



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **105802** (13) **C2**  
(51) МПК  
**H01S 3/086** (2006.01)

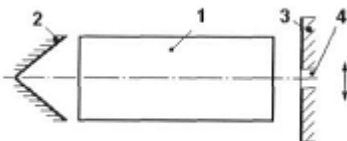
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	<b>а 2012 03080</b>	(72) Винахідник(и):	<b>Кісельов Володимир Костянтинович (UA), Радіонов Володимир Петрович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>16.03.2012</b>	(73) Власник(и):	<b>ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Ак. Проскури, 12, м. Харків, 61085 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>25.06.2014</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	<b>UA 91610 C2, 10.08.2010 US 4847858 A, 11.07.1989 JP S62252985 A1, 04.11.1987 JP H03185885 A, 13.08.1991 RU 2405233 C2, 27.11.2010 RU 2290728 C1, 27.12.2006 SU 1111657 A1, 30.12.1989 СВЕЙН Д.В., МИКС Л.П. Устройство для регулирования связи на выходе лазера, работающего в далекой ИК-области/ "Приборы для научных исследований", 1972, №6, с.86-87. SU 1829832 A1, 03.06.91</b>
(41) Публікація відомостей про заявку:	<b>25.09.2013, Бюл.№ 18</b>		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>25.06.2014, Бюл.№ 12</b>		

## (54) ЛАЗЕР З ПЛАВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИВЕДЕННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЗОНАТОРА

### (57) Реферат:

Винахід належить до лазера з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора. Лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора містить активний елемент і резонатор, утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох сторін від активного елемента, одне з яких є плоским або ввігнутим і має вивідний отвір, а друге дзеркало являє собою грановану поверхню з кутом між гранями 90°. Дзеркало з вивідним отвором споряджено механізмом зміщення у площині, перпендикулярній осі резонатора. Друге дзеркало є тригранним. Винахід дозволяє ліквідувати втрати потужності випромінювання в процесі регулювання виведення випромінювання з резонатора.



Фіг. 2

UA 105802 C2



Винахід належить до лазерної техніки і 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 занадто прозорому вивідному дзеркалі генерація в лазері може взагалі не виникати. При використанні дзеркала з недостатнім коефіцієнтом пропущення генерація виникає, але з резонатора виводиться невинновдано 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 використовуватися різні елементи, наприклад, частково прозорі плівки, решітки, дзеркала з отворами. Дзеркала з отворами є досить простим і надійним елементом і часто застосовуються в терагерцевому і інфрачервоному діапазонах.

Зазвичай вивідне дзеркало має постійні параметри, тому 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 підібрали 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 перерізу, 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 переміщатися поперек резонатора й змінювати кут щодо осі резонатора. У результаті вдається плавно регулювати випромінювання, виведене 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 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 твірної  $45^\circ$  і внутрішньою поверхнею, що відбиває [А.с. СССР № 1829832 от 4.01.92, Лазер; Коробов А.М., Радионов В.П., Каменев Ю.Е.]. 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 здійснює 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.

Перевагою 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 перерізу вивідного пучка випромінювання в процесі регулювання зв'язку, що ускладнює його узгодження з лініями передачі.

Відомий також лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора [А.с. СССР N1111657 от 1989; МКИ H01S 3/08, 3/22; Волноводный газовый лазер; Каменев Ю.Е., Киселев В.К., Кулешов Е.М., Литвинов Д.Д., Полупанов В.Н.]. Резонатор цього лазера утворено 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.

5 Перевагою такого лазера є можливість у процесі роботи плавно регулювати пропущення вивідного дзеркала без зміни перерізу вивідного пучка випромінювання.

Недоліком лазера з таким резонатором є складність юстирування дзеркал, а також 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 дротинки 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 дротинки не дозволяє використовувати такі решітки в потужних лазерах.

Найбільш близьким з відомих і вибраним як прототип запропонованого винаходу є лазер із плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора [Патент України № 91610 Лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора: МПК H01S 3/086 / Кісельов В.К., Радіонов В.П.]. Резонатор цього лазера утворено двома дзеркалами, розміщеними з обох сторін від активного елемента. Одне дзеркало є плоским або ввігнутим і має вивідний отвір. Друге дзеркало є двограним з кутом між гранями  $90^\circ$  і має механізм повороту дзеркала навколо осі резонатора. Вивідний отвір розділяє об'єм резонатора на дві зони - зону генерації з багаторазовим відбиттям випромінювання від дзеркал і зону виведення випромінювання з резонатора. Випромінювання з першої зони в другу попадає за рахунок дифракційного розходження, або також за рахунок слабкої ввігнутості дзеркала з отвором. Завдяки тому, що вивідний отвір зміщений щодо осі резонатора, при повороті двогранного дзеркала відбувається зміна співвідношення об'єму й меж цих двох зон, що призводить до зміни частки виведеного з резонатора випромінювання без зміни перетину вивідного пучка випромінювання.

Перевагою такого лазера є можливість у процесі роботи плавно регулювати частку виведеного з резонатора випромінювання без зміни перерізу вивідного пучка. Використання в резонаторі замість дротяної решітки дзеркала з отвором підвищує надійність лазера, розширює 30 діапазон довжин хвиль і потужностей випромінювань лазера, а також дозволяє одержувати випромінювання будь-яких поляризацій.

Недоліком лазера з таким резонатором є складності забезпечення юстирування дзеркал. Адже щоб юстировка резонатора не порушувалась під час повороту двогранного дзеркала, повинно щоб вісь повороту була строго перпендикулярна вершині цього дзеркала і була розташованою суворо під кутом  $45^\circ$  до його граней. Цю умову потрібно забезпечити ще на стадіях виготовлення дзеркала і з'єднання його з механізмом повороту. Технічно це доволі складно. Незначне недотримання цієї умови викликає порушення юстировки резонатора в процесі регулювання виведення випромінювання. Це знижує потужність генерації і ККД лазера та потребує додаткового юстування в процесі роботи, що досить проблематично.

40 В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити лазер шляхом зміни процесу регулювання виведення випромінювання з резонатора, що забезпечить збереження від'юстированості дзеркал при регулюванні, а отже зменшить втрати потужності випромінювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в лазері з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора, що містить активний елемент і резонатор, утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох сторін від активного елемента, одне з яких є плоским або ввігнутим і має вивідний отвір, а друге дзеркало являє собою грановану поверхню з кутом між гранями  $90^\circ$ , відповідно до винаходу, дзеркало з вивідним отвором споряджено механізмом зміщення у площині, перпендикулярній осі резонатора.

50 Завдяки переміщенню вивідного дзеркала у площині, перпендикулярній осі резонатора, здійснюється регулювання виведення випромінювання з резонатора. При цьому значно менше порушується юстирування резонатора, ніж при повороті дзеркала відносно осі резонатора. Отже зменшуються втрати випромінювання.

В іншій формі виконання, згідно з п. 2, грановане дзеркало є тригранним. При такій формі виконання резонатора грановане дзеркало майже не потребує юстирування що додатково 55 знижує залежність лазерного випромінювання від порушення юстирування дзеркал.

Суть винаходу пояснюється кресленнями.

На фіг. 1, 2 зображено схему лазера, на фіг. 3, 4, 5, 6 - етапи регулювання, на фіг. 7, 8 - схему лазера за п. 2, на фіг. 9, 10, 11, 12 - етапи регулювання.

Запропонований лазер (фіг. 1, 2, 3, 4) містить активний елемент 1, розміщений між дзеркалами 2 і 3, що утворюють резонатор. Грановане дзеркало 2 є або двограним (фіг. 1, 2) або в іншій формі виконання згідно з п. 2 - тригранним (фіг. 7, 8). Дзеркало 3 має плоску або ввігнуту поверхню, що відбиває, та отвір 4, через який з резонатора виводиться випромінювання. Дзеркало 3 споряджено механізмом зміщення у площині, перпендикулярній осі резонатора (на ілюстраціях механізм не показаний). При зміщенні дзеркала 3 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, напрямком поширення якого паралельний осі резонатора. Регулювання виведення випромінювання здійснюється зміщенням дзеркала 3 у площині, перпендикулярній осі резонатора.

З резонатора виводиться мінімальна частина випромінювання у випадках, коли центр отвору 4 проектується: на ребро дзеркала 2, якщо воно виконане двограним (фіг. 3, 4); або на центр дзеркала 2, якщо воно виконане тригранним (фіг. 9, 10). У цих випадках з резонатора виводиться тільки випромінювання, що обмежене отвором 4. 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. 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 змістити дзеркало 3 перпендикулярно осі резонатора, щоб центр отвору 4 змістився відносно ребра, або центра дзеркала 2 (фіг. 5, 6, 11, 12). Тоді в зону виведення потрапляє також деяка частина випромінювання, що знаходиться за межами отвору 4. Частка виведеного з резонатора випромінювання продовжуватиме зростати при подальшому зміщенні дзеркала 3, але до відстані, рівній приблизно половині діаметра отвору 4. При цьому положенні дзеркала 2 частка виведеного з резонатора випромінювання приблизно подвоюється відносно випадку, коли центр отвору 4 проектується на ребро двогранного або центр тригранного дзеркала 2. Це і складає діапазон регулювання. Такого діапазону регулювання цілком достатньо для корегування зв'язку при переході на різні режими роботи або різні моди з використанням тієї самої активної речовини, а також при переході на активні речовини з близькими коефіцієнтами підсилення. Зрозуміло, що діаметр отвору потрібно вибирати з тим розрахунком, щоб мінімальний зв'язок був заздалегідь дещо нижче оптимального. Переріз вивідного пучка випромінювання дорівнює перерізу отвору 4 і не змінюється на будь-якому етапі регулювання.

Здійснення регулювання виведення випромінювання шляхом переміщення вивідного дзеркала у площині, перпендикулярній осі резонатора, значно менше порушує юстирування дзеркал резонатора, ніж поворот двогранного дзеркала. Такий варіант регулювання дозволяє використати як грановане дзеркало тригранне дзеркало, яке майже не потребує юстирування. Все це дозволяє значно зменшити втрати випромінювання, що спричинені порушенням юстирування під час регулювання.

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

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Лазер з плавним регулюванням виведення випромінювання з резонатора, що містить активний елемент і резонатор, утворений двома дзеркалами, розміщеними з обох сторін від активного елемента, одне з яких є плоским або ввігнутим і має вивідний отвір, а друге дзеркало являє собою грановану поверхню з кутом між гранями  $90^\circ$ , який **відрізняється** тим, що дзеркало з вивідним отвором споряджено механізмом зміщення у площині, перпендикулярній осі резонатора.

2. Лазер за п. 1, який **відрізняється** тим, що друге дзеркало є тригранним.

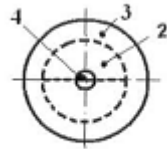


Fig. 1

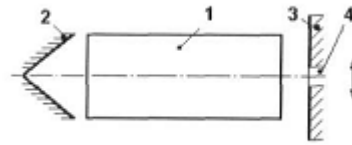


Fig. 2

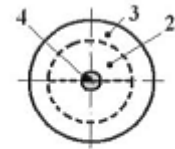


Fig. 3

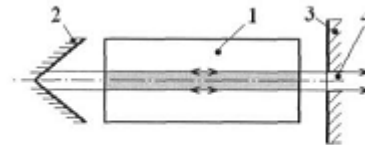


Fig. 4

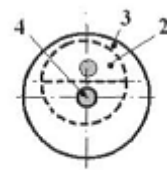


Fig. 5

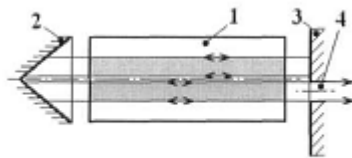


Fig. 6

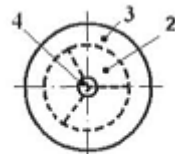


Fig. 7

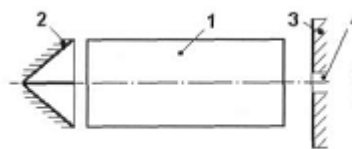


Fig. 8

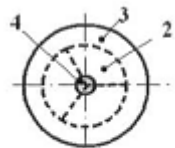


Fig. 9

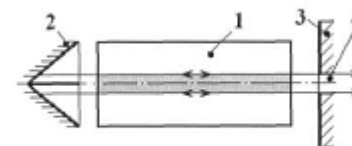


Fig. 10

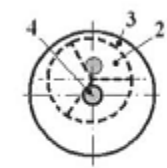


Fig. 11

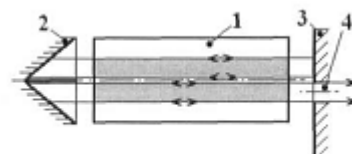


Fig. 12

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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

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