

Запропонований винахід належить до лазерної техніки і може знайти застосування як двочастотні джерела лазерного випромінювання, що працюють у складі різних радіовимірних пристроїв, наприклад, в інтерферометрах по діагностиці плазми в діапазоні субміліметрових (субмм) хвиль - гіпервисокочастотної (ГВЧ) частини електромагнітного спектра.

Субмм газорозрядні лазери застосовуються в інтерферометрах для діагностики плазми на установках типу «Токамак» [В.А. Щербов, Е.М. Кулешов, П.К. Нестеров Применение субмиллиметровых лазеров в интерферометрах для диагностики высокотемпературной плазмы - Харьков, 1988. // Препринт АН УССР. Ин-т радиофизики и электроники, №376]. Для нормальної роботи інтерферометра необхідно одержати стабільну різницю між частотами сигнального і гетеродинного сигналів мінімум у кілька десятків кілогерців. Причому, чим вище різнищева частота, тим вище швидкодія інтерферометра, нижче рівень шумів і вище точність вимірів.

Для одержання різнищевої частоти можуть використовуватися випромінювання від двох субмм лазерів, що працюють на різних частотах. [A modulated submillimeter laser interferometer system for plasma density measurements / S.W.Volf, K.J.Button, J.Valdman et al. //Appl. Optics. -1976, -15, N11. - p.699-703]. Основним недоліком такої схеми є нестабільність різнищевої частоти, оскільки частотна нестабільність субмм лазерів порівнянна з одержуваною різницею частот. Це істотно знижує точність вимірів і утрудняє роботу інтерферометра.

Для одержання стабільної різнищевої частоти найбільш часто використовуються механічні доплерівські зсувачі частоти [Щербов В.А., Нестеров П.К. Доплеровские сдвигатели частоты субмиллиметрового диапазона волн // Физика и техника миллиметровых и субмиллиметровых волн. - Київ Наук. Думка. - 1983. - с.251-256]. У цьому випадку використовується випромінювання одного лазера, яке розділяється в два канали, а зсув частоти здійснюється в результаті відбиття випромінювання від поверхні обертового диска зі східчастою насічкою, встановленого в одному з каналів. При цьому доплерівський зсув частоти залежить від несучої частоти лазера, швидкості обертання і розмірів диска. Достойнством такої схеми є стабільний зсув частоти. Недоліком є вібрації від обертового диска, що вносять перешкоди і знижують чутливість інтерферометра. Крім того, такі механічні зсувачі не дозволяють забезпечити високі значення різнищевої частоти через обмежену швидкість обертання диска.

Існує двочастотний газорозрядний субмм молекулярний HCN лазер, у резонаторі якого одночасно збуджуються два коливання з взаємно перпендикулярними поляризаціями [Каменев Ю.Е., Кулешов Е.М. Двухчастотная генерация с ортогональными поляризациями в HCN лазере. // Квантовая электроника. - 1987. - 14, №12. - с.236-238]. У такому лазері можна одержати одночасну генерацію випромінювань двох частот з можливістю їхнього поділу. Достойнством є висока стабільність різнищевої частоти і відсутність вібрацій. Недоліком є те, що різнищева частота обмежена смугою генерації лазера, яка звичайно не перевищує декількох мегагерц. Причому потужність лазерного випромінювання і ККД такого двочастотного лазера значно знижуються зі збільшенням різнищевої частоти.

Відомо, що рух активного середовища уздовж резонатора лазера викликає зрушення резонансної частоти [Ахманова С.А., Жаботинский М.Е., и др. Квантовая электроника. Москва Советская энциклопедия 1969., с.225-226]. Однак одержати на основі цього ефекту випромінювання двох частот у резонаторі звичайного двождзеркального лазера не можливо з ряду причин. Одна з причин полягає в тім, що такі лазери працюють тільки в режимі стоячої хвилі, утвореної в результаті суперпозиції прямої і зворотної хвиль у резонаторі. Це не дає можливості настроїти резонатор на випромінювання двох частот одночасно, за винятком випадку, коли частотний зсув цих хвиль дорівнює різниці між власними частотами резонатора.

Генерація в режимі хвилі, що біжить, можлива в лазері з кільцевим резонатором, утвореному трьома чи більшою кількістю дзеркал. У таких лазерах легко здійснити роздільне виведення випромінювань, що поширюються в кільцевому резонаторі в протилежних напрямках. При обертанні такого лазера навколо його центра з'являється різниця частот між хвилями, що поширюються в резонаторі в протилежних напрямках. На основі цього явища у видимому й інфрачервоному діапазоні створені лазерні гіроскопи, вимірники кута повороту і частоти обертання [Справочник по лазерам т.2 под ред. А.М. Прохорова // М. Сов. Радио 1978 с.36-46]. Однак, використовувати обертання кільцевого лазера для одержання двочастотного режиму генерації надзвичайно складно через складність узгодження випромінювання від обертового лазера з нерухомим трактом, а в субмм діапазоні це ще ускладнюється великими габаритами лазерів.

Різниця частот прямої і зворотної хвиль у кільцевому резонаторі може з'являтися в результаті спрямованого руху часток активної речовини при накачуванні лазера постійним струмом. Наприклад, відомо, що частки активної речовини рухаються від катода до анода в осовій області розрядної трубки, і в зворотному напрямку - поблизу стінок трубки. Це викликає появу не контрольованої різниці частот прямої і зворотної хвиль у кільцевому газорозрядному лазері. Таке явище зазвичай небажано для лазерних гіроскопів і з ним ведуть боротьбу. Для цього в кільцевих лазерах застосовують два розрядних проміжки з зустрічним напрямком руху часток [С.И. Бычков, Д.П. Лукьянов, А.И. Баклер Лазерный гироскоп М. Сов. Радио 1975г. с.249-250]. Таке явище може використовуватися і для створення початкового зсуву частоти в лазерних гіроскопах. [Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники Київ Вища школа 1981 408с. (245-246)]. Однак, це може викликати зниження ККД лазера, оскільки частки активної речовини рухаються в протилежних напрямках по перетину розрядної трубки.

Найближчим по технічній сутності до запропонованого винаходу (прототипом) є двочастотний кільцевий газорозрядний лазер [Белов Е.Ф. и др. Проектирование и эксплуатация лазерных приборов в судостроении // Ленинград Судостроение, 1986 - 336с., с.251-256]. Газовий розряд у цьому лазері збуджується в розрядній трубці, вигнутій у вигляді багатокутника. Резонатор кільцевого типу утворений системою дзеркал, розташованих у вершинах багатокутника. Одне з дзеркал виконано частково прозорим і служить для виведення випромінювання з резонатора.

При обертанні резонатора навколо осі, перпендикулярній площині багатокутника, виникає різниця частот між випромінюваннями, що поширюються в резонаторі в протилежних напрямках і виходять з резонатора окремими пучками.

Недоліком цього лазера є те, що його дуже складно використовувати як двочастотне джерело у випадку, коли приймально-вимірні апаратура не обертається разом з лазером. Крім того, при великих габаритах лазера (наприклад, субміліметрові лазери) взагалі важко здійснити його обертання.

В основу винаходу поставлена задача удосконалити двочастотний кільцевий газорозрядний лазер шляхом прокачування активної речовини по контуру резонатора лазера, що дозволить використовувати такий лазер як нерухоме двочастотне джерело випромінювання.

Поставлена задача вирішується в такий спосіб: у двочастотному кільцевому газорозрядному лазері, що містить розрядну трубку, вигнуту у вигляді багатокутника, і систему дзеркал, що утворюють резонатор кільцевого типу, одне з яких виконано частково прозорим, розрядна трубка обладнана пристроєм для прокачування через неї активної речовини по контуру резонатора з можливістю регулювання швидкості прокачування, а в місці напуску активної речовини в розрядну трубку встановлена додаткова розрядна секція з регульованою ділянкою газового розряду.

Завдяки тому, що по контуру резонатора прокачується активна речовина у резонаторі з'являється різниця частот між випромінюваннями, що поширюються в протилежних напрямках. Пристрій прокачування дозволяє зміною швидкості прокачування регулювати цю різницю частот. Наявність додаткової розрядної секції з регульованою ділянкою газового розряду дозволяє уникнути істотних втрат потужності лазерного випромінювання при високих швидкостях прокачування.

Різниця частот тим вище, чим вище швидкість прокачування. Дозволяє швидкості руху часток активної речовини забезпечують досить високу різницю частоту і легко здійснювані. Однак, швидкість прокачування може бути і вище (наприклад у проточних хімічних лазерах [В.К.Албеков, Ю.Н.Денисов. Проточные химические лазеры // М. Энергоатмиздат 1987] успішно реалізуються швидкості прокачування в кілька разів перевищуючі швидкість звуку).

У газорозрядних субміліметрових лазерах відбувається запізнювання генерації відносно початку дії газового розряду на час, що необхідний для утворення і збудження активної речовини. Наприклад, у субміліметрових HCN лазерах час запізнювання складає від декількох десятків до декількох сотень мікросекунд. Тому в резонаторі з боку напуску з'являється ділянка, де робоча суміш ще не встигає перетворитися в активну речовину. На цій ділянці присутні втрати випромінювання, але відсутнє посилення в речовині. При високих швидкостях прокачування ця ділянка досягає істотних розмірів і може помітно знижувати потужність випромінювання. У пропонованому лазері така ділянка виведена за межі резонатора. Для цього з боку напуску в резонатор робочої суміші введена додаткова розрядна секція з регульованою ділянкою газового розряду. Довжина розряду регулюється в залежності від швидкості прокачування. Таким чином, здійснюється компенсація зменшення загальної довжини активної ділянки газового розряду, викликаного зазначеним ефектом запізнювання.

Сутність винаходу пояснюється кресленням, на якому зображена схема пропонованого лазера в трьох-дзеркальному варіанті з розрядною трубкою, вигнутою у вигляді трикутника. Резонатор лазера може бути утворений як трьома, так і чотирма, чи більшою кількістю дзеркал, що утворюють відповідний багатокутник. Усі ці варіанти підпадають під визначення кільцевого лазера. Перевагою трьох-дзеркальної системи є мінімальні втрати випромінювання на дзеркалах. Перевагою чотирьохдзеркальної системи є можливість створення компактного лазера. Вибір тієї чи іншої схеми побудови лазера визначається конкретними технічними й економічними вимогами до системи, у якій передбачається його використання.

Пропонований лазер містить розрядну трубку 1 і систему дзеркал 2, 3, що утворюють резонатор кільцевого типу. Дзеркало 3 виконане частково прозорим і служить для роздільного виведення випромінювань, що поширюються в резонаторі в протилежних напрямках. Лазер має пристрій 4 для прокачування активної речовини через розрядну трубку 1 в одному напрямку по контуру резонатора, з можливістю регулювання швидкості прокачування. У місці напуску робочої суміші в резонатор встановлена додаткова розрядна секція 5 з регульованою ділянкою газового розряду. Газовий розряд збуджується за допомогою електродів 6, 7. На малюнку показаний один з можливих варіантів регулювання довжини розряду, у якому електрод 7 переміщується уздовж розрядної секції 5.

Лазер працює в такий спосіб. На електроди 6, 7 подається напруга від джерела накачування. Під дією цієї напруги в розрядній трубці 1 виникає газовий розряд. У результаті розряду активна речовина, що прокачується через розрядну трубку 1, переходить у збуджений стан. У кільцевому резонаторі, утвореному дзеркалами 2, 3, виникає лазерна генерація в режимі хвилі, що біжить. Активна речовина рухається по контуру резонатора. Частки активної речовини, що рухаються, є джерелами випромінювання. Під впливом ефекту Доплера на нерухомі дзеркала падає випромінювання зі зсувом частоти  $\Delta\nu$  від часток, що наближаються, і часток, що віддаляються.

$$\Delta\nu \cong \frac{v}{\lambda_0}$$

де  $v$  - швидкість прокачування активної речовини через резонатор,

$\lambda_0$  - центральна довжина хвилі випромінювання активної речовини.

Випромінювання, що поширюється в резонаторі в протилежні сторони, роздільно виводяться після проходження через частково прозоре дзеркало 3, їхні частоти відрізняються на величину  $2\Delta\nu$ . Змінюючи швидкість прокачування активної речовини можна змінювати різницю частот цих випромінювань. Різниця частот між випромінюваннями, що виходять з лазера, визначається як

$$\Delta\nu_{\Sigma} = 2 \frac{v}{\lambda_0}$$

У розрядну трубку з боку розрядної секції 5 подається робоча суміш. Для того щоб робоча речовина під впливом газового розряду перетворилася в активну речовину необхідно деякий час (наприклад, у HCN лазерах цей час запізнювання може складати кілька сотен мікросекунд). Протягом часу запізнювання робоча суміш не може брати участь у генерації і її перебування в резонаторі енергетичне не вигідно. Тому в пропонованому лазері робоча речовина протягом цього часу запізнювання просувається по ділянці газового розряду розрядної секції 5, що не входить до складу резонатора. Оскільки швидкість речовини в розрядній трубці може змінюватися, то необхідно відповідно змінювати довжину розряду в розрядній секції. Для цього електрод 7 обладнано пристроєм переміщення уздовж розрядної секції 5, що забезпечує можливість оптимізації довжини розряду в секції при різних режимах прокачування. Оптимальна довжина розряду в розрядній секції може бути оцінена по формулі:

$$L = v \times t,$$

де  $v$  - швидкість прокачування активної речовини через резонатор,  
 $t$  - час, необхідний на утворення активної речовини.

Завдяки тому, що в кільцевому резонаторі пропонуваного лазера активна речовина прокочується по контуру резонатора, виявляється можливим одержати різницю частот між вихідними випромінюваннями. Цю різницю частот можна регулювати за допомогою зміни швидкості прокачування активної речовини. Завдяки наявності додаткової розрядної секції в місці напуску робочої речовини в розрядну трубку вдається уникнути втрат потужності випромінювання, зв'язаних з інтервалом часу, необхідним для утворення активної речовини.

Наприклад, при швидкості прокачування активної речовини 100м/с розрахункова різниця частот у кільцевому субмм HCN лазері (довжина хвилі 337мкм), якщо реалізувати його за пропонованою схемою, складає близько 600Кгц. При цьому довжина розрядної секції при  $t=500\text{мкс}$  складає 5см.

