

На правах рукописи

- 6 АВР 1998

НАУМОВ Николай Владимирович

ДВУХМОДОВЫЕ ЛАЗЕРЫ С ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ ЧАСТОТЫ

01.04.21- лазерная физика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

гор:



Москва, 1998.

Работа выполнена в Московском государственном инженерно-физическом институте (техническом университете).

Научные руководители- доктор физико-математических наук
профессор Проценко Е.
кандидат физико-математических наук
ведущий научный сотрудник Петровский В.

Официальные оппоненты- доктор физико-математических наук
профессор Дмитриев А.
доктор физико-математических наук
профессор Евсеев И.

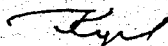
Ведущая организация- Физический институт Российской академии наук (ФИАН)

Защита состоится 15 апреля 1998 г. в 15 часов 00 мин на заседании диссертационного совета К053.03.08 в Московском государственном инженерно-физическом институте (техническом университете) по адресу Москва, 115409, Каширское шоссе, 31, тел. 324-84-98, 323-91-67.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ.
Автореферат разослан "13" 03 1998 г.

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв на одном экземпляре, заверенный печатью организации.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физ.-мат. наук



С.Т. Корнилов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Лазеры в отличие от известных ранее источников света характеризуются высокой когерентностью и монохроматичностью, что делает перспективным их использование в системах связи, дальнометрии и т.д. Для передачи информации в системах связи, повышения точности измерений в дальномерах и интерферометрах и т.п. излучение должно быть промодулировано по одному или нескольким параметрам. Это делает актуальным исследование различных методов модуляции как амплитуды, так и частоты и фазы излучения. При этом угловая модуляция (т.е. модуляция частоты и фазы излучения) позволяет обеспечить большую помехоустойчивость, чем амплитудная и дает возможность применять для обработки сигналов методы, хорошо известные и освоенные для радиочастотного диапазона.

Использование частотно-модулированного когерентного излучения привело к возникновению нового раздела спектроскопии - модуляционной спектроскопии, привлекательного своей универсальностью и относительной простотой реализации. Сущность модуляционной методики состоит в том, что регистрация сигнала ведется в узкой полосе на частоте модуляции, есть возможность выбора частоты модуляции (и регистрации), где влияние шумов было бы минимально. При этом обеспечивается высокая чувствительность, позволяющая регистрировать частотно-модуляционные резонансы (ЧМР) в газах сверхнизкого давления. Это важно для повышения стабильности частоты лазеров.

Методы модуляции можно разделить на два типа по воздействию на излучение: внешние и внутррезонаторные. Частотная модуляция легко реализуется именно внутррезонаторными методами.

В большинстве существующих информационно-измерительных системах используются одномодовые лазеры, в т.ч. с внутри-

резонаторной ЧМ. Частотно-модуляционные резонансы хорошо изучены также именно для одномодовых лазеров, в частности, He-Ne с метаново-поглощающей ячейкой.

При использовании двухмодовых лазеров с фазоанизотропным резонатором для внутррезонаторной спектроскопии можно получать оптические резонансы с более высокими параметрами (контрастность, ширина), чем для одномодовых; возможно выделение резонансных структур в частоте межмодовых биений. Можно предположить, что применение внутррезонаторной модуляции в двухмодовом лазере, поглощающей ячейкой позволит совместить преимущества двухмодовых лазеров и модуляционной методики.

Двухмодовые лазеры с фазоанизотропным резонатором, работающие в режиме генерации двух ортогонально поляризованных мод, обеспечивают также дополнительные возможности для использования в системах связи, локализации, дальнометрии. Например, при использовании двухмодового лазера с управляемым межмодовым расщеплением для передачи информации можно избежать необходимости использования лазера-гетеродина и оптической схемы совмещения лучей. При этом возможно снижение уровня флуктуации частоты биений, поскольку в данном случае один и тот же лазер является передатчиком и гетеродином, и флуктуации частот мод могут быть частично скоррелированы и, следовательно, влиять на частоту биений меньшей степени. Важной задачей остается поиск способов дальнейшего снижения уровня флуктуаций излучения двухмодового лазера.

Цель работы. Исследование генерации двухмодовых He-Ne, He-Ne/CH₄ лазеров с фазоанизотропным резонатором, работающих в режиме генерации двух линейно и ортогонально поляризованных мод при внутррезонаторной частотной модуляции (синхронной, несинхронной). Исследование модуляционных резонансов в двухмодовом

He-Ne/CH₄ лазере при различных частотах модуляции и получение новых резонансных структур в амплитудных и частотных характеристиках такого лазера.

Научная новизна работы.

1. Проведены исследования генерации двухмодового He-Ne при частоте модуляции, отличной от частоты межмодовых биений (несинхронная модуляция). Показана возможность независимого управления частотами мод. Реализован режим работы лазера, при котором модуляция межмодового расстояния практически не сопровождается амплитудной модуляцией.

Для двухмодового He-Ne/CH₄ лазера с внутрирезонаторной модуляцией частот мод получены резонансные структуры в девиации частоты межмодовых биений; получены частотно-модуляционные резонансы интенсивности, форма их устойчива при изменении рабочих параметров.

2. Исследован режим синхронной модуляции двухмодовых He-Ne и He-Ne/CH₄ лазеров. Предложена модель, объясняющая эффект синхронизации ортогонально поляризованных мод в таком лазере, основанная на учете взаимного расположения мод и комбинационных тонов и их поляризации. Экспериментально и теоретически исследованы амплитудные и частотные характеристики в режиме синхронной модуляции. В He-Ne/CH₄ лазере получены резонансные структуры с шириной меньше, чем однородная ширина линии поглощения.

3. Проведены исследования флуктуаций интенсивности и частоты двухмодового лазера с ортогонально поляризованными модами при синхронной модуляции. Предложена теоретическая модель такого лазера. Установлено, что в диапазоне частот, определяемом полосой захвата происходит снижение уровня флуктуаций частоты межмодовых биений.

Практическая ценность работы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке оптических стандартов частоты, научных исследованиях в области спектроскопии, разработке оптически систем связи (волоконных и открытых), лазерных дальномеро-локаторов и т.п.

Вклад автора. Изложенные в работе результаты получены автором лично или в соавторстве при его непосредственном участии.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были представлены на II Всесоюзной научно-технической конференции "Метрологическое обеспечение измерения частотных и спектральных характеристик излучения лазеров" (Харьков, 1990 г.), Международной конференции "Laser'91" (Сан-Диего, США, 1991 г.), 5-й Европейской конференции по квантовой электронике (Амстердам, Нидерланды, 199 г.), 5-м Симпозиуме по стандартам частоты и метрологии FSFSM'94 (Боулдер, США, 1995 г.), 1-й Международной конференции "Поляризационные эффекты в лазерах и спектроскопии" PELS'9 (Канада, Торонто, 1997).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 1 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. В каждом разделе основному содержанию предшествует обзор литературы, приводятся известные результаты, формулируются проблемы, решению которых посвящено изложение оригинального материала. Общий объем составляет 104 страниц машинописного текста, включая 26 рисунков, 4 таблицы и список литературных ссылок из 94 наименований.

На защиту выносятся:

1. Возможность управления частотами мод в двухмодовом лазере фазоанизотропным резонатором и внутррезонаторным частотным

модулятором по любому требуемому закону. Реализация режима генерации лазера, при котором частотная модуляция не сопровождается амплитудной.

2. Получение в переменной части интенсивности He-Ne/CH₄ лазера внутрирезонаторной модуляцией частот мод резонансных структур (частотно-модуляционных резонансов) более узких, чем в стационарной части. Форма их устойчива по отношению к изменению рабочих параметров (превышение усиления над потерями, частота модуляции). Получение резонансных структур в девяти частоты межмодовых биений.

3. Реализация режима синхронизации мод в двухмодовом лазере с ортогонально поляризованными модами. Теоретическая модель синхронизации ортогонально поляризованных мод.

4. Экспериментальное и теоретическое исследование амплитудной и частотной характеристик двухмодового лазера в режиме синхронной модуляции. Возможность управления величиной и положением области синхронизации.

5. Экспериментальное получение и теоретическое обоснование резонансной структуры с шириной меньшей однородной ширины линии излучения в интенсивности излучения и частоте межмодовых биений двухмодового He-Ne/CH₄ лазера с синхронизованными модами.

6. Экспериментальное обнаружение и теоретическое обоснование снижения уровня флуктуаций частоты межмодовых биений в области синхронизации в полосе частот, определяемой полосой захвата.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Одномодовые лазеры с управляемыми частотами широко используются в системах связи, дальнометрии, локации, спектроскопии сверхвысокого разрешения. Двухмодовые лазеры с управляемыми частотами и их возможные приложения изучены значительно менее

широко. Однако двухмодовые лазеры могут иметь ряд преимуществ перед одномодовыми при использовании в различных приборах и при фундаментальных физических исследованиях. При использовании двухмодовых лазеров с фазоанизотропным резонатором для внутрирезонаторной спектроскопии можно получать оптически резонансы с более высокими параметрами (контрастность, ширина), чем для одномодовых; возможно выделение резонансных структур в частотных межмодовых биениях. Двухмодовый лазер с управляемым межмодовым расщеплением позволяет избежать необходимости использовать второй лазер-гетеродин для переноса сигнала из оптического в радиочастотный диапазон для дальнейшей обработки.

В данной работе исследования проводились с двухмодовым лазером с фазоанизотропным резонатором, работающим в диапазоне 3.39 мкм. Эти лазеры широко используются при разработке стандартов частоты, свойства их хорошо изучены, имеется большой экспериментальный опыт. Для такого лазера характерно высокое усиление, что позволяет снизить требования к качеству оптически поверхностей и при необходимости разместить внутри резонатора большое количество элементов. Методики, отработанные для таких лазеров, можно распространить и на лазеры других типов.

Спектр собственных частот изотропного резонатора с оптической длиной L представляет ряд значений $\Omega_q = q \frac{c}{2L}$, где q — целое число, c — скорость света. При помещении внутрь резонатора двулучепреломляющих элементов, определенным образом вырезанных ориентированных оптическая длина его для разных поляризаций становится различной, что приводит к расщеплению спектра собственных частот, т.е. снимается вырождение по поляризации, причем частотное расщепление определяется суммой относительных фазовых

набегов на фазоанизотропных элементах: $\Omega_e = \frac{c}{2L} \cdot q$; $\Omega_o = \frac{c}{2L} \cdot \frac{\sum \varphi_i}{\pi}$, где фазовый набег на i -м элементе $\varphi_i = \Delta n \cdot l$, здесь Δn - разность показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей, l - толщина элемента. Отметим, что фазовый набег на анизотропном элементе может изменяться как за счет изменения толщины элемента при постоянном значении Δn (так происходит при использовании в качестве фазоанизотропных элементов двудучепреломляющих клиньев), так и при изменении величины Δn за счет различных физических эффектов (фотоупругость, электрооптический эффект) при неизменной толщине фазоанизотропного элемента. Расстояние между частотами лазера в общем случае определяется выражением $\omega_{\pm} = \Omega_{\pm} \pm f$, где f - добавка, учитывающая влияние активной среды.

Если частота модуляции мала по сравнению с шириной линии усиления и ширинami рабочих уровней (это условие выполнялось), то при теоретическом рассмотрении можно ограничиться стационарным приближением. При расчете частот и интенсивностей мод использовалась полуклассическая теория Лэмби. Численные расчеты выполнялись на ЭВМ.

За счет различного изменения оптической длины резонатора для различных поляризаций возможно осуществлять частотную модуляцию ортогонально поляризованных мод в различных режимах: модуляцию частот обеих мод в фазе, в противофазе, модуляцию частоты только одной моды и т.д., что может требоваться для различных применений.

При рассмотрении режима модуляции, когда моды перестраиваются с одинаковыми скоростями навстречу друг другу, т.е. в противофазе, предполагалось, что они располагаются симметрично относительно центра линии усиления. Поведение зависимостей интенсивности мод от межмодового расщепления точно такое же как

зависимость интенсивности одномодового лазера от частоты описывающая провал Лэмба. При большом давлении зависимости $I_{1,2}(\Omega_{12})$ являются убывающими, при малом давлении интенсивности сначала возрастают, а затем убывают с ростом Ω_{12} . При промежуточном значении давления (когда значения однородной и неоднородной ширины близки) существует значительный диапазон Ω_{12} , в котором значения $I_{1,2}$ практически не зависят от Ω_{12} . Это обстоятельство важно при некоторых применениях двухмодовых лазеров с управляемыми частотами. В этом случае модуляция величины Ω_{12} не сопровождается модуляцией интенсивности.

Анализ частотных характеристик показал, что разность частот межмодовых биений ω_{12} и расстояния между модами пустого резонатора определяется в основном величиной линейного затягивания. Отметим что зависимость $(\Omega_{12} - \omega_{12})$ от Ω_{12} близка к линейной (с точностью $\approx 3\%$) в интервале значений Ω_{12} от 0 до 100 МГц.

При рассмотрении второго режима модуляции, когда частота одной из мод резонатора постоянна, предполагалось, что частота немодулируемой моды равна центральной частоте линии усиления. В данном случае хотя суммарная интенсивность слабо зависит от Ω_{12} , интенсивность каждой моды меняется значительно. С увеличением расщепления интенсивность модулируемой (1-й) моды уменьшается поскольку она уходит от центра линии усиления, и соответственно уменьшается насыщение усиления, обусловленное первой модой благодаря чему интенсивность 2-й (немодулируемой) моды увеличивается. Что касается частотных характеристик, то отличия частоты биений от расстояния между модами пустого резонатора определяется первой (перестраиваемой) модой. Для этой моды разности так же как и для первого типа модуляции определяется в основном

величиной линейного затягивания σ_1 . Зависимость $(\Omega_{12} - \omega_{12})$ от Ω_{12} близка к линейной с точностью $\sim 2.5\%$ в интервале Ω_{12} от 0 до 50 МГц.

Из проведенного анализа следует, что в случае второго типа модуляции двухмодового газового лазера при некотором наборе параметров можно обеспечить с высокой точностью линейную зависимость $\omega_{12} - \Omega_{12} = f(\Omega_{12})$, при слабом изменении интенсивностей мод. В этом режиме излучение немодулируемой моды может служить высокостабильным оптическим гетеродином.

Экспериментальная установка включала в себя исследуемый двухмодовый лазер, регистрирующую аппаратуру, позволяющую измерять интенсивность каждой моды, частоту межмодовых биений и спектральную плотность флуктуаций этих величин. При необходимости для контроля положения мод на контуре линии усиления использовался вспомогательный одномодовый лазер-гетеродин.

Газоразрядная трубка с окошками, ортогональными оптической оси помещается в резонатор между фазоанизотропными элементами (двулучепреломляющими клиньями). Такая конфигурация резонатора позволяет независимо изменять межмодовое расщепление и продольный сдвиг, причем уровень потерь обеих мод одинаковый.

Возле одного из зеркал внутри резонатора помещен электрооптический модулятор из LiNbO_3 . Конфигурация модулятора выбрана такой, чтобы обеспечить максимальную чувствительность частоты межмодовых биений к приложенному напряжению.

Полученная экспериментальная зависимость интенсивности излучения от межмодового расщепления для случая симметричного положения мод относительно центра линии усиления в интервале частоты межмодовых биений от 0 до 100 МГц при давлении смеси в активном элементе ≈ 2.5 мм рт. ст. подтверждает вывод, следующий из

расчета, что интенсивность излучения в некотором интервале значений Ω_{12} в пределах погрешности измерений не меняется.

Экспериментальная проверка показала, что частота межмодовых биений линейно зависит от напряжения на модуляторе в пределах до 1.6 кВ.

Электрооптический модулятор позволяет осуществлять быструю перестройку мод по контуру линии усиления и изменение межмодового расщепления в отличие от подвижных фазоанизотропных элементов (клиньев, пластин). При использовании лазерного источника в системах связи, локации и т.п., при спектроскопических исследованиях необходимо знать частотную характеристику модулятора. Полученная экспериментальная зависимость индекса модуляции, т.е. отношения девиации частоты и частоты модуляции $m(\Omega)$ имеет характер $m \sim \Omega^{-1}$, т.е. величина девиации частоты в пределах точности измерений неизменна. Измерения выполнялись для значений частоты межмодовых биений 5-50 МГц и частоты модуляции вплоть до 10 МГц, при этом значение девиации частоты составляло ~ 50 кГц, т.е. скорость изменения частоты межмодовых биений $\frac{d\omega_{12}}{dt}$ достигала $5 \cdot 10^8$ кГц/с. Следует отметить, что при малых значениях девиации частоты ($D \leq 10$ кГц) глубина сопутствующей амплитудной модуляции составляла менее 0.1%. Отметим также, что ограничение по частоте модуляции в данном случае определялось только возможностями системы регистрации, в частности полосой пропускания фотоприемника.

Развитие методов выделения узких оптических резонансов в излучении лазеров связано с такими областями квантовой электроники, как разработка лазерных стандартов частоты и длины, лазерная спектроскопия и т.д.. В последнее время находит широкое применение метод внутриврезонаторного насыщенного поглощения. При помещении

поглощающей ячейки внутрь резонатора лазера с модулируемой длиной, можно наблюдать резонансное изменение глубины модуляции интенсивности и девиации частоты при перестройке мод лазера по контуру линии усиления в окрестности центра линии поглощения. Такие резонансы, называемые частотно-модуляционными (ЧМР) хорошо изучены для одномодовых He-Ne/CH₄-лазеров.

В настоящей работе рассматривались частотно-модуляционные резонансы в двухмодовом лазере. При перестройке мод относительно центра линии поглощения определялась зависимость девиации частоты межмодовых биений от отстройки, связанная с эффектом автостабилизации частоты. Форма резонансов девиации частоты зависит от того, как модулируются частоты мод: в фазе или противофазе. Полученные экспериментальные кривые качественно хорошо согласуются с расчетными. Отметим, что если для регистрации резонансных структур в частоте излучения одномодового лазера необходим второй лазер-гетеродин, то для двухмодового лазера гетеродина не требуется.

Исследовались также ЧМР в интенсивности. Если при рассмотрении механизма появления такой структуры ограничиться малыми индексами модуляции, то поле моды представляет триплет: центральная частота ω , и боковые составляющие с частотами $\omega, \pm \Omega$. Вдали от резонанса относительные амплитуды их равны и определяются индексом модуляции. При приближении к резонансу компоненты триплета оказываются в разных условиях. Компоненты поля насыщаются по-разному. В результате появляется разбаланс в их амплитудах, фазовый сдвиг. Это приводит к появлению в электрическом сигнале фотоприемника переменной части с частотой Ω и амплитудой, пропорциональной индексу модуляции. Форма зависимости амплитуды переменной части от частоты моды $S(\omega_{10}^{(-)})$ зависит от соотношения

частоты модуляции Ω и однородной ширины линии поглощения $\gamma_{(-)}$, пролетного уширения, индекса модуляции. Поскольку амплитуда боковых составляющих триплета определяется индексом модуляции, то появляется возможность плавно изменять в широких пределах степень насыщения поглощения.

Двухмодовый лазер, используемый в настоящей работе, имеет то преимущество, что благодаря конкуренции мод амплитудные резонансы изначально имеют более высокую контрастность, что позволяет повысить контрастность ЧМ-резонансов.

При использовании оптических резонансов для стабилизации частоты кроме ширины и контрастности резонанса, определяющих стабильность, важной характеристикой является устойчивость резонансной структуры по отношению к изменению рабочих параметров, определяющая воспроизводимость частотного репера. Под устойчивостью здесь понимается постоянство характеристик выделяемой резонансной структуры (знак, контрастность, наклон дисперсионной кривой и т.п.). Более устойчива к изменению параметров (частота модуляции, превышение усиления над потерями) комбинация вида $\sqrt{S_{abs}^2 + S_{dip}^2}$ чем S_{abs} и S_{dip} по отдельности; в этой структуре всегда имеется экстремум, соответствующий центру линии поглощения. Даже при малой отстройке зависимость $S(\omega_{10}^{(-)}) = \sqrt{S_{abs}^2 + S_{dip}^2}$ имеет значительный наклон. Поэтому можно предположить, что система АПЧ, работающая по принципу экстремального регулирования, сможет обеспечить жесткую привязку частоты к центру линии поглощения. Важно отметить, что для выделения подобной структуры достаточно узкополосного усилителя и амплитудного детектора, и не требуется синхронного детектора.

Использование модуляционной методики дает те же преимущества, что и в случае наблюдения резонансов девиации частоты: имеется

возможность выбрать такую частоту модуляции и наблюдения, когда влияние технических шумов будет минимально; наблюдение резонансов в узкой частотной полосе также повышает соотношение сигнал/шум, что дает возможность реализовать высокую чувствительность метода ЧМ-резонансов.

При рассмотрении свойств излучения многомодовых лазеров с внутрирезонаторной модуляцией параметров особое место занимает т. наз. режим синхронной модуляции, при котором частота модуляции равняется (или кратна) межмодовому частотному интервалу.

При рассмотрении спектра частот лазера с фазоанизотропным резонатором при наложении ЧМ важно учитывать не только взаимное положение мод. тонов и комбинационных тонов на шкале частот, но и их поляризации. Именно этот факт вносит в рассмотрение существенно новые черты по сравнению со случаем частотной модуляции мод с параллельными поляризациями.

В общем случае при модуляции частот в спектре излучения двухмодового лазера появляются тона на частотах $\omega_{1,2} \pm n\Omega$ ($\omega_{1,2}$ - частоты генерации мод; Ω - частота модуляции; $n=1,2,\dots$), а также составляющие (комбинационные тона) на частотах $\omega_1 - 2\omega_{12} \pm n\Omega$, $\omega_2 + 2\omega_{12} \pm n\Omega$, где $\omega_{12} = \omega_1 - \omega_2$ - частота межмодовых биений.

В случае генерации двух мод с ортогональными поляризациями, например, тон с частотой $\omega_1 - \Omega$ и комбинационный тон с частотой $\omega_1 - 2\omega_{12} + \Omega$ при $\Omega \rightarrow \omega_{12}$ не могут оказать существенного влияния на генерацию. Это связано с тем, что хотя их частоты и совпадают при этом с собственной частотой резонатора, их поляризации ортогональны поляризации второй моды и, следовательно, будут иметь большие потери. В данном случае существенное влияние на генерацию будет оказывать комбинационный тон с частотой $\omega_1 - 2\omega_{12} + 2\Omega$. С ростом Ω он приближается к моде 1, и при $\Omega \rightarrow \omega_{12}$ его поле будет

соответствовать полю собственных колебаний резонатора, т.к. не только его частота, но и поляризация будут совпадать с частотой и поляризацией первой моды. Именно поэтому при $\Omega \rightarrow \omega_{12}$ становится возможным режим синхронизации. Величина $\delta\omega_{12}^*$, определяющая диапазон отстроек частоты модуляции от межмодового расстояния, когда существует режим синхронизации (полоса синхронизации), зависит от амплитуды комбинационных тонов, в свою очередь определяемых индексом модуляции.

Поскольку при сканировании мод по контуру линии усиления межмодовое расстояние ω_{12} изменяется, то синхронизация может иметь место лишь в некоторой области расстроек Δ^* (области синхронизации), где частота модуляции совпадает или достаточно мало отличается от ω_{12} . В области синхронизации частота межмодовых биений не зависит от положения мод на контуре линии усиления, т.е. в частотной характеристике появляется горизонтальный участок. В зависимости интенсивности моды от отстройки появляется дополнительная куполообразная структура.

При наличии в резонаторе лазера поглощающей ячейки в интенсивности каждой из мод и в частоте межмодовых биений при двухмодовой генерации имеются узкие резонансные структуры, определяемые однородной шириной линии поглощения γ_{l_1} . При выборе соответствующей частоты и индекса модуляции возможно выполнение условия, когда область синхронизации находится внутри резонанса и $\Delta^* < \gamma_{l_1}$, при этом горизонтальный участок в частотной характеристике, соответствующий области синхронизации, находится внутри частотного резонанса, а в интенсивности каждой из мод появляется дополнительная узкая структура с шириной Δ^* , т.е. меньшей однородной ширины линии поглощения.

Точностные характеристики измерительных систем на основе двухмодовых лазеров определяются уровнем флуктуаций интенсивности и частоты межмодовых биений. Поэтому проблема поиска новых методов уменьшения уровня флуктуаций интенсивности и частоты межмодовых биений двухмодовых лазерных источников излучения имеет несомненно большое практическое значение и вместе с тем открывает новые возможности для совершенствования теории управления лазерным излучением.

В режиме синхронизации фазы мод взаимно связаны, поскольку фазы комбинационных тонов, обуславливающих синхронизацию, определяются фазами обеих мод. Можно ожидать, что это приведет к изменению спектра флуктуаций частоты межмодовых биений.

Экспериментально исследовались зависимости уровня спектральной плотности флуктуаций интенсивностей отдельных мод и спектральной плотности флуктуаций частоты межмодовых биений $\langle \delta\omega_{12}^{(c)}(\omega) \rangle^2$ на различных фиксированных выбранных частотах наблюдения ω в зависимости от частоты модуляции Ω , близкой к частоте межмодовых биений: измерения производились для $\omega = 5 \div 100$ кГц. Эксперименты проводились при межмодовых расстояниях $7 \div 15$ МГц, полоса синхронизации $\delta\omega_{12}^*$ составляла около 50 кГц. Исследования показали, что синхронизация мод оказывает существенное влияние на уровень частотных флуктуаций на частотах наблюдения вплоть до частоты $\omega = 2\delta\omega_{12}^*$, определяющей область отстроя частоты модуляции от частоты межмодовых биений, внутри которой имеет место режим синхронизации мод. Что касается флуктуаций интенсивности, в отличие от частотных флуктуаций синхронизация мод практически не влияет на их уровень.

Отметим, что полученные результаты могут быть применены и для других типов лазеров, например, твердотельных.

В ходе работы получены следующие основные результаты:

1. Показана возможность независимого управления частотами мод в двухмодовом лазере с фазоанизотропным резонатором и внутрирезонаторным частотным модулятором по любому требуемому закону. Реализован режим работы лазера, при котором частотная модуляция практически не сопровождается амплитудной.

2. В двухмодовом He-Ne/CH₄ лазере с внутри-резонаторной модуляцией частот мод получены резонансные структуры в переменной части интенсивности (частотно-модуляционных резонансы). Форма этих структур устойчива по отношению к изменению рабочих параметров (превышение усиления над потерями, частота модуляции). Получены резонансы в девиации частоты межмодовых биений.

3. Реализован режим синхронизации мод в двухмодовом лазере с ортогонально поляризованными модами. Предложена теоретическая модель синхронизации ортогонально поляризованных мод.

4. Проведено экспериментальное и расчетное исследование амплитудной и частотной характеристик двухмодового лазера в режиме синхронной модуляции. Показана возможность управления величиной и положением области синхронизации.

5. Экспериментальное получение области синхронизации меньше однородной ширины линии поглощения в He-Ne/CH₄ лазере с внутрирезонаторной поглощающей ячейкой при соответствующем выборе частоты и индекса модуляции. Показано, что при этом происходит трансформация частотного резонанса и появляется дополнительная узкая куполообразная структура в интенсивностях обеих мод.

6. Проведено исследование флуктуаций интенсивности и частоты межмодовых биений в двухмодовом лазере в режиме синхронной модуляции. Экспериментально обнаружен и теоретически обоснован факт снижения уровня флуктуаций частоты межмодовых биений в области синхронизации в полосе частот, определяемой полосой захвата.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях в научных журналах:

1. Анищенко М.Л., Ермаченко В.М., Наумов Н.В., Петровский В.Н., Проценко Е.Д. "Влияние комбинационных тонов на интенсивность излучения двухмодового газового лазера", Квантовая электроника, 1988, т. 15, № 1, с. 55-57.

2. Наумов Н.В., Петровский В.Н. "Двухмодовый He-Ne лазер с внутренней частотной модуляцией для измерительных систем" - в сборнике "Газовые лазеры для измерительных систем", Москва, Энергоатомиздат, 1990 г., с. 50.

3. Naumov N.V., Petrovskiy V.N., Protsenko E.D. and Rurukin A.N. "Two-Mode Lasers with Controlled Frequencies. 1. He-Ne Laser" Laser Physics, 1991, v. 1, № 3, p. 273-278.

4. Anishenko M.L., Naumov N.V., Petrovskiy V.N. and Protsenko E.D. "Modulation Resonances in a Two-Mode He-Ne/CH₄ Laser". Laser Physics, 1994, v. 4, № 2, p. 364-368.

5. Ермаченко В.М., Наумов Н.В., Петровский В.Н. и Проценко Е.Д. "Резонансы насыщенного поглощения в двухмодовом He-Ne/CH₄ лазере с синхронизованными модами", Квантовая электроника, 1995, т. 22, № 6, с. 573-576.

6. Наумов Н.В., Петровский В.Н., Проценко Е.Д., Шананин Р.А. "Системы передачи информации на основе двухмодовых лазеров с управляемыми частотами излучения", Квантовая электроника, 1995, т. 22, № 10, с. 1055-1056.

7. Ермаченко В.М., Наумов Н.В., Петровский В.Н. и Проценко Е.Д. "Частотные резонансы в двухмодовом He-Ne/CH₄ лазере с синхронизованными модами", Оптика и спектроскопия, 1996, т. 80, № 2, с. 336-341.

8. Naumov N.V., Petrovskiy V.N., Protsenko E.D., Yermachenko V.M. "Intensity and Intermode Beating Frequency Fluctuations in a Double-Mode He-Ne Laser with Mode Locking", Laser Physics, 1997, v. 7, № 2, p. 426-430.

9. Naumov N.V., Petrovskiy V.N., Protsenko E.D., Yermachenko V.M. "Intensity Resonances in a Double-Mode He-Ne/CH₄ Laser with Synchronized Modes", Applied Physics B, v. 65, № 4-5, p. 589-593.

Подписано в печать

Заказ 196

Тираж 80

Типография МЭИ, Каширское шоссе, 31