



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114127** (13) **C2**  
(51) МПК (2017.01)  
**H01S 3/097** (2006.01)  
**H01S 3/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

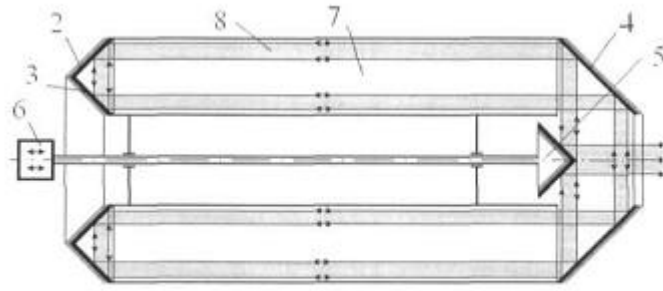
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2015 07631</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Дзюбенко Михайло Іванович (UA), Маслов Вячеслав Олександрович (UA), Радіонов Володимир Петрович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>30.07.2015</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Ак. Проскури, 12, м. Харків, 61085 (UA)</b>
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.04.2017</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: DE 4424726 C1, 01.02.1996 US 4050036 A, 20.09.1977 US 4598408 A, 01.07.1986 RU 2232454 C2, 10.07.2004 RU 2305351 C1, 27.08.2007 SU 772355 A, 15.07.1984 SU 1061670 A, 23.11.1987 Радионон В.П. Конические 90° зеркала для резонатора лазера терагерцевого диапазона // В.П. Радионон, В.К. Киселев //Радиофизика и электроника. – 2014. – Т.5 (19). - №2. – С.82-85
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>25.12.2015, Бюл.№ 24</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.04.2017, Бюл.№ 8</b>	

**(54) ЛАЗЕР З ПЛАВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИВЕДЕННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЗОНАТОРА****(57) Реферат:**

Винахід належить до лазера з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора. Лазер містить активний елемент кільцевого перерізу та резонатор, утворений розташованими по торцях активного елемента дзеркалами. На одному торці розташовані два дзеркала, перше з яких виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового зрізаного конуса з кутом при вершині 90°. Друге дзеркало служить для виводу випромінювання з резонатора. Це вихідне дзеркало виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового конуса з кутом при вершині 90°, і забезпечено механізмом переміщення уздовж осі резонатора. Пропонується на іншому торці активного елемента розташувати складене дзеркало, що складається з великого і малого конічних кільцевих дзеркал, які виконані у вигляді бічних поверхонь зрізаних прямих кругових конусів з кутами при вершинах  $90^\circ \pm \Delta$ , де  $\Delta$  - поправка, що зазвичай не перевищує 1° та служить для коригування дифракційного розходження випромінювання. Вихідне дзеркало розділяє об'єм резонатора на дві зони - зону генерації з багаторазовим відбиттям випромінювання від дзеркал і зону виведення випромінювання з резонатора. Технічний результат: підвищення ККД і потужності лазера, а також підвищення його стійкості до теплових та механічних впливів.

**UA 114127 C2**



Фиг. 3

Запропонований винахід належить до лазерної техніки й може використовуватись при створенні лазерів з регулюванням у широких межах виведення частки випромінювання з резонатора. При цьому в резонаторі лазера не використовуються частково прозорі дзеркала або дротяні решітки, які накладають обмеження по діапазону частот та потужностей.

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

Зазвичай вивідне дзеркало має постійні параметри, тому підбір оптимальної величини пропускання здійснюється шляхом зміни дзеркал. Це досить трудомісткий процес, оскільки зміна дзеркала порушує юстирування резонатора і виникає необхідність після кожної заміни проводити додаткове юстирування. 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 випромінювання в активній речовині значно впливають параметри накачування і температура, а в газових лазерах ще й тиск активної речовини. Не однакове посилення мають також коливання різної частоти. В лазерах, що потребують прокачування активної речовини, зокрема в газорозрядних субміліметрових лазерах, до факторів впливу на посилення додається і швидкість прокачування активної речовини. Зазвичай ці перераховані фактори вдається стабілізувати, але іноді це неможливо. Наприклад, в лазерах з перестроюванням частоти при перестроюванні змінюється також і підсилення активної речовини. При регулюванні потужності лазерного випромінювання змінюються параметри накачки. Виходячи із усього цього, стає очевидним перевага вивідного дзеркала з можливістю плавної зміни його коефіцієнта пропускання в процесі роботи лазера. Це дозволяє експлуатувати лазер з максимальним ККД на різних режимах роботи. Особливо це суттєво для лазерів, що мають перестроювання по частоті, а також регулювання потужності лазерного випромінювання.

Відомий лазер, у якому для регулювання частки виведеного випромінювання використовується додатково встановлене в резонаторі рухливе дзеркало малого перерізу, яке розташовано 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 переміщатися поперек резонатора й змінювати кут щодо осі резонатора. Завдяки цьому вдається плавно регулювати частку випромінювання, що виводиться з резонатора.

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, що ускладнює узгодження лазера з лінією передачі.

Відомий також лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора, що працює у субміліметровому діапазоні (А.с. СССР N1111657 от 1989 г; МКИ Н 01S 3/08, 3/22; Хвильовий газовий лазер; Каменев Ю.Е., Киселев В.К., Кулешов Е.М., Литвинов Д.Д., Полупанов В.Н.). Резонатор цього лазера утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох боків від активного елемента. Одне дзеркало є двограним з кутом між гранями  $90^\circ$  і має механізм повороту 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 - решітку.

Перевагою такого лазера є можливість плавно і у широких межах регулювати пропускання вивідного дзеркала.

Недоліком лазера з таким резонатором є високі технологічні вимоги до виготовлення поворотного механізму двогранного дзеркала, недотримання яких спричиняє порушення юстирування при повороті двогранного дзеркала, а також те, що металева решітка є досить складним і ненадійним елементом. Товщина дртинок решітки має бути набагато менше довжини хвилі, що вносить технологічні обмеження на її виготовлення і практично обмежує її застосування в терагерцевому діапазоні. Мала товщина дртинок обмежує теплове навантаження на них і не дозволяє використовувати такі решітки в потужних лазерах.

Відомий також лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора (Патент України № 105802 Лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора: МПК H01S 3/086 / Кісельов В.К., Радіонов В.П.). Резонатор цього лазера утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох боків від активного елемента. Одне дзеркало є плоским або ледь увігнутим і має вивідний отвір, а також оснащено механізмом зміщення по опорній площині, перпендикулярній осі резонатора. Друге дзеркало є двограним з кутом між гранями  $90^\circ$  або тригранним з кутом між гранями  $90^\circ$ . При зміщенні вивідного отвору відносно ребра двогранного дзеркала або вершини тригранного дзеркала здійснюється регулювання частки випромінювання, що виводиться з резонатора.

Перевагою цього лазера є здійснення регулювання зворотного зв'язку без застосування в резонаторі частково прозорих дзеркал або дротяних решіток, що дозволяє застосувати таку схему в широкому діапазоні частот та потужностей. В процесі регулювання майже не порушується юстирування резонатора, особливо, при застосуванні тригранного дзеркала.

Недоліком цього лазера є обмежений діапазон регулювання. Частка виведеного з резонатора випромінювання може змінюватись приблизно в два рази.

Найбільш близьким з відомих і вибраним як прототип запропонованого винаходу є лазер із плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора (А.с. СССР № 1829832 от 4.01.92, Лазер; А.М. Коробов, В.П. Радионов, Ю.Е. Каменев). У цьому лазері активний елемент має переріз кільцевої форми. Резонатор утворений розташованими на торцях активного елемента плоским кільцевим дзеркалом і конічним кільцевим дзеркалом з нахилом утворюючої  $45^\circ$  і внутрішньою поверхнею, що відбиває. 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 і зону посилення. У зоні генерації випромінювання багаторазово відбивається від кільцевих дзеркал, а в зоні посилення випромінювання здійснює не більше двох проходжень крізь активну речовину 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, в результаті відбувається плавна зміна співвідношень об'ємів цих зон і зміна тієї частини випромінювання, що виводиться з резонатора.

Перевагою такого лазера є те, що частка виведеного з резонатора випромінювання може змінюватися в широких межах. При регулюванні не порушується юстирування резонатора, оскільки дзеркала, від яких випромінювання багаторазово відбивається, залишаються нерухомими. Активний елемент кільцевого перерізу дозволяє здійснювати його накачку одночасно з зовнішньої і внутрішньої поверхні, що підвищує однорідність активного елемента. Конічне кільцеве дзеркало здійснює перекидання випромінювання у діаметрально протилежну зону активного елемента. Завдяки цьому випромінювання проходить крізь активний елемент двома різними шляхами, що знижує вплив на нього неоднорідностей активної речовини. Корисним є і те, що конічне кільцеве дзеркало майже не потребує юстирування, що спрощує налаштування резонатора і робить його стійкішим до механічних і теплових впливів.

Недоліком такого лазера є те, що на вихідне конічне дзеркало потрапляє лише те випромінювання, яке під впливом дифракції зміщується в напрямку від осі резонатора. Випромінювання, яке зміщується в напрямку до осі резонатора, потрапляє за межі резонатора і втрачається. Це зменшує ККД і потужність лазера. Плоске кільцеве дзеркало потребує ретельного юстирування, що не дозволяє повністю відмовитись від процедури юстирування резонатора і максимально підвищити його стійкість до механічних і теплових впливів.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити лазер шляхом оптимізації розповсюдження випромінювання в резонаторі, що зменшить втрати в резонаторі, а отже, підвищить ККД і потужність лазера, а також підвищить його стійкість до теплових і механічних впливів.

Поставлена задача вирішується тим, що в лазері з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора, який містить вісесиметричні активний елемент, обмежений коаксіальними циліндричними поверхнями, та резонатор, утворений розташованими по торцях активного елемента дзеркалами, причому на одному торці розташовані два дзеркала, перше з яких виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового зрізаного конуса з кутом при вершині  $90^\circ$ , більший і менший діаметри якого відповідають зовнішньому і внутрішньому діаметрам активного елемента, і звернено внутрішньою поверхнею, яка віддзеркалює, до активного елемента, друге дзеркало, яке виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового конуса з кутом при вершині  $90^\circ$ , звернуто зовнішньою поверхнею, яка віддзеркалює, до внутрішньої поверхні першого дзеркала і забезпечено механізмом переміщення уздовж осі резонатора,

відповідно до винаходу, на іншому торці розташовано складене дзеркало, що складається з великого і малого конічних кільцевих дзеркал, які виконані у вигляді бічних поверхонь зрізаних прямих кругових конусів з кутами при вершинах  $90^\circ \pm \Delta$ , де  $\Delta$  - поправка для коригування дифракційного розходження випромінювання, яка зазвичай не перевищує  $1^\circ$ , причому дзеркальні внутрішня поверхня великого дзеркала та зовнішня поверхня малого дзеркала звернуті до активного елемента, велике і мале дзеркала щільно з'єднані між собою, а більший діаметр великого дзеркала та менший діаметр малого дзеркала відповідають зовнішньому та внутрішньому діаметрам активного елемента.

Завдяки застосуванню складеного дзеркала, що складається з великого і малого конічних кільцевих дзеркал, виконаних у вигляді бічних поверхонь зрізаних прямих кругових конусів з кутами при вершинах  $90^\circ$ , з резонатора виводиться випромінювання, що наближається як до зовнішньої, так і до внутрішньої поверхні активного елемента. Це знижує втрати випромінювання в резонаторі. Також підвищується стійкість резонатора до механічних та теплових впливів, оскільки дзеркала з обох торців резонатора не потребують ретельного юстирування.

Суть винаходу пояснюється ілюстраціями.

На фіг. 1 зображено схему лазера, на фіг. 2, 3, 4 різні фази регулювання.

Запропонований лазер містить вісесиметричний активний елемент 1, обмежений коаксіальними циліндричними поверхнями так, що він має переріз кільцевої форми. З обох торців активного елемента 1 розташовані дзеркала, що утворюють вісесиметричний резонатор. На одному торці активного елемента 1 розташоване складене дзеркало, що складається з великого конічного кільцевого дзеркала 2 і малого конічного кільцевого дзеркала 3. Дзеркала 2 і 3 виконані у вигляді бічних поверхонь зрізаних прямих кругових конусів з кутами при вершинах  $90^\circ \pm \Delta$ , де  $\Delta$  - поправка для коригування дифракційного розходження випромінювання, яка зазвичай не перевищує  $1^\circ$ . Дзеркала 2, 3 звернені дзеркальними поверхнями до активного елемента 1. На протилежному торці активного елемента 1 розташовано кільцеве дзеркало 4, яке виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового зрізаного конуса з кутом при вершині  $90^\circ$ . Воно звернене внутрішньою дзеркальною поверхнею до активного елемента 1. В середині внутрішньої циліндричної поверхні, яка обмежує активний елемент 1, з боку дзеркала 4 розташовано вихідне дзеркало 5. Воно виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового конуса з кутом при вершині  $90^\circ$ , з віддзеркалюючою зовнішньою поверхнею. Вихідне дзеркало 5 може плавно переміщатись уздовж осі резонатора за допомогою механізму 6 переміщення.

Лазер працює в такий спосіб. Оскільки активний елемент 1 має переріз кільцевої форми, вдається досягти високої однорідності накачки, розмістивши елементи накачки ззовні і зсередини кільця. Накачка лазера може здійснюватися багатьма відомими способами. Наприклад, в разі газорозрядної накачки можуть використовуватись коаксіальні електроди, розміщені ззовні і зсередини активного елемента 1. У випадку оптичної накачки джерела випромінювання також можуть розташовуватись зсередини і ззовні активного елемента 1. Під впливом енергії накачки речовина в активному елементі 1 приводиться в збуджений стан. Резонатор формує когерентне випромінювання, напрямок розповсюдження якого паралельний осі резонатора. При віддзеркаленні від дзеркал 2, 3, розташованих на одному торці активного елемента 1, випромінювання перекидається на протилежну сторону відносно поверхні дотику цих дзеркал. При віддзеркаленні від конічного кільцевого дзеркала 4, розташованого на іншому торці активного елемента 1, випромінювання перекидається у діаметрально протилежне місце кільцевого активного елемента 1. Завдяки такій геометрії резонатора випромінювання проходить крізь активну речовину 1 чотирма різними шляхами. Це дозволяє максимально знизити вплив неоднорідностей активної речовини на випромінювання. І найголовніше те, що з резонатора виводиться випромінювання, яке наближається як до зовнішньої, так і до внутрішньої поверхні активного елемента 1, що зменшує шкідливі втрати випромінювання в резонаторі.

Регулювання виведення випромінювання здійснюється зміщенням конічного вихідного дзеркала 5 вздовж осі резонатора. За допомогою механізму 6 переміщення, дзеркало 5 може плавно переміщуватись вздовж осі резонатора. Конічне вихідне дзеркало 5 розділяє об'єм активного елемента на дві зони - зону 7 генерації і зону 8 посилення (фіг. 3). У зоні 7 генерації випромінювання багаторазово відбивається від кільцевих дзеркал 2, 3, 4, а в зоні 8 посилення випромінювання здійснює не більше чотирьох проходжень крізь активну речовину 1 і, потрапивши на конічне дзеркало 5, виводиться з резонатора. Випромінювання попадає із зони 7 в зону 8 завдяки дифракції. Плавне переміщення конічного дзеркала 5 уздовж осі резонатора змінює співвідношення об'ємів зон 7 і 8, а отже, змінює частку випромінювання, що виводиться з резонатора. У одному крайньому положенні (фіг. 2) випромінювання з резонатора зовсім не

виводиться, а у другому крайньому положенні (фіг. 4) з резонатора виводиться все випромінювання. Оптимальний зв'язок досягається при певному середньому положенні (фіг. 3). Широкий діапазон регулювання дозволяє підібрати оптимальний зворотний зв'язок у лазерах зі змінним посиленням активної речовини. Застосовувати запропоновану схему можливо для лазерів будь-яких діапазонів та розмірів. Від співвідношення довжини хвилі та перерізу резонатора залежить дифракційний зв'язок між зоною 7 генерації та зоною 8 посилення. Тому для коригування дифракційного зв'язку у різних діапазонах застосовуються зіставні кільцеві конічні дзеркала 2, 3 з різними значеннями поправки  $\Delta$ . Ця невеличка поправка до кута  $90^\circ$  (її величина зазвичай знаходиться в межах  $1^\circ$ ) розраховується або експериментально підбирається в залежності від діапазону хвиль та розмірів резонатора. За рахунок цієї поправки досягається висока ефективність лазера в різних діапазонах хвиль.

Конічні дзеркала 2, 3, 4 не потребують ретельного юстирування і це робить резонатор стійким до теплових та механічних впливів.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора, який містить осесиметричні активний елемент, обмежений коаксіальними циліндричними поверхнями, та резонатор, утворений розташованими по торцях активного елемента дзеркалами, причому на одному торці розташовані два дзеркала, перше з яких виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового зрізаного конуса з кутом при вершині  $90^\circ$ , більший і менший діаметри якого відповідають зовнішньому і внутрішньому діаметрам активного елемента, і звернено внутрішньою поверхнею, яка віддзеркалює, до активного елемента, друге дзеркало, яке виконане у вигляді бічної поверхні прямого кругового конуса з кутом при вершині  $90^\circ$ , звернуто зовнішньою поверхнею, яка віддзеркалює, до внутрішньої поверхні першого дзеркала і забезпечено механізмом переміщення уздовж осі резонатора, який **відрізняється** тим, що на іншому торці розташовано складене дзеркало, що складається з великого і малого конічних кільцевих дзеркал, які виконані у вигляді бічних поверхонь зрізаних прямих кругових конусів з кутами при вершинах  $90^\circ \pm \Delta$ , де  $\Delta$  - поправка для коригування дифракційного розходження випромінювання, яка зазвичай не перевищує  $1^\circ$ , причому дзеркальні внутрішня поверхня великого дзеркала та зовнішня поверхня малого дзеркала звернуті до активного елемента, велике і мале дзеркала щільно з'єднані між собою, а більший діаметр великого дзеркала та менший діаметр малого дзеркала відповідають зовнішньому та внутрішньому діаметрам активного елемента.

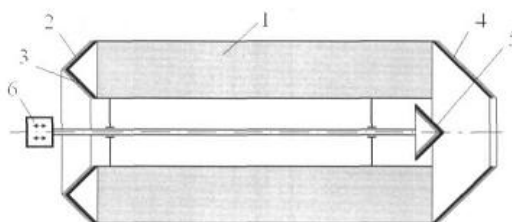


Fig. 1



Fig. 2

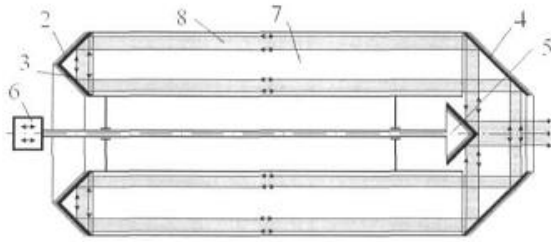


Fig. 3

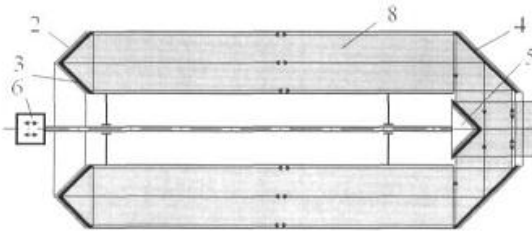


Fig. 4

---

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601