
ЭЛЕКТРОННАЯ И ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА, ОПТОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.373.8.038.825

ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЧИП ЛАЗЕРОВ С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАКАЧКОЙ

Ю.П. МАЧЕХИН, О.А. МЕДВЕДЕНКО

В работе представлены результаты исследований особенностей формирования спектра излучения твердотельного чип лазера. Рассмотрены условия формирования полем накачки режима однододовой генерации. Показано, что, используя селектор Фокса — Смита, можно реализовать условия генерации одночастотного излучения. Показано, что добиться требуемой девиации оптической частоты для ее стабилизации по пикам насыщенного поглощения в йоде, можно с помощью модуляции интенсивности излучения накачки.

Ключевые слова: твердотельный лазер, полупроводниковая накачка, спектр излучения, стандарт частоты.

ВВЕДЕНИЕ

Современная лазерная прецизионная измерительная техника немыслима без оптических стандартов частоты (ОСЧ). Требования, которые предъявляются в настоящее время к ОСЧ, заключаются не только в высоком уровне стабильности и воспроизводимости частоты излучения, но и в удобстве, надежности и длительном сроке их эксплуатации. Над созданием компактных ОСЧ уже не одно десятилетие ведутся как исследовательские, так и конструкторские работы. Первоначально, полагалось, что для создания ОСЧ достаточно использовать полупроводниковые лазеры, с одночастотным излучением. Однако, использование полупроводниковых лазеров позволило достичь принципиально важных результатов, но только при создании стационарных ОСЧ, в которых в качестве оптических частотных реперов используются линии поглощения охлажденных атомов или ионов.

Существенным прорывом в развитии малогабаритных ОСЧ стали достижения в создании твердотельных чип лазеров с полупроводниковой накачкой. В традиционных лазерных средах высокая концентрация активных ионов приводит к повышению нежелательных безизлучательных переходов с верхнего состояния вследствие Nd^{3+} - Nd^{3+} взаимодействия и уменьшает время жизни уровня. Если ионы Nd^{3+} входят в состав кристаллической решетки стехиометрически, то благодаря большому расстоянию друг от друга, обладают слабым взаимодействием даже при их высоких концентрациях (40-50 %). Эта особенность позволила создавать лазерные активные среды с концентрацией Nd^{3+} до 40 % и более.

В активных средах, имеющих высокую концентрацию Nd^{3+} , линия поглощения (~ 4 нм на длине волны 808 нм) хорошо согласуется с параметрами спектрально узкого излучения полупроводниковых лазеров накачки. Для поглощения

более 95% накачки концентрация ионов неодима должна быть не менее $1,4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, в результате чего размеры активной среды вместе с резонатором могут быть очень малыми, не более 1 мм. Эти монолитные, линейные и кольцевые твердотельные лазеры на основе $Nd:YVO_4$, $Nd:YAG$, $Nd:LSB$ с длиной волны излучения около 1,064 мкм накачиваются излучением полупроводниковых лазеров, специальным образом сформированного в пространстве. Чтобы обеспечить стабилизацию частоты у чип лазеров, необходимо выполнить два условия. Во-первых, излучение чип лазера должно быть однододовым и одночастотным. Во-вторых, для поиска частотного репера и стабилизации частоты излучения по нему, необходимо использовать модуляционный метод, т.е. необходимо осуществлять сканирование и модуляцию длины резонатора лазера. При стабилизации частоты чип лазера по линиям насыщенного поглощения в йоде необходимо осуществить удвоение частоты генерации, в результате вторая гармоника — 532 нм попадает в область поглощения молекулярного йода.

Классическим примером линейного чип-лазера на основе твердотельных активных сред является лазер, выполненный из высококачественного монокристалла $Nd:YVO_4$, один торец кристалла плоский, а второй — сферический с радиусом кривизны 10 см. Длина резонатора (активного элемента) 1,5 мм [1]. Лазерные зеркала наносятся непосредственно на торцы активного элемента. Мощность излучения в однододовом режиме составляет несколько десятков мВт.

В других известных конструкциях твердотельных чип лазеров с внешним резонатором [1] одно из зеркал устанавливается на пьезокерамический, линейный преобразователь. Однододовый и одночастотный режим в таком резонаторе реализуется за счет взаимного расположения оптических элементов, обеспечивающих интерфе-

ренцию Ллойда [2]. В результате, конструкция становится соизмеримой с резонатором газового лазера, и преимущества малогабаритного чип лазера исчезают.

Тем не менее, современные тенденции развития твердотельных чип лазеров позволяют рассчитывать на создание перспективных миниатюрных средств измерений. В настоящее время ведутся исследовательские работы по созданию твердотельного чип лазера с удвоением частоты в виде компактного многослойного оптического устройства, т.е. вырезанного вдоль оптической оси диска активного элемента (толщиной 1 мм и диаметром 2-4 мм) и нелинейного кристалла (КТР толщиной 1 мм). Однако, чтобы такую конструкцию можно было использовать при создании ОСЧ, не выходя за пределы миниатюрной конструкции чип-лазера, необходимо решить целый ряд научных и технических задач. Одной из них является обеспечение устойчивого режима одномодового и одночастотного излучения чип-лазера.

Целью настоящей работы были исследования условий формирования спектра излучения твердотельного чип лазера, обеспечивающих генерацию основной поперечной моды и одной продольной моды. В тех случаях, когда чип-лазер планируется использоваться в составе ОСЧ, необходимо, чтобы в лазере были реализованы условия, обеспечивающие создание требуемой девиации оптической частоты, путем модуляции длины резонатора. Учитывая, что конструкция чип лазера представляет собой монолитную конструкцию, в работе исследуется возможность модуляции частоты излучения через модуляцию интенсивности излучения накачки.

1. СЕЛЕКЦИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ МОД ЧИП ЛАЗЕРА

Эффективность использования лазерной накачки для твердотельных лазеров характеризуется двумя параметрами. Во-первых, частота накачки должна быть максимально близкой к центральной частоте линии поглощения, а спектр излучения лазера накачки не должен превышать ширину полосы поглощения. Во-вторых, накачка должна полностью поглощаться активной средой и обеспечивать возбуждение и устойчивую генерацию только основной поперечной моды резонатора. Здесь следует обратить внимание на тот факт, что линейные размеры активной среды, используемой в чип лазерах, выбираются из условия максимального поглощения мощности накачки.

Можно выделить два направления разработки условий применения полупроводниковых лазеров для накачки чип лазеров.

Первое направление связано с использованием вертикально излучающих лазеров в качестве лазеров накачки. Преимущество этих лазеров по многим параметрам очевидно. Выходное излучение имеет расходимость в пределах 10-15 граду-

сов, форма пучка в сечении круговая. Генерация может осуществляться на любых длинах волн в диапазоне 750-960 нм, при этом ширина линии излучения составляет величину не более 100МГц. В одномодовом режиме генерации мощность излучения не более 0,5 мВт. Последнее условие - очень малый уровень выходной мощности излучения, является в настоящее время основным, не позволяющим использование этого типа полупроводникового лазера для накачки чип лазеров. Тем не менее, дальнейшее развитие этих полупроводниковых лазеров, связанное с достижением более высоких уровней мощности (на два, три порядка), позволит использовать эти лазеры для накачки чип-лазеров. Если при этом спектральные и пространственные характеристики излучения этих полупроводниковых лазеров не ухудшатся, то они будут наилучшими кандидатами для обеспечения эффективной накачки чип лазеров без дополнительной многоэлементной оптики.

Второе направление связано с использованием обычных гетеролазеров с достаточно высоким уровнем мощности излучения, но со сложными пространственно частотными характеристиками. Для накачки чип лазера с активной средой Nd:YVO₄ используется полупроводниковый лазер с длиной волны излучения 808 нм и мощностью до 500 мВт.

В резонаторе линейного чип-лазера возбуждение поперечных мод зависит от степени пространственного совмещения объема сформированного пучка излучения накачки и объема генерируемых мод. Поэтому, когда объем пучка накачки не превышает объем основной моды, генерация будет осуществляться только на основной поперечной моде TEM₀₀. В общем случае поле накачки в активной среде можно рассматривать в качестве диафрагмы, регулирующей генерацию поперечных мод.

Если поперечные размеры пучка накачки будут значительно превышать или будут значительно меньше поперечного размера основной генерируемой моды, то в этих условиях будет наблюдаться генерация поперечных мод высших порядков. Любое пространственное рассогласование пучка накачки и основной моды резонатора приводит к условиям возбуждения поперечных мод высших порядков в чип-лазерах. Поскольку размеры пучка определяются реальным уровнем мощности излучения, то при расчетах следует учитывать, что, объем генерируемой моды, всегда превышает объем моды пустого резонатора. В этой связи, управляя каустикой пучка накачки можно реализовывать одномодовый или многомодовый режим генерации.

Первоначально необходимо определить размеры резонатора, основываясь на полосе усиления и коэффициенте поглощения выбранного активного элемента; на следующем этапе необходимо выбрать конфигурацию резонатора чип-лазера, после чего можно рассчитать оптическую систему для формирования пучка накачки.

В работе, для расчета генерируемой основной моды излучения TEM_{00} был использован метод лучевых матриц.

Были выбраны длины резонаторов 15, 1,5 и 1 мм. Длина волны генерируемого излучения 1064 нм. Одно зеркало резонатора, через которое вводится излучение – сферическое и его радиус подбирался, а второе, выходное плоское. Радиус каустики генерируемого поля в резонаторе, в зависимости от расстояния от плоского зеркала, имеет вид, изображенный на рис. 1.

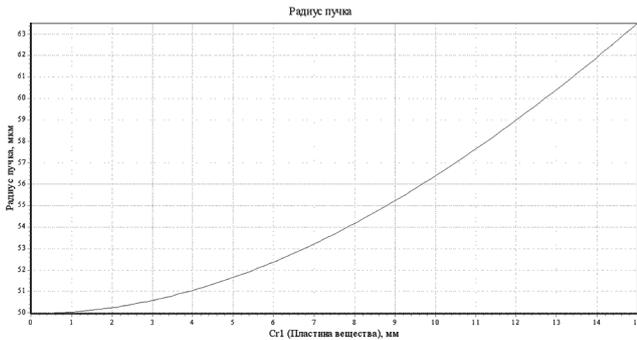


Рис. 1. Каустика генерируемого поля в резонаторе

Радиус каустики на сферическом зеркале зависит от радиуса этого зеркала. В зависимости от радиуса сферического зеркала можно наблюдать изменение каустики. В зависимости от этого требуется рассчитать конкретную для этого резонатора оптическую систему для формирования пучка накачки.

На рис. 2 изображена зависимость размера основной моды TEM_{00} излучения на зеркалах резонатора в зависимости от радиуса сферического зеркала.

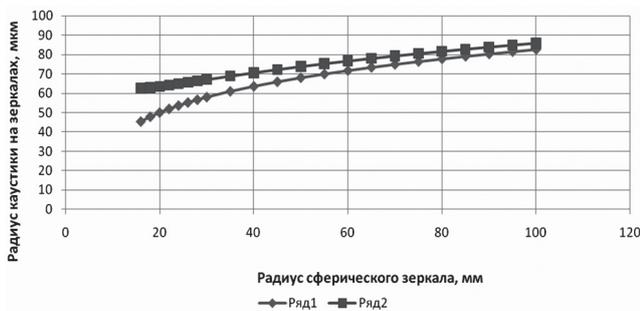


Рис. 2. Размеры пятен основной моды на зеркалах резонатора

Как уже было отмечено выше, мощность накачки активной среды $Nd:YVO_4$ составляет величину около 500мВт. Накачка должна обеспечивать возбуждение и устойчивую генерацию основной поперечной моды резонатора – TEM_{00} , поэтому требуется определить каустику вводимого в резонатор излучения с установленной мощностью, после чего определить каустику генерируемой моды с учетом мощности ее излучения, определенную через коэффициент трансформации мощности накачки.

При формировании каустики поля накачки необходимо учесть, что сечение пучка накачки

имеет эллиптическую форму, которая будет проворачивать генерацию высших поперечных мод, если за радиус каустики будет браться размер малой оси эллипса. Поэтому при расчете оптической системы формирования пучка накачки, первоначально необходимо учесть установку цилиндрической линзы, уменьшающей эллиптичность излучения полупроводникового лазера.

Оптимальное согласование размеров перетяжек, а также уменьшение эллиптичности излучения накачки, позволили уменьшить уровень поперечных мод, а также ширину линии генерации. Использование сферических зеркал при формировании устойчивого резонатора чип лазера позволяет создавать условия, при которых каустика основной моды наиболее удачно согласуется со сходящимся пучком излучения накачки.

Таким образом, для формирования эффективной накачки можно использовать оптическую схему, изображенную на рис. 3.



Рис. 3. Вариант исполнения оптической системы для формирования пучка накачки

Оптическая система накачки подбирается таким образом, чтобы входной пучок был немного меньше диаметра пятна основной моды на сферическом зеркале, который мы рассчитывали методом лучевых матриц. В то же время, точка схождения лучей пучка накачки должна находиться вблизи плоского зеркала резонатора. Пример хода лучей накачки в такой оптической системе показан на рис. 4.

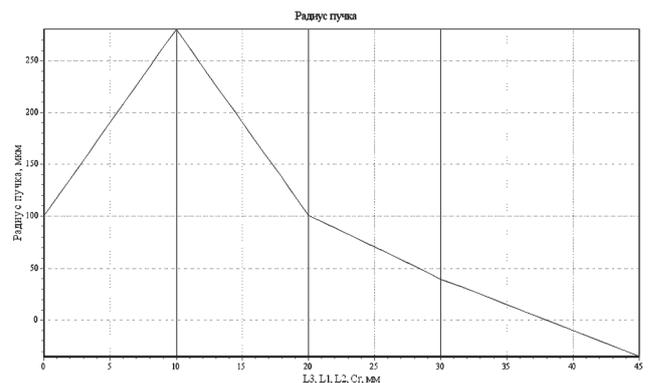


Рис. 4. Ход оптических лучей в системе накачки

2. СЕЛЕКЦИЯ ПРОДОЛЬНЫХ МОД ЧИП ЛАЗЕРА

Проблема обеспечения в монолитных чип лазерах условий одночастотного излучения связана с очень широкой полосой усиления активной твердотельной среды. Даже при малых длинах резонаторов (единицы и доли миллиметров) при значительном превышении порога в лазерах наблюдается генерация нескольких продольных мод. Поэтому добиться одночастотного излучения

путем уменьшения длины резонатора возможно только при небольшом превышении усиления над потерями. Однако, при разработках оптических стандартов частоты на основе твердотельных чип лазеров необходимо обеспечить одночастотный режим излучения при любом усилении активной среды, поскольку уровень мощности играет основную роль при насыщении поглощающей среды – паров йода. В этой связи, в работе была изучена возможность использования селектора Фокса-Смита совместно с конструкцией твердотельного чип лазера, длина резонатора которого составляет несколько миллиметров.

Как правило, применение селектора Фокса Смита связано с селекцией продольных мод у лазеров с большой длиной резонатора (He-Ne лазеры с двухметровой длиной резонатора) [3, 4]. Оптическая схема такого резонатора показана на рис. 1.

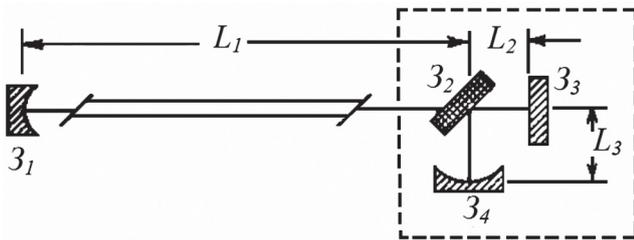


Рис. 5. Схема селекции продольных мод. Три зеркала 3₂, 3₃, 3₄ образуют перестраиваемый отражатель для резонатора лазера

В схеме на рис. 5 одно из зеркал лазерного резонатора заменяется тремя зеркалами 3₂, 3₃, 3₄. Эти три зеркала вместе образуют вторичный, дополнительный резонатор, являющийся фактически зеркалом с селективными частотными характеристиками. С точки зрения резонатора лазера такое устройство ведет себя подобно одному зеркалу, коэффициент отражения, которого на данной частоте можно плавно менять. Это зеркало (вторичный резонатор) настраивают на отражение той моды, которую желательно получить в излучении лазера.

Следуя теории селектора Фокса-Смита ширина полосы пропускания (отражения) селектора определяется коэффициентом отражения зеркала 3₂, при этом 3₃ и 3₄ являются полностью отражающими. Оптическая длина селектора, равная L₂+L₃, определяет частотное расстояние между полосами пропускания. Так в случае применения селектора в резонаторе лазера, работающего в многомодовом режиме, характеристика отражения трехзеркального селективного отражателя имеет вид, приведенный на рис. 6. Следовательно, для того чтобы частотный интервал между резонансами трехзеркального резонатора был больше, чем ширина полосы генерации лазера, величина L₂+L₃ должна быть мала.

Применение селектора Фокса-Смита в чип-лазере позволяет решить проблему селекции продольных мод, но при этом параметры селектора будут иметь другие величины (рис. 7).

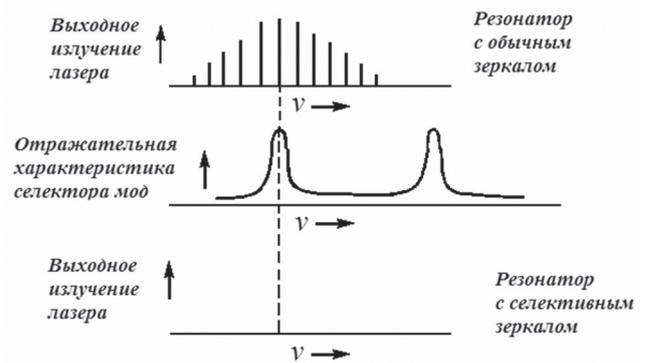


Рис. 6. Селектор мод настроен таким образом, что лазер генерирует на одной моде вблизи центра контура его усиления

Генерация нескольких мод в резонаторе чип лазера обусловлена шириной полосы усиления активной среды. При этом, частотное расстояние между модами, определяемое длиной резонатора (L₁+L₂), например 13 мм, будет составлять величину около 11,53 ГГц. Создавать в этих условиях селектор с размерами много меньшими, чем размер резонатора лазера, технически сложно, поэтому рассматривается возможность использования селектора с много большей оптической длиной. Если длина селектора (L₃+L₂) равна 78 мм, то частотное расстояние между полосами пропускания будет 1,923 ГГц. В этом случае, условие, при котором совпадают полосы пропускания селектора с частотой генерации, будет выполняться на частотном интервале, большем, чем полоса усиления активной среды. Следуя выбранным параметрам резонатора лазера и селектора, частотное расстояние между первым совпадением, которое может быть организовано с помощью подстройки длины селектора, и вторым совпадением, которое выполняется при условии

$$m1,923 = n11,53, \quad (1)$$

где *m* и *n* целые числа, может быть значительно большим, чем ширина полосы усиления активной среды. Таким образом, если длина селектора обеспечивает некруглое отношение его частотного расстояния между полосами пропускания к длине межмодовому расстоянию резонатора чип лазера, то из всех продольных мод будет возбуждаться только одна мода, на которую настроен селектор (рис. 7).

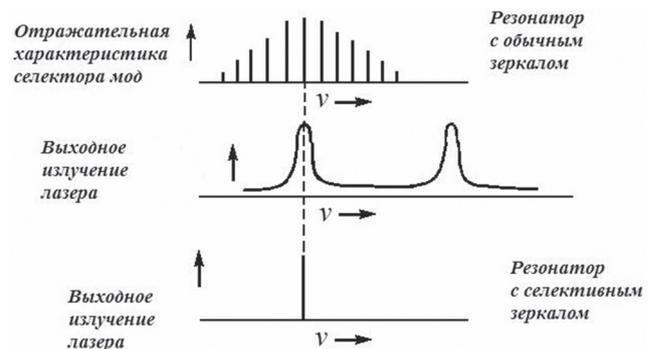


Рис. 7

На рис. 8 представлена структура резонатора чип лазера, состоящая из двух частей. Первая часть, выполнена из активного материала, с одной стороны имеет сферическое резонаторное зеркало, с другой стороны имеет поверхность, расположенную под 45 градусов к оптической оси резонатора. На эту поверхность наносится делительное покрытие на длине волны генерации и просветляющее покрытие на длине волны второй гармоники. К поверхности с делительным покрытием прижимается оптический элемент, выполненный из пассивного оптического материала, но с показателем преломления близким к показателю преломления активной среды.

Длина, определяемая вдоль оптической оси от делительного зеркала до глухого зеркала резонатора, представляет собой одну часть длины резонатора селектора. Другая часть определяется по направлению излучения, отраженного от делительного зеркала до второго зеркала, установленного на расстоянии большем, чем длина резонатора лазера. Вторая часть селектора может быть выполнена полностью из оптического, пассивного материала или представлять собой свободное пространство, в которое можно установить ячейку поглощения, когда используется внутрирезонаторная генерация второй гармоники.

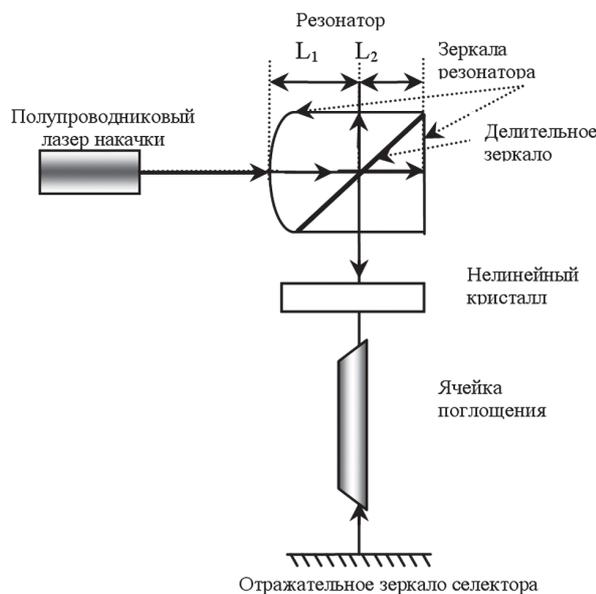


Рис. 8. Чип лазер с селектором продольных мод

Таким образом, одновременно с решением задачи одночастотного режима генерации, дополнительный резонатор с нелинейным элементом может обеспечить взаимодействие с нелинейной поглощающей средой при внутрирезонаторном расположении йодной ячейки. Следовательно, использование дополнительного к чип-лазеру резонатора позволяет решить как основную задачу - выделение одной продольной моды, так и обеспечение условий стабилизации частоты по линиям насыщенного поглощения в молекулярном йоде.

Стабилизация частоты осуществляется по пикам насыщенного поглощения в области

532 нм, поэтому температурный режим нелинейного кристалла играет определяющую роль при установлении точного значения частоты второй гармоники. Нелинейный кристалл должен находиться в отдельном термостате.

3. ФОРМИРОВАНИЕ ПОИСКОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

При стабилизации частоты излучения лазеров по естественным частотным реперам, одним из основных методов регистрации линий поглощений является модуляционный метод. Для реализации этого метода необходимы механизмы и устройства, обеспечивающие модуляцию длины резонатора. В том случае, когда резонатор лазера представляет собой самостоятельное устройство, в котором зеркала устанавливаются на пьезокерамических преобразователях, то обеспечение поисковой модуляцией представляет собой квалифицированную техническую работу.

С развитием лазерной физики создаются новые конструкции твердотельных чип лазеров, в том числе и на основе монокристаллических конструкций, в которых совмещены активная среда и оптический резонатор. Дальнейшее развитие такой конструкции твердотельных лазеров может привести к созданию миниатюрных оптических стандартов частоты, в основе которых будет монокристаллическая многослойная конструкция лазерного источника оптического излучения.

Рассматривая твердотельный чип лазер как основу оптического стандарта частоты, естественным становится вопрос, каким образом можно осуществлять модуляцию и сканирование длины резонатора лазера. Одно из решений, которое обычно реализуется при использовании монокристаллического активного элемента, это применение внешнего зеркала, в качестве второго зеркала резонатора.

В том случае, когда конструкция твердотельного чип лазера используется без внешнего зеркала, установленного на пьезокерамике, то необходимо использовать альтернативный метод модуляции длины резонатора.

В этой связи, целью настоящих исследований было исследование возможности и условий реализации поисковой модуляции в монокристаллическом, твердотельном чип-лазере.

Результаты измерения с помощью сканирующего интерферометра, ширины спектра излучения чип лазера [1], показали сильную зависимость частоты излучения от мощности накачки и параметров чип лазера (температура, угол падения излучения накачки). Ширина спектра при этом могла достигать величин порядка 200-300 МГц. Основываясь на экспериментальных результатах, можно сделать предположение, что необходимая поисковая модуляция на частоте в несколько кГц и амплитудой, которая, в соответствии с международными рекомендациями, должна приводить к ширине девиации оптической частоты

$1 \pm 0,2$ МГц [2] может быть осуществлена путем модуляции у лазера накачки интенсивности излучения. Реализация этого способа заключается в изменении температурного режима активной среды, под воздействием поля накачки.

При периодическом изменении мощности накачки наблюдается модуляция собственной частоты резонатора лазера. Аналогичная задача была исследована при стабилизации частоты Eг: стеклянного, монокристаллического лазера, работающего на длине волны 1,53 мкм по линиям поглощения в ацетилене [5-7].

Главная особенность, которую необходимо учитывать при использовании предлагаемого метода модуляции, заключается в возможности установления требуемой девиации оптической частоты [2]. Другая особенность, которая должна быть учтена при организации поисковой модуляции, заключается в качестве самого модуляционного сигнала. Нелинейность модуляционного сигнала не должна превышать -70 дБ.

Чтобы обеспечить выполнение этих особенностей, необходимо учесть характер воздействия поля накачки на частотные характеристики излучения твердотельного чип лазера. В общем случае изменение нормированной оптической частоты от частоты модуляции накачки описывается графиком, представленным на рис. 9 [6].

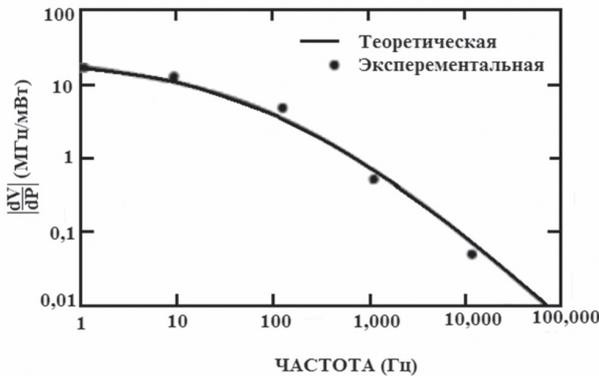


Рис. 9

Учитывая, что мощность накачки влияет на распределение температурного поля активного элемента лазера, то, естественно, с повышением частоты модуляции скорость изменения температурного поля уменьшается, что в свою очередь приводит к уменьшению девиации частоты оптического излучения.

Ориентируясь на проведенные эксперименты [5], можно выбрать оптимальную частоту модуляции, которая обеспечивает требуемую девиацию оптического излучения при разумных изменениях мощности излучения. В результате оценки условий модуляции, в чип-лазере необходимо на уровне средней мощности накачки в 250 мВт осуществлять на частоте 1 кГц гармонические изменения с амплитудой 1 мВт. Так для Nd:YAG при частоте модуляции 1 кГц и амплитуде модулирующего сигнала 10 мВ, подаваемого на блок питания лазера накачки, отклик был оце-

нен как 0,634 МГц/мВт. Таким образом, подбирая амплитуду модуляции тока лазера накачки, можно добиться рекомендованной величины девиации оптической частоты. Для обеспечения такого режима накачки твердотельного, активного элемента чип-лазера требуется установить определенный режим работы полупроводникового лазера накачки. В первую очередь это касается одномодового режима работы лазера. В процессе амплитудной модуляции мощности излучения, путем синусоидального изменения тока инжекции лазера, может наблюдаться перестройка с одной продольной моды на другую. В этом случае в характере поведения мощности излучения будет наблюдаться возбуждение гармоник частоты модуляции. Для того, чтобы избежать такого режима работы полупроводникового лазера, необходимо путем подбора условий работы устанавливать одночастотный режим работы в середине зоны устойчивости, происходит через изменение температурного поля среды активного элемента.

В общем случае, изменение резонансной частоты лазера, т.е. частоты излучения, в зависимости от изменения средней температуры активного элемента описывается выражением

$$dv = -\Lambda dT_{\text{сред}},$$

где $\Lambda = v \left(\frac{\partial n}{\partial T} + \alpha n \right)$, n – показатель преломления активной среды; α – коэффициент температурного линейного расширения.

$T_{\text{сред}}$ представляет собой среднее значение температуры, усредненной по объему моды

$$T_{\text{сред}} = \frac{2}{\pi r_m^2 l} \int_0^l \int_0^{2\pi} \int_0^\infty T \exp\left(-\frac{2r^2}{r_m^2}\right) r dr d\theta dz.$$

С другой стороны, пространственно-временное распределение температурного поля описывается уравнением

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \nabla^2 T + \frac{Q}{\rho c},$$

где Q – тепловые источники в единице объема, α – температурная диффузия, k – теплопроводность.

В работе [3] была подробно проанализирована математическая модель тепловой модуляции активного элемента лазера. Если не рассматривать в явном виде конечный размер поля накачки в активной среде, то коэффициент изменения оптической частоты с изменением мощности накачки описывается уравнением

$$\left| \frac{dv(\omega)}{dP(\omega)} \right| = \frac{v_0 K}{l} \left(\alpha + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} \right) \frac{\omega_0}{\omega}.$$

Здесь: ω – частота модуляции; v_0 – частота лазера; P – мощность накачки; l – длина резонатора; $\omega_0 = 8\alpha / (r_m^2 + r_p^2)$ – частота, обусловленная коэффициентом температурного расширения активной среды и размерами пучка накачки, может быть в пределах нескольких сот герц.

В каждом конкретном случае необходимо определять термодинамические коэффициенты активной среды и, исходя из них, вычислять характерную частоту.

Для того, чтобы обеспечить требуемую девиацию оптической частоты в 1 МГц, необходимо осуществлять изменения мощности накачки с амплитудой в 1 мВт на частоте около 1 кГц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время, наибольшее распространение получили твердотельные чип-лазеры с полупроводниковой накачкой в качестве высокоэффективных лазеров, используемых не только при обработке материалов, но и в информационных технологиях. Одним из перспективнейших направлений использования чип-лазеров является их применение в измерительной технике. Создание оптических стандартов частоты, которые характеризуются очень малыми габаритами, представляет собой актуальнейшую задачу современной лазерной техники. В настоящей работе были изучены условия формирования одночастотного и одномодового излучения чип лазера. Также показано, что с помощью поля накачки можно модулировать оптическую частоту и устанавливать требуемую для стабилизации девиацию оптической частоты. В лазере в зависимости от частоты и глубины модуляции мощности накачки можно обеспечить гармонический режим девиации оптической частоты, который позволит осуществлять стабилизацию частоты по пикам насыщенного поглощения в йоде.

Литература.

- [1] Брославец Ю.Ю., Фомичев А.А., Коваль Ю.П. Кобякова М.Ш., Кузьмин О.В. «Спектральные характеристики излучения микрочип-лазера с высококонцентрированной активной средой Nd:LSB и накачкой лазерным диодом» «Исследовано в России», <http://zhurnal.mipt.ru>, 1999.
- [2] Vitushkin L. Orlov O. A compact frequency-stabilized Nd:YVO₄/KTP/12 laser at 532 nm for laser interferometry and wavelength standards. Proc. of SPIE, Vol.5856, 2005, 281-286.
- [3] P. W. Smith, "Stabilized single frequency output from a long laser cavity," IEEE J. Quantum Electron. QE-1, 343-348 (1965).
- [4] Merkle, G.; Heppner, J. CO₂ waveguide laser with Fox-Smith mode selector, IEEE Journal of Quantum Electronics (ISSN 0018-9197), vol. QE-19, Nov. 1983, p. 1663-1667.
- [5] Marc Brunel and Marc Vallet Wavelength locking of CW and Q-switched Er³⁺ microchip lasers to acetylene absorption lines using pump-power modulation 2007 / Vol. 15, No. 4 / OPTICS EXPRESS 1612-1620.

- [6] Zayhowski J.J., Keszenheimer J.A. Frequency tuning of microchip lasers using pump-power modulation, IEEE Journal of Quantum Electronics Vol.28 Issue 4, pages 1118-1122, 1992.

Поступила в редколлегию 10.09.2010



Мачехин Юрий Павлович, доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, заслуженный метролог Украины, академик академии наук прикладной радиоэлектроники, заведующий кафедрой ФОЭТ ХНУРЭ. Область научных интересов: лазерная измерительная техника и оптоэлектронные приборы.



Медведенко Оксана Анатольевна, магистр факультета электронной техники ХНУРЭ. Область научных интересов: лазерная физика, оптические стандарты частоты, твердотельные лазеры с полупроводниковой накачкой.

УДК 621.373.8.038.825

Формування спектру випромінювання твердотілого чіп лазера з напівпровідниковою накачкою / Ю.П. Мачехін, О.А. Медведенко // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2010. Том 9. № 4. – С. 547-553.

У роботі наведено результати досліджень спектру випромінювання чіп лазерів з напівпровідниковою накачкою. Показано, як можна формувати спектр продольних та поперечних мод випромінювання у разі використання цих лазерів в оптичних стандартах частоти.

Ключові слова: твердотільний лазер, напівпровідникове накачування, спектр випромінювання, стандарт частоти.

Іл. 9. Бібліогр.: 6 найм.

UDC 621.373.8.038.825

Forming spectrum radiation of solid-state chip lasers with laser semiconductor pumping / Yu.P. Machekhin, O.A. Medvedenko // Applied Radio Electronics: Sci. Mag. – 2010. Vol. 9. № 4. – P. 547-553.

The paper presents the results of theoretical researches of monolithic solid-state chip lasers with semiconductor pumping, which may be used for designing compact optical standards of frequency. Conditions of forming a single mode generation regime by a pumping field are considered. It is shown that using the Fox – Smith selector one can realize the conditions of single frequency radiation generation. Obtaining the required deviation of optical frequency for its stabilization in peaks of saturated absorption in iodine is shown to be possible by means of modulation of pumping radiation intensity.

Keywords: solid-state laser, semiconductor pumping, radiation spectrum, frequency standard.

Fig. 9. Ref.: 6 items.