



УКРАЇНА

(19) UA (11) 86298 (13) C2

(51) МПК (2009)

H01S 3/00

H01S 3/03

H01S 3/038

H01S 3/08

H01S 3/097

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ГАЗОРОЗРЯДНИЙ СУБМІЛІМЕТРОВИЙ ЛАЗЕР

1

(21) a200709205

(22) 13.08.2007

(24) 10.04.2009

(46) 10.04.2009, Бюл.№ 7, 2009 р.

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

(56) UA 55720, 15.04.2003

UA 60384, 15.10.2003

SU 1725778, 07.04.1992

SU 1111657, 30.12.1989

US 4949353, 14.08.1990

JP 58201385, 24.11.1983

JP 59036984, 29.02.1984

JP 62098785, 08.05.1987

JP 60254682, 16.12.1985

JP2000392, 05.01.1990

Кубарев В.В., Куренский Е.А. Сверхмалошумящий  
мощный DCN-лазер с высокочастотной накачкой //   
Квантовая электроника. - 1996,23. - № 4. - С.311-  
314

2

Субмиллиметровый HCN лазер для биомедицинских исследований. Н.Ф.Дахов, Ю.Е.Каменев, В.К.Киселев, Е.М.Кулешов, В.П.Радионон. Радиофизика и электроника. - Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины. - 1997. - Том 2. - № 2. - С. 150-153

(57) Газоразрядный субмиллиметровый лазер, что содержит джерело струму накачування, резонатор і розрядну трубку із встановленими зовні, поблизу її торців, двома циліндричними електродами, кожний з яких має герметичні ущільнення по торцях і порожнину між його внутрішньою поверхнею й зовнішньою поверхнею розрядної трубки, причому ці порожнини з'єднані з внутрішньою порожниною розрядної трубки за допомогою отворів у розрядній трубці, який відрізняється тим, що отвори в розрядній трубці розташовані поблизу її торців, один з електродів на частині внутрішньої поверхні має діелектричне покриття з боку торця, найближчого до отворів у розрядній трубці, і патрубок напуску вихідних речовин з боку протилежного його торця, крім того, поблизу торця розрядної трубки з боку другого електрода є патрубок для відкачки відпрацьованих речовин.

Запропонований винахід належить до лазерної техніки й може знайти застосування для створення газорозрядних субмиліметрових (терагерцевих) лазерів з підвищеними ККД і потужністю.

Субмиліметрові (або, як їх ще називають терагерцеві) газорозрядні лазери застосовуються в різних фізичних й біомедичних дослідженнях. При цьому підвищення потужності лазерного випромінювання і ККД лазерів залишається актуальним завданням при їхньому використанні. Важливими вимогами є також підвищення надійності лазера й зниження його габаритів.

Терагерцеві газорозрядні HCN і DCN лазери працюють з прокачуванням активної речовини

через резонатор. Це необхідно для синтезу активної речовини й видалення відпрацьованих речовин з резонатора. Прокачування звичайно здійснюється уздовж осі резонатора. Напуск вихідних речовин здійснюється з боку одного з торців розрядної трубки, а відкачка відпрацьованих речовин - з боку протилежного її торця. Звичайно для цього передбачаються патрубки в юстировочних вузлах дзеркал резонатора. Частки активної речовини просуваються уздовж резонатора зі швидкістю порядку метра в секунду. Молекула активної речовини HCN і DCN лазера синтезується безпосередньо в газовому розряді з вихідних речовин - азоту й вуглеводневих сполук. На розігрів робочої суміші й

(13) C2

(11) 86298

(19) UA

синтез молекули витрачається певний час, біля 100мс, протягом якого суміш вихідних речовин встигає просунутись уздовж резонатора на деяку відстань. Таким чином, на цій ділянці резонатора фактично відсутня активна речовина, хоча є й газовий розряд, і робоча суміш. Наявність такої пасивної ділянки приводить до зниження потужності й ККД лазера. Для вирішення зазначеної проблеми доцільно вивести пасивну ділянку синтезу активної речовини за межі резонатора. При цьому бажано не знижувати надійність лазера і не збільшувати його габарити.

Найбільш повно вимогам надійності відповідають лазери з зовнішніми електродами, у яких збудження газового розряду здійснюється крізь стінки розрядної трубки струмом високої частоти. Відомо про субміліметровий DCN-лазер з високочастотним накачуванням [Кубарев В.В., Куренский Е.А. Сверхмалошумящий мощный DCN-лазер с высокочастотной накачкой // Квантовая электроника, 1996, 23, №4. - С.311-314], у якому застосовані зовнішні циліндричні електроди збудження, встановлені зовні розрядної трубки. У цьому лазері розрядна трубка виконана суцільною без патрубків і отворів. Накачування лазера здійснюється струмом високої частоти крізь стінки розрядної трубки.

Перевагою вищевказаного лазера є підвищена надійність.

Недоліком такого лазера є те, що в резонаторі присутня згадана пасивна ділянка синтезу активної речовини й, отже, не досягається максимальне заповнення резонатора активною речовиною, що приводить до втрати потужності випромінювання й ККД лазера. Накачування такого лазера можна здійснювати тільки струмом високої частоти. При цьому виникають радіоперешкоди, які ускладнюють фізичні дослідження, і які не припустимі в біомедичних дослідженнях.

Відомо про лазер [Субмиллиметровый HCN лазер для биомедицинских исследований. Н.Ф.Дахов, Ю.Е.Каменев, В.К.Киселев, Е.М.Кулешов, В.П.Радионон. Радиофизика и электроника, - Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины, 1997, том 2, №2 С. 150-153], у якому використані циліндричні електроди збудження, герметично встановлені на скляних патрубках, що впаяні в розрядну трубку. Внутрішня порожнина електродів контактує з активним середовищем і служить для збудження газового розряду, а зовнішня поверхня виконує функції радіаторів. Накачування лазера такої конструкції можна здійснювати струмом широкого діапазону частот - від постійного струму до високочастотного.

Перевагою такого лазера є можливість використання для накачування джерел струму різної частоти, у тому числі таких, що не створюють радіоперешкод, це дозволяє використати лазер у біомедичних дослідженнях.

Недоліком є низькі ККД і надійність лазера тому, що патрубків вносять додаткові втрати в резонатор і знижують надійність розрядної трубки, оскільки місця спайки патрубків піддаються утворенню тріщин. Енергія накачування неекономно витрачається на збудження газового розряду в патрубках, а наявність патрубків істотно збільшує

габарити лазера. У резонаторі лазера присутня згадана пасивна ділянка синтезу активної речовини, оскільки вихідні речовини подаються через юстировочний вузол дзеркала безпосередньо в резонатор і це також значно знижує ККД лазера. Однак, один з патрубків розрядної трубки можна використати для синтезу активної речовини, якщо подавати вихідні речовини через електрод, закріплений на ньому. Тоді пасивна ділянка переміститься в цей патрубок і в порожнину електрода [В.К.Киселев, В.П.Радионон. Терагерцовый медицинский HCN-лазер с дополнительной разрядной секцией. // XXV Международная научно практическая конференция Применение лазеров в медицине и биологии 24-28 мая 2006г. г.Луцк стр. 107-108]. Це дозволяє підвищити ККД такого лазера, але при цьому значно знижує надійність його роботи, оскільки трубопровід, встановлений на електроді, значно підвищує його вагу й збільшує ймовірність утворення тріщин у місцях пайки розрядної трубки, знижуючи її надійність.

Прототипом запропонованого винаходу є субміліметровий газорозрядний HCN лазер [Декларативный патент №55720А, Україна, МПК H01S3/097. Газорозрядный субмиллиметровый лазер / М.Ф. Дахов, В.К. Кисельов, Е.М. Кулешов, В.П. Радионов (Україна). - №2002054235. Заявлено 23.05.2002. Опубл. 15.04.2003., Бюл.№10], у якому використані циліндричні електроди збудження, герметично встановлені зовні розрядної трубки. Внутрішня порожнина електродів служить для збудження газового розряду, що проникає в розрядну трубку через отвори в її стінках, а зовнішня поверхня виконує функції радіаторів. Накачування лазера такої конструкції можна здійснювати струмом широкого діапазону частот - від постійного струму до високочастотного.

Перевагою такого лазера є надійність і можливість використання для накачування джерел струму різної частоти, у тому числі і таких, що не створюють радіоперешкод, це дозволяє використати лазер у біомедичних дослідженнях.

Недоліком такого лазера є те, що, у випадку використання активної речовини HCN і DCN у резонаторі виникає згадана пасивна ділянка синтезу активної речовини, оскільки напуск вихідних речовин у цьому випадку можливий тільки з торця розрядної трубки через юстировочний вузол дзеркала. При цьому не забезпечується максимальне заповнення резонатора активною речовиною, що не дозволяє досягти максимальної потужності й ККД.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити газорозрядний субміліметровий лазер шляхом збільшення об'єму, займаного активною речовиною в резонаторі, це дозволяє збільшити ККД і потужність лазера.

Поставлена задача вирішується в такий спосіб. У газорозрядному субміліметровому лазері, що містить джерело струму накачування, резонатор, і розрядну трубку зі встановленими зовні, поблизу її торців, двома циліндричними електродами, кожний з яких має герметичні ущільнення по торцях і порожнину між його внутрішньою поверхнею й зовнішньою поверхнею розрядної трубки,

причому ці порожнини з'єднані із внутрішньою порожниною розрядної трубки за допомогою отворів у розрядній трубці, отвори в розрядній трубці розташовані поблизу її торців, один з електродів на частині внутрішньої поверхні має діелектричне покриття біля торця, ближнього до отворів у розрядній трубці, і патрубок напуску вихідних речовин - біля протилежного торця, крім того, поблизу торця розрядної трубки з боку другого електрода є патрубок для відкачки відпрацьованих речовин.

Завдяки тому, що вихідні речовини подаються через патрубок у порожнину між електродами і розрядною трубою, синтез активної речовини відбувається в цій порожнині й у резонатор попадає вже синтезована активна речовина, що відразу бере участь у генерації. В результаті збільшується заповнення резонатора активною речовиною, що приводить до збільшення потужності й ККД лазера. Максимальний зсув отворів у розрядній трубці до її торців ще більше сприяє заповненню резонатора активною речовиною. Наявність діелектричного покриття на внутрішній поверхні електрода в області отворів у розрядній трубці дозволяє рівномірно розподілити газовий розряд у порожнині електрода й збільшити об'єм, у якому здійснюється синтез активної речовини. Максимально збільшити ККД і потужність лазера можна шляхом оптимізації геометричних розмірів електродної порожнини й діелектричного покриття, залежно від швидкості прокачування активної речовини через резонатор. Відкачка з резонатора відпрацьованих речовин здійснюється через патрубок, розташований поблизу протилежного від сторони напуску торця розрядної трубки. Цей патрубок може бути розташований на розрядній трубці або на другому електроді. Але доцільніше розмістити його (як і в більшості аналогічних лазерів) на юстировочному вузлі дзеркала, оскільки при цьому максимально подовжується шлях активної речовини в резонаторі.

Сутність винаходу пояснюється ілюстрацією, на якій зображено схему запропонованого лазера.

Запропонований лазер містить джерело струму накачування 1 і резонатор 2, утворений двома дзеркалами 3, 4, закріпленими в юстировочних вузлах 5, 6, на торцях розрядної трубки 7. Зовні розрядної трубки, поблизу її торців, встановлені два циліндричні електроди 8, 9. кожен з електродів має герметичні ущільнення 10 по торцях і порожнину 11 між його внутрішньою поверхнею й зовнішньою поверхнею розрядної трубки, причому

ці порожнини з'єднані з внутрішньою порожниною розрядної трубки за допомогою отворів 12 у розрядній трубці. Отвори в розрядній трубці розташовані якнайближче до її торців. Один з електродів 8 на частині внутрішньої поверхні має діелектричне покриття 13 з боку свого торця, ближнього до отворів у розрядній трубці й патрубок 14 напуску вихідних речовин з боку протилежного торця. Патрубок для відкачки відпрацьованих речовин 15 розташований поблизу торця розрядної трубки, з боку другого електрода 9, найбільш доцільне розташування цього патрубка в котирувочному вузлі 6 дзеркала 4.

Лазер працює в такий спосіб. На електроди 8, 9 подається напруга від джерела накачування 1. Під дією цієї напруги, у порожнинах 11 електродів 8, 9 і в розрядній трубці 7 виникає газовий розряд. Завдяки тому, що отвори 12 розташовані поблизу торців розрядної трубки 7, газовий розряд заповнює максимальний простір у резонаторі 2. Вихідні речовини надходять через патрубок 14 у порожнину електрода 8, де в газовому розряді відбувається синтез активної речовини. Завдяки наявності діелектричного покриття 13 на частині внутрішньої поверхні електрода 8, газовий розряд рівномірно заповнює всю порожнину цього електрода до самого патрубка 14 і це сприяє ефективному синтезу активної речовини. Потім, синтезована активна речовина в збудженому стані попадає в резонатор 2 через отвори в розрядній трубці під електродами 8 і відразу «бере участь» у генерації лазерного випромінювання. Відкачка відпрацьованих речовин проводиться через патрубок 15. Завдяки, тому, що синтез активної речовини здійснюється не в резонаторі, а в порожнині електрода 8, вдається максимально заповнити резонатор активною речовиною, і це приводить до збільшення потужності й ККД лазера.

Експерименти показали, що при виведенні зони синтезу активної речовини за межі резонатора потужність лазера істотно збільшується. При звичайній для таких лазерів швидкості прокачування, що відповідає витраті робочих речовин  $4\text{см}^3/\text{хв}$  збільшення потужності склало 10%. Причому, слід особливо зазначити, що це збільшення потужності відбувається за рахунок збільшення ККД лазера, оскільки споживана потужність не змінилася. Це дає підставу припускати, що при більш високих швидкостях прокачування активної речовини через резонатор збільшення потужності й ККД буде ще вище.

