационарными и хаотическими режимами излучения и исследование условий их возбуждения в монолитных твердотельных кольцевых лазерах представляют несомненный интерес.

Для исследования нелинейной динамики генерации или использования лазера в конкретной практической задаче необходимо эффективно управлять его режимами излучения (переключать режимы генерации и изменять их характеристики). В традиционных лазерах, состоящих из дискретных элементов, существует возможность управления параметрами лазера (сферичность и коэффициенты пропускания зеркал, длина резонатора, положение активного элемента относительно перетяжки каустики резонатора и т.д.) в достаточно широких пределах, что позволяет управлять выходными характеристиками излучения. Также необходимо отметить, что в таких лазерах возможно введение в резонатор дополнительных управляющих элементов (амплитудные, фарадеевские и ультразвуковые модуляторы). В монолитных кольцевых лазерах таких возможностей не существует. Поэтому поиск и исследование способов управления выходными характеристиками излучения таких лазеров является важной и актуальной задачей.

Еще одной возможностью управления режимами генерации кольцевых лазеров является использование внешних магнитных полей. Как известно, наложение магнитного поля на активную среду лазера приводит к возникновению в ней эффектов Зеемана и Фарадея, что оказывает в ряде случаев существенное влияние на динамику генерации. В частности, в твердотельной активной среде эффект Фарадея может быть использован для создания амплитудной невзаимности резонатора и получения однонаправленной генерации в кольцевых лазерах. Однако некоторые вопросы, связанные с возникновением под действием магнитного поля частотной и амплитудной невзаимностей, до настоящего времени остаются невыясненными.

Цель работы

Целью настоящей диссертационной работы являлось детальное исследование динамики излучения твердотельного кольцевого чип-лазера на $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ с неплоским резонатором, работающего в различных режимах генерации, в том числе и в автомодуляционном режиме первого рода; развитие методов управления динамикой излучения твердотельного кольцевого лазера; исследование влияния внешних периодических возмущений и постоянного магнитного поля на работу твердотельного кольцевого лазера.

Научная новизна работы

1. Экспериментально исследовано явление синхронизации автомодуляционных колебаний кольцевого чип-лазера на $\text{Nd}:\text{YAG}$ частотой внешнего сигнала (частотой модуляции мощности накачки). Установлено, что ширина области синхронизации зависит от частоты и глубины модуляции внешнего сигнала и может достигать 20кГц. Продемонстрирована возможность сужения спектра автомодуляционных колебаний почти в три раза.
2. Экспериментально исследована возможность возбуждения режима генерации динамического хаоса в кольцевом чип-лазере на $\text{Nd}:\text{YAG}$ при модуляции механических напряжений в активном элементе чип-лазера. Установлено, что возбуждение режима динамического хаоса происходит на частотах, удовлетворяющих условию параметрического резонанса.
3. Экспериментально исследована возможность подавления режима динамического хаоса, возбуждаемого модуляцией накачки, в кольцевом чип-лазере на $\text{Nd}:\text{YAG}$ в постоянном магнитном поле. Показано, что наложение на активную среду постоянного магнитного поля напряженностью в несколько десятков эрстед переводит лазер из режима синхронного хаоса в импульсный квазипериодический режим генерации.
4. Экспериментально обнаружен и исследован возникающий в твердотельном кольцевом чип-лазере на $\text{Nd}:\text{YAG}$ фазовый сдвиг автомодуляционных колебаний при наложении на активную среду внешнего магнитного поля. Показано, что возникающий фазовый сдвиг обусловлен амплитудной невязимностью кольцевого лазера, возникающей вследствие эффекта Фарадея в активной среде.
5. Экспериментально исследованы режимы генерации с неидентичностью спектральных характеристик излучения встречных волн (спектральной невязимностью) в твердотельном кольцевом чип-лазере на $\text{Nd}:\text{YAG}$. Установлено, что степень различия спектральных характеристик встречных

волн зависит от коэффициентов связи встречных волн, превышения порогового уровня накачки и оптической невязимности кольцевого резонатора.

Научная и практическая значимость работы

В работе продемонстрированы:

1. Возможность синхронизации автомодуляционных колебаний внешним сигналом, приводящая к сужению спектра автоколебаний.
2. Возможность возбуждения режима генерации динамического хаоса с помощью модуляции механических напряжений в активном элементе лазера.
3. Возможность подавления динамического хаоса в кольцевом чип-лазере с помощью постоянного магнитного поля, наложенного на активный элемент лазера.
4. Возможность изменения фазовых соотношений между огибающими встречных волн в автомодуляционном режиме первого рода с помощью постоянного магнитного поля, наложенного на активный элемент лазера.
5. Возможность возникновения неидентичности спектральных характеристик излучения встречных волн в определенных областях параметров лазера.

Полученные результаты могут представлять большой интерес как для фундаментальной физики (исследование взаимодействия электромагнитных колебаний в активной среде, исследование общих свойств нелинейных систем и др.), так и для технических приложений (регистрация предельно малых оптических невязимностей, передача информации, лазерная гироскопия и др.).

Защищаемые положения.

1. В монолитном твердотельном кольцевом лазере, работающем в автомодуляционном режиме первого рода, частота автомодуляционных колебаний может быть синхронизована внешним сигналом. Ширина области синхронизации зависит от превышения мощности накачки над порогом и глубины модуляции, причем правая граница области синхронизации всегда совпадает с автомодуляционной частотой. В области захвата имеет место значительное сужение ширины спектра автомодуляционных колебаний.
2. Возбуждение режима генерации динамического хаоса в кольцевом чип-лазере возможно с помощью периодической модуляции механических напряжений активного элемента лазера.
3. С помощью постоянного магнитного поля возможно подавление режима генерации динамического хаоса в монолитном твердотельном кольцевом лазере и перевод лазера в импульсный квазипериодический режим генерации. Области существования этих режимов определяются превышением мощности накачки над порогом и частотой модуляции мощности накачки.

4. Постоянное магнитное поле, наложенное на активный элемент монолитного твердотельного кольцевого лазера, создает разность фаз между огибающими встречных волн в автомодуляционном режиме первого рода. Величина и направление фазового сдвига зависит от напряженности магнитного поля и его ориентации относительно резонатора кольцевого лазера.
5. В определенных областях параметров твердотельного кольцевого лазера с модуляцией механических напряжений существуют режимы генерации с неидентичностью спектральных характеристик излучения встречных волн.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в публикациях в специализированных ведущих научных журналах "Квантовая электроника", "Laser physics" и докладывались на международных конференциях: Международной конференции молодых ученых «Оптика-2001», IQEC-2002 (Москва), «Фундаментальные проблемы оптики» - 2002 (С.-Петербург).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 10 работ (7 статей и 3 тезиса докладов), список которых приведен в конце работы.

Личный вклад автора. Все результаты, приведенные в диссертационной работе, получены самим автором, либо при его непосредственном участии.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 111 страниц машинописного текста, включая 31 рисунок. Список цитированной литературы состоит из 133 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулирована цель работы, отмечены научная новизна, научная и практическая значимость, приведены защищаемые положения и кратко изложено содержание работы по главам.

Первая глава диссертации представляет собой краткий литературный обзор, посвященный монолитным твердотельным кольцевым лазерам. В этой главе рассмотрены конструкция лазера, основные уравнения, описывающие динамику излучения кольцевых лазеров, различные режимы генерации (особое внимание уделено автомодуляционному режиму первого рода). Также приводятся полученные к настоящему времени результаты по исследованию хаотических режимов в твердотельных кольцевых лазерах.

Во второй главе дано описание конструкции исследуемого кольцевого чип-лазера (рис.1). Приведены результаты экспериментального и численного исследования захвата частоты автомодуляционных колебаний монолитного ТКЛ

внешним сигналом (периодическая модуляция накачки). Экспериментальная установка, построенная для проведения эксперимента, позволяла регистрировать временные и спектральные характеристики встречных волн кольцевого лазера, а также изменять параметры модулирующего сигнала, такие как глубина и частота модуляции. В отсутствие внешнего воздействия лазер работал в характерном для кольцевых чип-лазеров автомодуляционном режиме первого рода с противофазной

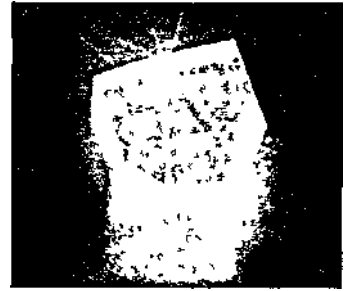


Рис. 1. Монолитный кольцевой чип-лазер (контур резонатора подсвечен лучом аргонового лазера)

модуляцией интенсивностей встречных волн. В процессе экспериментов в ТКЛ при модуляции накачки наблюдались периодические и квазипериодические режимы генерации. При частоте модуляции накачки ω_p , лежащей вдали от частоты автомодуляции ω_m , в спектре возникала вторая компонента с частотой ω_p (квазипериодический режим генерации), а зависимость интенсивности от времени переставала быть строго синусоидальной. При приближении частоты модуляции ω_p к автомодуляционной частоте ω_m наблюдался захват частоты (синхронизация) автомодуляционных колебаний внешним периодическим сигналом. В области захвата частота автомодуляционных колебаний оказывалась равной частоте внешней силы ω_p , спектр излучения состоял из одной компоненты, а искажения формы выходного сигнала (т.е. отклонения от синусоидальной) отсутствовали.

Экспериментально исследованы зависимости ширины области захвата от

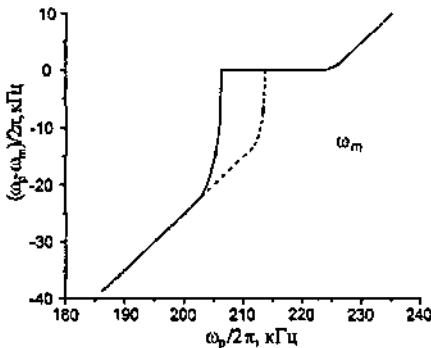


Рис. 2. Зависимость частоты автомодуляции ω_m от частоты модуляции ω_p при $\eta=0.4$ и $h=60\%$ в случае приближения к границам области захвата изнутри (—) или снаружи (---) области синхронизации

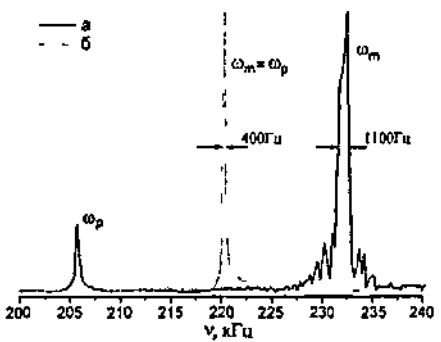


Рис. 3. Ширина спектра автомодуляционных колебаний кольцевого лазера в отсутствие (а) и при наличии (б) захвата

параметров модулирующего сигнала (частоты ω_p и глубины модуляции h) для разных превышений мощности накачки над порогом ζ . Найдено, что ширина области синхронизации может достигать 20кГц. Экспериментально подтверждена теоретически предсказанная особенность захвата частоты автомодуляции, заключающаяся в том, что правая граница области захвата всегда совпадает с частотой автоколебаний (рис.2). В процессе экспериментов был обнаружен гистерезисный характер явления - ширина области синхронизации оказывается различной в зависимости от направления приближения к ее границам (изнутри или снаружи). Интересной особенностью режима захвата является обнаруженное значительное (почти в три раза) сужение ширины спектра автомодуляционных колебаний при их захвате внешним сигналом (рис.3). Результаты эксперимента были дополнены результатами численного моделирования явления захвата на основе стандартной модели ТКЛ, показавшими качественное согласие с экспериментом.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию возможности возбуждения режима динамического хаоса в твердотельном кольцевом чип-лазере при модуляции механических напряжений в активном элементе. Экспериментально модуляция механических напряжений осуществлялась с помощью пьезоэлемента, закрепленного на верхней грани моноблока кольцевого чип-лазера. В результате экспериментов было найдено, что режим генерации динамического хаоса (рис.4,5) возбуждается в области параметрического резонанса: $k\omega_m = m\omega_r + n\omega_p$, где ω_m частота автомодуляционных колебаний, ω_r - релаксационная частота, ω_p - частота модуляции механических напряжений, k, m, n - целые числа, при значениях управляющего напряжения на пьезоэлементе, превышающего некоторое критическое значение $V_{кр}$. Исследования показали, что ширина области параметрического резонанса пропорциональна глубине модуляции механических напряжений и в нашем случае составляет несколько килогерц. Периодическое изменение механических

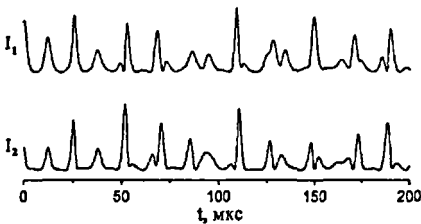


Рис. 4. Осциллограммы интенсивностей встречных волн I_1, I_2 в режиме динамического хаоса.

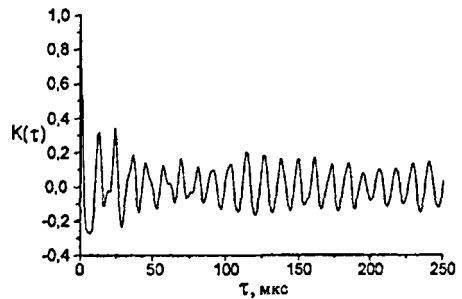


Рис. 5. Корреляционная функция интенсивности одной из встречных волн в режиме динамического хаоса.

напряжений ведет к модуляции сразу нескольких параметров лазера: длины резонатора, отстройки частоты генерации от центра линии усиления, а также потерь резонатора. Сопоставление экспериментальных результатов с результатами численного моделирования на основе стандартной модели кольцевого твердотельного лазера позволяют сделать вывод, что основным физическим механизмом, приводящим к возникновению нестационарных режимов генерации, является модуляция потерь резонатора при модуляции механических напряжений в активном элементе лазера.

В четвертой главе приведены результаты исследований подавления хаотических режимов генерации в неавтономном твердотельном кольцевом чип-лазере с помощью постоянного магнитного поля.

Режим динамического хаоса в кольцевом чип-лазере возбуждался с помощью модуляции мощности накачки (в отсутствие модуляции лазер работал в автомодуляционном режиме первого рода). Режим динамического хаоса существовал в конечном интервале частот модуляции накачки. Было выяснено, что наложение на активную среду постоянного магнитного поля с напряженностью, превышающей некоторое критическое значение $H_{кр}$, переводит лазер из режима синхронного хаоса, при котором спектральные и временные характеристики одинаковы для встречных волн, в импульсный квазипериодический режим генерации. Установлено, что $H_{кр}$ зависит от частоты модуляции накачки и превышения мощности накачки над порогом. Переключение режима генерации наблюдалось во всем диапазоне изменения частоты модуляции накачки, причем напряженность магнитного поля $H_{кр}$ уменьшалась с увеличением частоты. Дальнейшее увеличение $H_{кр}$ приводило к смене режима генерации на режим противофазного синхронного хаоса (спектры встречных волн идентичны, а их интенсивности характеризуются противофазной динамикой). Характерной особенностью перехода от синфазного синхронного динамического хаоса к режиму квазирегулярных пульсаций

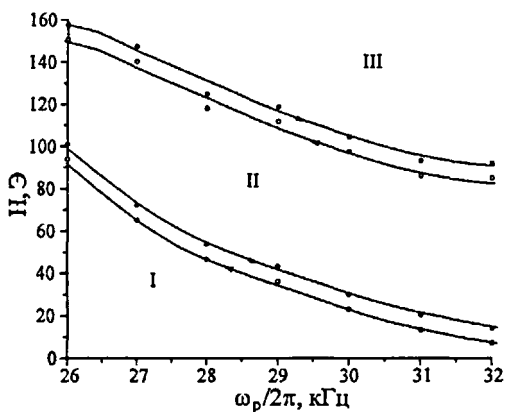


Рис. 6. Границы областей существования различных режимов генерации (I - режим синфазного синхронного хаоса, II - режим квазипериодических пульсаций, III - P^{сжм} - противофазного синхронного хаоса) в зависимости от напряженности магнитного поля H и частоты модуляции накачки ω_p при увеличении (•) и уменьшении (○) частоты модуляции.

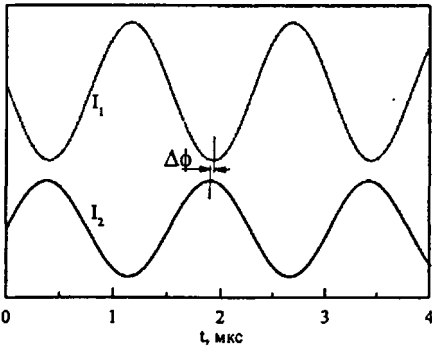


Рис.7. Оциллограммы интенсивностей I_1 и I_2 встречных волн в автомодуляционном режиме первого рода в магнитном поле. Показан относительный фазовый сдвиг огибающих встречных волн $\Delta\phi = 9.2^\circ$ при $H = 180\text{ Э}$.

значениям параметров экспериментально исследуемого лазера. На основе результатов численного моделирования были найдены области существования перечисленных выше режимов генерации в плоскости (ω_p, H) . Численное моделирование показало хорошее согласие с экспериментом.

Пятая глава посвящена исследованию зависимости фазового сдвига автомодуляционных колебаний твердотельного кольцевого чип-лазера от напряженности внешнего постоянного магнитного поля. Было обнаружено, что если в отсутствие магнитного поля огибающие интенсивностей встречных волн монолитного кольцевого чип-лазера, работающего в автомодуляционном режиме первого рода, противофазны, то наложение на активный элемент лазера постоянного магнитного поля приводит к возникновению фазового сдвига между ними (рис.7). В результате экспериментов было также выяснено, что величина и знак фазового сдвига зависят от величины напряженности магнитного поля H и его ориентации относительно резонатора лазера (фазовый сдвиг может достигать 17° при наложении магнитного поля

является экспериментально обнаруженное наличие гистерезиса - критическая напряженность магнитного поля $H_{кр}$ зависит от направления переключения режима: синхронный хаос \leftrightarrow импульсный квазипериодический режим (рис.6). Необходимо отметить, что наблюдаемый эффект не зависит от изменения полярности магнитного поля. Эффект подавления хаотических колебаний был также исследован с помощью численного моделирования. При численных расчетах были взяты значения параметров, близкие к

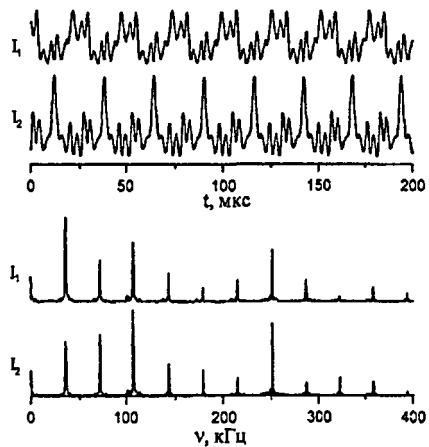


Рис. 8. Квазипериодический режим с неравными интенсивностями и спектрами встречных волн при модуляции механических напряжений: (а) - интенсивности I_1, I_2 ; (б) - спектры встречных волн I_1, I_2 .

напряженностью $H \approx 300 \text{ Э}$). На основе стандартной модели кольцевого лазера показано, что причиной возникновения фазового сдвига является возникновение под действием магнитного поля амплитудной и частотной невязимостей резонатора в результате эффекта Фарадея и анизотропии коэффициентов отражения выходного зеркала резонатора. Найдены основные соотношения, которые описывают зависимость относительного сдвига фаз огибающих встречных волн от величин амплитудной и частотной невязимостей.

В шестой главе приведены результаты исследований нестационарных режимов генерации со спектральной невязимостью (неидентичностью спектральных характеристик излучения встречных волн) в неавтономном твердотельном кольцевом чип-лазере.

В эксперименте управление режимами генерации твердотельного кольцевого чип-лазера осуществлялось с помощью модуляции механических напряжений в активном элементе (с возможностью изменения глубины h и частоты ω_p модуляции), а также наложением на активный элемент постоянного магнитного поля H . В результате проведенных исследований было установлено, что в широком диапазоне параметров модуляции (ω_p и h) как правило возникают периодические, квазипериодические и хаотические режимы генерации, аналогичные режимам, возникающим при модуляции мощности накачки. Необходимо отметить, что несмотря на некоторое различие временных характеристик, спектральные характеристики таких режимов оказываются практически одинаковыми. Ситуация существенно меняется при наличии невязимости кольцевого оптического резонатора, возникающей при наложении на активный элемент постоянного магнитного поля H . При наложении магнитного поля (с определенной ориентацией относительно плоскости симметрии активного элемента) возникал квазипериодический режим генерации, при котором не только интенсивности, но и спектры встречных волн становятся неидентичными (рис.8). Было видно, что структуры спектров встречных волн для данного режима оказываются различными.

Режимы генерации, характеризующиеся наличием спектральной невязимости, как показали исследования, существуют в достаточно узкой области параметров ω_p , h и H , что, по-видимому, свидетельствует о параметрическом механизме его возникновения. Методом численного моделирования на основе стандартной модели ТКЛ были найдены условия возбуждения нестационарных режимов генерации со спектральной невязимостью, аналогичные экспериментально наблюдаемому.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы:

1. Экспериментально исследован эффект захвата частоты автоколебаний частотой модуляции накачки в кольцевом чип-лазере на Nd:YAG. Обнаружен гистерезисный характер явления (при движении изнутри или снаружи области синхронизации к ее границам). Определены границы области устойчивой синхронизации частоты автомодуляционных колебаний в зависимости от параметров лазера и модулирующего сигнала. Показано, что имеет место значительное сужение ширины спектра автомодуляционных колебаний.
2. Экспериментально исследована возможность возбуждения режима динамического хаоса в кольцевом чип-лазере на Nd:YAG с помощью модуляции механических напряжений в активном элементе чип-лазера. Обнаружено, что возбуждение режима динамического хаоса происходит на частотах, удовлетворяющих условию параметрического резонанса.
3. Экспериментально исследована возможность подавления режима динамического хаоса, возбуждаемого модуляцией накачки, в кольцевом чип-лазере на Nd:YAG с помощью постоянного магнитного поля. Показано, что границы существования режима динамического хаоса зависят от превышения мощности накачки над порогом и от частоты модуляции накачки.
4. Экспериментально исследовано возникновение фазового сдвига автомодуляционных колебаний в кольцевом чип-лазере на Nd:YAG при наложении на активную среду внешнего магнитного поля. Установлено, что величина и знак фазового сдвига зависит от ориентации и напряженности магнитного поля. Показано, что возникающий фазовый сдвиг обусловлен амплитудной невязимостью кольцевого лазера, возникающей вследствие эффекта Фарадея в активной среде.
5. Экспериментально установлено существование областей управляющих параметров, в которых возникает неидентичность спектральных характеристик излучения встречных волн (спектральная невязимность) в квазипериодических и хаотических режимах генерации в кольцевом чип-лазере на Nd:YAG при модуляции механических напряжений в активном элементе. Показано, что такие режимы в лазере с периодической модуляцией параметров возникают лишь при наличии оптической невязимости кольцевого резонатора.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. Н.В. Кравцов, Е.Г. Ларионцев, С.С. Сидоров, В.В. Фирсов, С.Н. Чекина. Фазовый сдвиг автомодуляционных колебаний в кольцевом чип-лазере Nd:YAG в магнитном поле. - Квантовая электроника 31,189-190 (2001).
2. Н.В. Кравцов, Е.Г. Ларионцев, Н.И. Наумкин, С.С. Сидоров, В.В. Фирсов, С.Н. Чекина. Влияние магнитного поля на автомодуляционные колебания в кольцевом чип-лазере. - Квантовая электроника 31,649-652 (2001).
3. С.С. Сидоров, С.Н. Чекина. Фазовый сдвиг автомодуляционных колебаний в кольцевом чип-лазере Nd:YAG в магнитном поле. - Тезисы международной конференции молодых ученых "Оптика-2001", С.-Петербург, 155 (2001).
4. N.V. Kravtsov, E.G. Lariontsev, A.A. Makarov, S.N. Chekina, S.S. Sidorov, L.A. Kotomtseva, N.A. Loiko, A.V. Naumenko, S.G. Rusov. Chaos and synchronization of the counterpropagating waves in a solid-state ring laser with periodic pump modulation. Proc. of XVII International Conference on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO), Минск, 81 (2001).
5. Н.В. Кравцов, П.П. Пашинин, С.С. Сидоров, В.В. Фирсов. Захват частоты автомодуляционных колебаний в кольцевом чип-лазере внешним сигналом. - Квантовая электроника, 32, 562-564 (2002).
6. Н.В. Кравцов, П.П. Пашинин, С.С. Сидоров, В.В. Фирсов, С.Н. Чекина. Подавление хаотических колебаний в твердотельном кольцевом лазере с помощью магнитного поля. - Квантовая электроника, 33,321-324 (2003).
7. S.N. Chekina, N.V. Kravtsov, S.S. Sidorov, P.P. Pashinin. Magneto-optics of continuous wave solid-state lasers. Proc. of XI conference on laser optics, St.Petersburg, WeRI-p70 (2003).
8. N.V. Kravtsov, E.G. Lariontsev, P.P. Pashinin, S.S. Sidorov, V.V. Firsov. Frequency Locking of Self-Modulation Oscillations in a Ring Chip Laser by an External Signal, Laser Physics, 13,305-310 (2003)
9. Н.В.Кравцов, Е.Г.Ларионцев, П.П.Пашинин, С.С.Сидоров, С.Н.Чекина. Спектральная невзаимность в нестационарных режимах генерации твердотельного кольцевого лазера в магнитном поле. - Квантовая электроника, 34,325-328 (2004).
10. Н.В.Кравцов, П.П.Пашинин, С.С.Сидоров, В.В.Фирсов, С.Н.Чекина. Возбуждение динамического хаоса в монолитном кольцевом лазере при периодической модуляции механических напряжений в активном элементе. - Квантовая электроника, 34,329-332 (2004).

Издательство ООО "МАКС Пресс".
Лицензия ИД № 00510 от 01.12.99 г.

Подписано к печати 17.06.2004 г.

Формат 60х90 1/16. Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 720.

Тел. 939-3890, 939-3891, 928-1042. Тел./факс 939-3891.

119992, ГСП-2, Москва,

Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова.

04-14868