

Винахід, що пропонується, відноситься до лазерної техніки і може знайти застосування для створення газорозрядних лазерів із підвищеним ККД і надійністю, придатних для використання в медичних дослідженнях.

Останнім часом субміліметрові газорозрядні лазери знаходять застосування в медичних дослідженнях. При цьому до них пред'являються підвищені вимоги щодо надійності, ККД і екологічної безпеки. Найбільш повно вимогам надійності і ККД відповідають лазери із зовнішніми електродами, у яких збудження газового розряду здійснюється крізь стінки розрядної трубки. Для збудження розряду в цих лазерах застосовуються струми високої частоти, які створюють при цьому потужні паразитні електромагнітні поля в навколишньому просторі, що неприпустимо в біомедичних дослідженнях. Отже, для широкого застосування субміліметрових лазерів у біомедичних дослідженнях і інших екологічно чистих застосуваннях необхідно створення лазера, що включає в себе переваги накачування зовнішніми електродами і вільного від недоліків високочастотного накачування. Для збудження такого лазера доцільно використовувати струм низької частоти. Проте відомо, що при використанні струму низької частоти різко зростають втрати в діелектриках. У лазерах із зовнішніми електродами це викликає сильний перегрів розрядної трубки під електродами і призводить до електричного пробивання розрядної трубки. Тому необхідно вирішити проблему пробивання розрядної трубки в субміліметрових лазерах із зовнішніми електродами при використанні накачування струмом низької частоти.

У відомому субміліметровому DCN-лазері з високочастотним накачуванням (Кубарев В.В., Куренский Е.А. Сверхмалощумящий мощный DCN-лазер с высокочастотной накачкой // Квантовая электроника, 1996, 23, №4. — С.311-314.) застосовані зовнішні циліндричні електроди збудження, розташовані зовні розрядної трубки, які дозволяють виконати розрядну трубку суцільною без отворів та патрубків і використовувати її як хвилевод. Накачування лазера здійснюється струмом високої частоти крізь стінку розрядної трубки.

Перевагою такого лазера є підвищені надійність, потужність і ККД, тому що втрати в резонаторі хвилеводного типу малі, а надійність - підвищена. Зовнішні електроди не схильні до корозії в активному середовищі лазера і це підвищує його довговічність.

Недоліком цього лазера є: потужні високочастотні поля, які виникають при роботі лазера з високочастотним накачуванням, що викликають радіоперешкоди і створюють екологічну небезпеку для навколишнього середовища й персоналу. При використанні лазерів у медичних дослідженнях високочастотні поля вкрай небажані, тому що можуть маскувати ефект від впливу лазерного випромінювання. Крім того, для накачування таких лазерів використовується дорогий потужний ламповий генератор, що має великі габарити і невисокий ККД, виникають проблеми узгодження лазера з генератором на різноманітних режимах роботи.

У відомому субміліметровому HCN лазері для біомедичних досліджень (Субмиллиметровый HCN лазер для биомедицинских исследований. Дахов Н.Ф., Каменев Ю.Е., Киселев В.К., Кулешов Е.М., Радионов В.П. // Радиофизика и электроника. — Харьков: Ин-т радиопроизводства и электроники НАН Украины, 1997, том 2, №2. — С.150-153) використані внутрішні циліндричні електроди збудження, герметично встановлені на скляних патрубках, які впаяні у розрядну трубку. Внутрішня порожнина електрода контактує з активним середовищем і служить для збудження газового розряду, а зовнішня поверхня виконує роль радіаторів. Накачування такого лазера здійснюється перемінним струмом частотою 50 Гц. Накачування лазера такої конструкції можливо здійснювати током широкого діапазону частот - від постійного до високочастотного.

Перевагою такого лазера є можливість використання для накачування струмів різноманітних частот в тому числі і тих, що не створюють радіоперешкод, це дозволяє використовувати лазер у медичних дослідженнях.

Недоліком є малі ККД і надійність лазера в порівнянні з лазерами, що мають зовнішні електроди, тому що патрубки вносять додаткові втрати в резонатор і знижують надійність розрядної трубки. Електроди такого лазера схильні до корозії у газовому розряді.

Найближчим по технічній сутності аналогом (прототипом) є промисловий технологічний CO₂ лазер МТЛ-2 (Технологические лазеры. Справочник. Т.1 под ред. Г.А. Абилюсипова. — Москва; Машиностроение, 1991. — С.124) з накачуванням током низької частоти. Для накачування такого лазера застосовані зовнішні циліндричні електроди збудження, виконані методом напильовання на зовнішній поверхні циліндричних розрядних трубок, зібраних у пучок. Розрядні трубки поміщені в діелектричну охолоджуючу рідину. Накачування лазера здійснюється током низької частоти крізь стінки розрядних трубок. У цьому лазері вдалося знизити щільність току на електродах, збільшивши їхню площу без істотного збільшення довжини, так як площа поверхні трубок малого перетину більше площі однієї трубки великого перетину при однаковому обсязі активної речовини. Завдяки зниженню щільності току на електродах і рідинному охолодженню вдалося уникнути пробоя розрядних трубок.

Перевагою цього лазера є те, що електроди розміщені зовні розрядних трубок, а розрядні трубки виконані суцільними без розривів і отворів у стінках. Завдяки цьому знижуються втрати в резонаторі і підвищується ККД і надійність лазера. Для накачування лазера використаний струм низької частоти, що дозволило усунути паразитні зовнішні електромагнітні поля.

Недоліком такого лазера є нерівномірність щільності струму по довжині електродів. Оскільки щільність струму вище на ділянках електрода ближніх до протилежного електрода, то це призводить до зменшення довжини розряду, викликає неоднорідність активного елемента і знижує ККД лазера. Крім того, враховуючи, що в субміліметровому діапазоні різко зростають втрати випромінювання в трубках малого діаметра, це викликає застосування такої конструкції у лазерах субміліметрового діапазону.

Задачею цього винаходу є використання накачування током низької частоти крізь стінки розрядної трубки в лазерах субміліметрового діапазону, а також підвищення надійності і ККД газорозрядного лазера шляхом збільшення довжини й однорідності активного елемента (газового розряду) за рахунок укорочення електродів і вирівнювання щільності току по їхній довжині.

Поставлена задача вирішується в таким чином: у газорозрядному лазері, що містить резонатор, циліндричні електроди збудження встановлені зовні діелектричної розрядної трубки резонатора і джерело струму накачування низької частоти; циліндричні електроди збудження встановлені щодо розрядної трубки із зазором, заповненим електролітом і мають розширювальні бачки-радіатори, що з'єднані із зазором електродів.

Завдяки тому, що між стінками розрядної трубки й електродом є порожнина, заповнена електролітом, вдається виключити пробивання розрядної трубки при використанні для накачування перемінного струму низької частоти. Крім того, процеси пароутворення в електроліті дозволяють вирівняти щільність току по довжині електродів, що збільшує довжину й однорідність активного елемента (газового розряду). Отже, вдається підвищити ККД і надійність лазера, не застосовуючи при цьому струм високої частоти, який створює потужні поля, протипоказані для медичних застосувань.

Сутність винаходу пояснюється кресленням, на якому зображена схема запропонованого лазера.

Запропонований лазер містить розрядну трубку 1 з активною речовиною 2 і дзеркала 3, 4 утворюючі резонатор. Електроди збудження 5, 6 розташовані зовні розрядної трубки 1 із зазором між електродами і розрядною трубкою. Простір між електродами і розрядною трубкою загерметизовано і заповнено рідким електролітом 7. До електродів 5, 6 приєднані розширювальні бачки-радіатори 8, 9, у яких відбувається конденсація й охолодження електроліту. До електрода підключено генератор накачування 10 низької частоти.

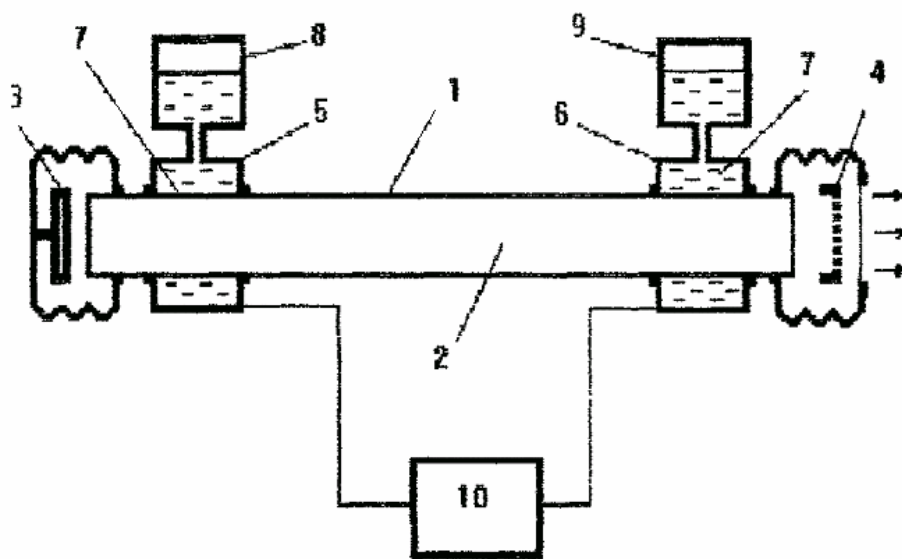
Лазер працює таким чином. Генератор накачування 10 створює на електродах 5, 6 перемінну напругу низької (ультразвукової) частоти. При цьому між електродами 5, 6 крізь шар електроліту 1, стінки електричної розрядної трубки 1 і активну речовину 2 протікає струм, завдяки якому активна речовина 2 переходить у збуджений стан. При відповідному настроюванні дзеркал 3, 4 у резонаторі виникає лазерне випромінювання, яке виводиться з резонатора через одне з дзеркал, виконане напівпрозорим.

Розрядна трубка проохолоджується безпосередньо охолоджуючою рідиною (електролітом, що виконує функції електрода), а не через електрод, як у прототипі. Це запобігає її електричній пробіт завдяки більш інтенсивному охолодженню, а також завдяки зниженню можливості пробою на неоднорідностях тому що тепловому виду електричного пробою попереднює локальний перегрів розрядної трубки в місцях її неоднорідностей, а це викликає інтенсивне паротворення електроліту в цих місцях і автоматично знижує щільність току в них. Отже, вдається зменшити довжину електродів без збільшення можливості пробою розрядної трубки. Це призводить до збільшення довжини розряду в резонаторі і збільшує ККД лазера.

У процесі роботи лазера відбувається вирівнювання щільності струму по всій площі електродів. Це відбувається завдяки тому, що на поверхні розрядної трубки в зоні електрода при її розігріві утворюються бульбашки пару й інтенсивність утворення цих бульбашок більша в тих місцях, де трубка більш розігріта (тобто в місцях найбільшої щільності струму, на ділянках електрода розташованих ближче до протилежного електрода). Електрод у містах утворення бульбашок пару зменшує свою ефективну площу, електропровідність електроліту зменшується і це автоматично знижує щільність струму на цих ділянках. Отже, відбувається автоматичне вирівнювання щільності струму по всій поверхні електрода, а, також, і рівномірне збудження газового розряду в резонаторі.

Таким чином, вдається уникнути електричного пробою розрядної трубки й одержати рівномірно збуджену активну речовину на більшому просторі в резонаторі, що дозволяє підвищити ККД лазера. Застосування однієї розрядної трубки, а не декількох, як у прототипі, дозволяє знизити втрати випромінювання в резонаторі лазера.

Запропоновану систему накачування було випробувано на субміліметровому HCN лазері. Накачування здійснювалося перемінним струмом частотою 20-60 КГц. Електричного пробою розрядної трубки не спостерігалось. Отримані параметри потужності лазерного випромінювання аналогічні параметрам лазерів із високочастотним накачуванням при одночасній відсутності паразитних електромагнітних випромінювань. Накачування током низької частоти з використанням запропонованих електродів можливо застосовувати й в інших газорозрядних лазерах, а також в пристроях аналогічного типу.



Фіг.