



УКРАЇНА

(19) UA (11) 91610 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
H01S 3/086МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЛАЗЕР З ПЛАВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИВЕДЕННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЗОНАТОРА

1

2

(21) а200813063

(22) 10.11.2008

(24) 10.08.2010

(46) 10.08.2010, Бюл.№ 15, 2010 р.

(72) КІСЕЛЬОВ ВОЛОДИМИР КОСТЯНТИНОВИЧ,  
РАДІОНОВ ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ  
ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ  
НАУК УКРАЇНИ

(56) SU 1111657 A1, 30.09.1982

RU 2054217 C1, 10.02.1992

US 20010028672 A1, 11.10.2001

RU 2346367 C2, 27.04.2008

UA 79123 C2, 25.05.2007

(57) Лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора, що містить активний елемент, резонатор, утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох сторін від активного елемента, одне з яких є двограним з кутом між гранями  $90^\circ$ , і механізм повороту двогранного дзеркала навколо осі резонатора, який відрізняється тим, що друге дзеркало є плоским або ввігнутим і в ньому є вивідний отвір, зміщений щодо осі резонатора.

Пропонований винахід стосується лазерної техніки й може використовуватись в діапазоні частот, на яких у резонаторах можливе застосування вивідних дзеркал з отворами. Це терагерцевий і інфрачервоний діапазони, де значне дифракційне розходження пучка випромінювання. Але зі зменшенням розмірів лазерів і апертури лазерних пучків галузь застосування пропонованого винаходу може розширюватися.

На потужність і ККД лазера значно впливає коефіцієнт пропущення вивідного дзеркала резонатора, що забезпечує зворотний зв'язок. При надто прозорому вивідному дзеркалі генерація в лазері може взагалі не виникати. При використанні дзеркала з недостатнім коефіцієнтом пропущення генерація виникає, але з резонатора виводиться не виправдано мала частина електромагнітного випромінювання й це знижує потужність і ККД лазера. Одержання максимальних потужності випромінювання й ККД можливе лише при оптимальній величині коефіцієнта пропущення вивідного дзеркала. Ця величина залежить від коефіцієнта підсилення активної речовини, форми й розмірів резонатора, а також від втрат у резонаторі.

Як вивідне дзеркало в лазерах можуть використовуватись різні елементи, наприклад, частково прозорі плівки, решітки, дзеркала з отворами. Дзеркала з отворами є досить простим і надійним елементом і часто застосовуються в терагерцево-му і інфрачервоному діапазонах.

Звичайно вивідне дзеркало має постійні параметри й підбір оптимальної величини пропущення здійснюється шляхом зміни дзеркал. Це досить

трудомісткий процес, оскільки зміна дзеркала порушує юстировку резонатора. До того ж через дискретність параметрів дзеркал важко точно підібрати оптимум. Але навіть ретельно підібране дзеркало не може бути оптимальним на всіх режимах роботи, оскільки посилення й згасання випромінювання в лазері може змінюватися в процесі його роботи. На посилення в активній речовині впливають, в основному, параметри накачування, температура, а в газових лазерах ще й тиск активної речовини. Різке посилення й загасання в резонаторі мають коливання різних частот, а також різної поперечної моди випромінювання однієї частоти. Виходячи із усього цього, стає очевидним перевага вивідного дзеркала з можливістю плавної зміни його коефіцієнта пропущення в процесі роботи лазера. Це дозволяє експлуатувати лазер з максимальним ККД на різних режимах роботи. Особливо це суттєво при розробці й оптимізації лазерів з маловивченими активними речовинами.

Відомий лазер, у якому для регулювання вихідної потужності використовується додатково встановлене в резонаторі рухливе дзеркало малого перетину, розташоване під кутом до напрямку поширення випромінювання в резонаторі, (Свейн Д. Устройство для регулирования связи на выходе лазера в дальней ИК области. Приборы для научных исследований, 1972, №7 с.86). Це дзеркало зв'язку може переміщатись поперек резонатора й змінювати кут щодо осі резонатора. У результаті вдається плавно регулювати випромінювання, виведене з резонатора.

(13) C2

(11) 91610

(19) UA

Недоліком такого пристрою є те, що елементи кріплення дзеркала зв'язку вносять додаткові втрати в резонатор. До того ж у процесі регулювання відбувається зміна напрямку вивідного пучка випромінювання і його перетину, що ускладнює узгодження лазера з лінією передачі.

Відомий також лазер, у якому осесиметричний резонатор утворений розташованими по торцях активного елемента плоским кільцевим дзеркалом і конічним кільцевим дзеркалом з нахилом утворюючої  $45^\circ$  і внутрішньою поверхнею, що відбиває (А.с. СССР №1829832 от 4.01.92, Лазер; А.М.Коробов, В.П.Радионоу, Ю.Е.Каменев). На осі резонатора усередині конічного кільцевого дзеркала встановлений конічний відбивач із кутом при вершині  $90^\circ$  і зовнішньою поверхнею, що відбиває. За допомогою цього відбивача об'єм активного елемента розділяється на дві зони - зону генерації й зону посилення. У зоні генерації випромінювання багаторазово відбивається від кільцевих дзеркал, а в зоні посилення випромінювання випробовує кілька перевідбиттів і, потрапивши на конічне дзеркало, виводиться з резонатора. Випромінювання попадає із зони генерації в зону посилення завдяки дифракції. Конічний відбивач може плавно переміщатися уздовж осі резонатора, у результаті чого відбувається плавна зміна співвідношень об'ємів цих зон і зміна тієї частини випромінювання, що виводиться з резонатора.

Достоїнством такого лазера є те, що частка виведеного з резонатора випромінювання може змінюватися в широких межах і безпосередньо в процесі роботи лазера.

Недоліком такого лазера є зміна перетину вивідного пучка випромінювання в процесі регулювання зв'язку, що ускладнює його узгодження з лініями передачі.

Найбільш близьким з відомих і обраним як найбільшій аналог запропонованого винаходу є лазер із плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора (А.с. СССР N1111657 от 1989г; МКИ H01S3/08, 3/22; Волноводный газовый лазер; Каменев Ю.Е., Киселев В.К., Кулешов Е.М., Литвинов Д.Д., Полупанов В.Н.). Цей резонатор утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох боків від активного елемента. Одне дзеркало є двограним з кутом між гранями  $90^\circ$ , воно має механізм повороту дзеркала навколо осі резонатора. Другим дзеркалом є металева дротяна решітка, через яку випромінювання виводиться з резонатора. Поворотом двогранного дзеркала навколо осі резонатора можна змінювати поляризацію відбитого від нього випромінювання й тим самим регулювати проходження випромінювання через вивідне дзеркало.

Достоїнством такого лазера є можливість у процесі роботи плавно регулювати пропущення вивідного дзеркала без зміни перетину вивідного пучка випромінювання.

Недоліком лазера з таким резонатором є те, що металева решітка може працювати тільки з лінійно поляризованим випромінюванням і є досить дорогим і ненадійним елементом. Крім того, оскільки крок решітки й товщина дртинок повинні бути набагато менше довжини хвилі, це вносить

технологічні обмеження на виготовлення таких решіток для короткохвильової частини терагерцевого діапазону й тим більше в інфрачервоному діапазоні. Мала товщина дртинок не дозволяє використовувати такі решітки в потужних лазерах.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити лазер шляхом виведення випромінювання за рахунок дифракційного розходження, що дозволить підвищити надійність лазера й розширити його частотний діапазон і діапазон потужностей, а також одержувати випромінювання різних поляризацій.

Поставлена задача вирішується тим, що в лазері з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора, який містить активний елемент, резонатор, утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох сторін від активного елемента, одне з яких є двограним з кутом між гранями  $90^\circ$ , і механізм повороту двогранного дзеркала навколо осі резонатора, відповідно до винаходу, друге дзеркало є плоским або ввігнутим і в ньому є вивідний отвір, зміщений щодо осі резонатора.

Заміна дротяної решітки дзеркалом з отвором дозволяє підвищити надійність лазера й розширити його частотний діапазон і діапазон потужностей, а також одержувати випромінювання будь-яких поляризацій.

Сутність винаходу пояснюється ілюстраціями. На Фіг.1 зображено схему лазера, на Фіг.2-4 зображені різні етапи регулювання виведення випромінювання з резонатора.

Запропонований лазер містить активний елемент 1, розміщений між дзеркалами 2 і 3, що утворюють резонатор. Дзеркало 2 є двограним з кутом між гранями  $90^\circ$ . Дзеркало 3 має плоску або ввігнуту поверхню, що відбиває, і в ньому є отвір 4, зміщений щодо осі резонатора, через який з резонатора виводиться випромінювання. Лазер має механізм повороту двогранного дзеркала 2 навколо осі резонатора (на ілюстрації механізм не показаний). При повороті двогранного дзеркала 2 змінюється положення його ребра щодо отвору 4, у такий спосіб здійснюється регулювання виведення випромінювання з резонатора.

Лазер працює в такий спосіб. Накачування лазера може здійснюватися будь-якими відомими способами. Під впливом енергії накачування речовина в активному елементі 1 приводиться в збуджений стан. Резонатор формує когерентне випромінювання, напрямок поширення якого паралельний осі резонатора. Регулювання виведення випромінювання з резонатора здійснюється поворотом двогранного дзеркала 2 навколо осі резонатора, але для наочності на Фіг.2-4 зображений поворот саме лазера щодо нерухомого двогранного дзеркала 2.

У випадку, коли центр отвору 4 проектується на ребро двогранного дзеркала 2 (Фіг.2), з резонатора виводиться мінімальна частина випромінювання, що попадає в зону, обмежену циліндром, що має основу, рівну контуру отвору 4, і висоту, рівну відстані між дзеркалами резонатора. Випромінювання, що не попадає в зону виведення, багаторазово перевідбивається від дзеркал і підсилюється в активній речовині. Якщо дзеркало 3

виконане плоским, випромінювання із зони багаторазового відбиття попадає в зону виведення тільки завдяки дифракційному розходженню, що пропорційно довжині хвилі й обернено пропорційно перетину пучка випромінювання. Дифракційний зв'язок між двома цими зонами пропорційний площі границі між ними - тобто бічній поверхні циліндра, напрямною якого є контур отвору 4. При використанні ввігнутого дзеркала 3 з великим радіусом кривизни (значно перевищуючим довжину резонатора) випромінювання стискується до осі резонатора. Це збільшує щільність випромінювання в зоні отвору й одночасно знижує «непотрібне» дифракційне зсування випромінювання за зовнішні крайки дзеркал.

Для збільшення частки виведеного з резонатора випромінювання необхідно повернути двогранне дзеркало 2 так, щоб центр отвору 4 проектувався на одну з його граней (Фіг.3). При цьому збільшується об'єм зони виведення випромінювання (на Фіг.3 ця зона заштрихована) і внаслідок цього збільшується частка виведеного з резонатора випромінювання.

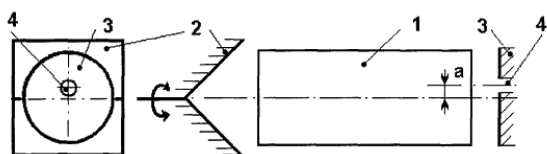
Максимальна частина випромінювання з резонатора виводиться у випадку, коли отвір 4 повністю проектується на одну із граней двогранного дзеркала 2 (Фіг.4). У цьому випадку об'єм зони виведення випромінювання (заштрихованої зони) збільшується за рахунок перевідбиття на іншу грань у два рази в порівнянні з варіантом, зображеним на Фіг.2. Пропорційно збільшується й частка виведеного з резонатора випромінювання. Перетин виведеного з резонатора пучка лазерного

випромінювання дорівнює перетину отвору 4 і не змінюється на будь-якому етапі регулювання.

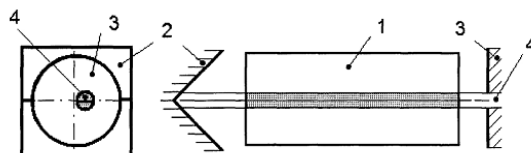
У лазері із запропонованим резонатором можна плавно змінювати частину виведеного випромінювання в межах від мінімальної (що задається діаметром отвору), коли ребро двогранного дзеркала 2 ділить проекцію отвору 4 на дві рівні частини, до максимальної (приблизно у два рази перевищуючу мінімальну частину), при повороті двогранного дзеркала на  $90^\circ$ . Такого діапазону регулювання цілком достатньо для коректування зв'язку при переході на різні режими або моди з використанням тої самої активної речовини, а також при переході на різні активні речовини з близькими коефіцієнтами підсилення. Природно, що діаметр отвору потрібно вибирати з тим розрахунком, щоб мінімальний зв'язок був заздалегідь нижче оптимального. Використання в резонаторі замість дрітаної решітки дзеркала з отвором підвищує надійність лазера, розширює діапазон довжин хвиль і потужностей випромінювань лазера, а також дозволяє одержувати випромінювання будь-яких поляризацій.

Застосовувати таку схему можна у всіх діапазонах, де дзеркала з отворами можуть застосовуватися як вивідні дзеркала резонатора. Звичайно це терагерцевий і інфрачервоний діапазони, де дифракційне розходження пучка випромінювання порівняно велике. Зі зменшенням розмірів лазерів і перетину лазерних пучків діапазон застосування таких лазерів може розширюватися.

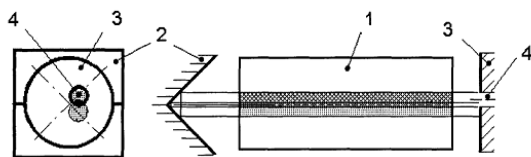
Запропонована схема є досить простою і її можна використовувати в лазерах з резонаторами Фабрі-Перо після деякої їхньої доробки.



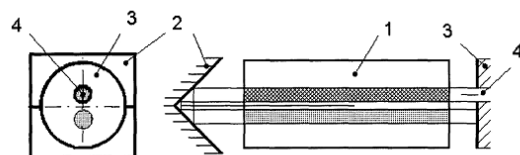
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4