



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО
ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

(19) SU⁽¹¹⁾ 1 349 645⁽¹³⁾ A1
(51) МПК⁶ H 01 S 3/081

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ СССР

(21), (22) Заявка: 3898767/25, 22.05.1985

(46) Опубликовано: 27.10.1996

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. Наука, Н., 1979, с. 199-200. Авторское свидетельство СССР N 1240310, кл. H 01 S 3/22, 1984.

(71) Заявитель(и):

Белорусский политехнический институт

(72) Автор(ы):

Смирнов В.С.,
Мальцев А.Г.,
Гинтофт Р.И.

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ГАЗОВЫЙ ЛАЗЕР

(57) Реферат:

Изобретение относится к области квантовой электроники, в частности к лазерной технике, и может быть использовано для получения высоких мощностей излучения во всех диапазонах лазерного излучения, на любых газах: He-Ne, He-Kd, CO, CO₂ и т.д., которые имеют применение в спектроскопии, голографии и технологии. Целью изобретения является увеличение КПД и повышение - выходной мощности излучения газовых лазеров. Сущность изобретения заключается в перекачке энергии встречной волны в основную волну. Этот процесс осуществляется путем регулирования частоты излучения возвратным зеркалом 8, смонтированным на пьезокерамике, имеющим нулевой фазовый сдвиг. Процесс перекачки встречной волны в основную осуществляется благодаря небольшой расстройке по частоте излучения и происходит на возбужденных атомах, ранее не участвовавших в

процессе генерации основной волны. Резонатор выполнен кольцевым пятизеркальным. Два зеркала наклонены к оптической оси в разные стороны под углом $\alpha \cong 10^{-5}$ рад и одно из них имеет два

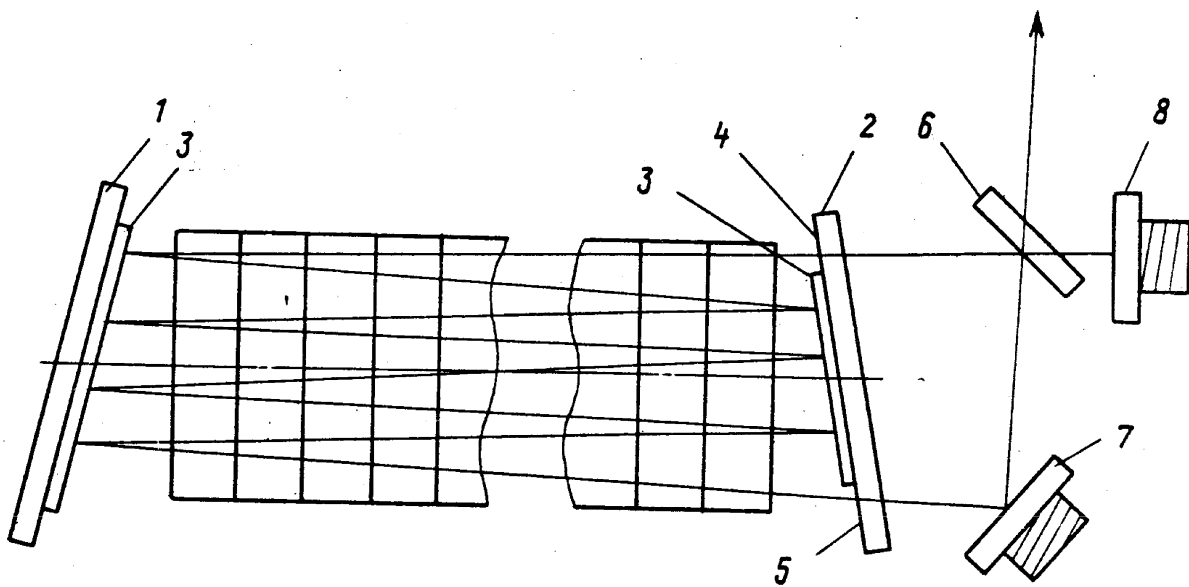
диаметрально противоположных окна в виде ненапыленных участков. Напротив каждого из окон размещены два зеркала под углом $\beta \cong 45^\circ$:

вспомогательное 7, установленное на пьезокерамике, и полупрозрачное зеркало 6 обратной связи. Дополнительно установлено пятое возвратное зеркало 8 перпендикулярно оптической оси обратного луча. Профиль разрядной трубки выполнен щелеобразным. Процесс перекачки энергии встречной волны в основное излучение дает возможность высвечиваться всей инверсной среде в полезное излучение, что ведет к многократному повышению КПД лазера. 2 с. п. ф-лы, 1 ил.

SU 1 349 645 A1

SU 1 349 645 A1

S U 1 3 4 9 6 4 5 A 1



S U 1 3 4 9 6 4 5 A 1



STATE COMMITTEE
FOR INVENTIONS AND DISCOVERIES

(19) **SU** (11) **1 349 645** (13) **A1**
(51) Int. Cl.⁶ **H 01 S 3/081**

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 3898767/25, 22.05.1985

(46) Date of publication: 27.10.1996

(71) Applicant(s):
Belorusskij politekhnicheskij institut

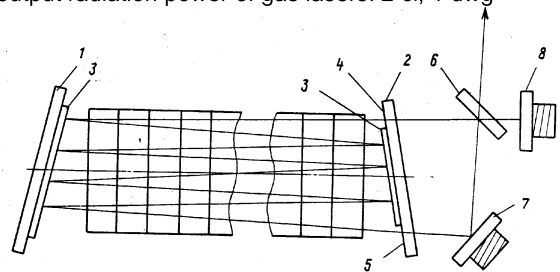
(72) Inventor(s):
Smirnov V.S.,
Mal'tsev A.G.,
Gintoft R.I.

(54) **GAS LASER AND COHERENT RADIATION GENERATION PROCESS**

(57) Abstract:

FIELD: quantum electronics; laser engineering; generation of high radiation power in all radiation ranges of laser using any gases, such as He-Ne, He-Kd, CO, CO₂, and the like found application in spectrometry, holography, and technology. SUBSTANCE: head wave energy is pumped into fundamental wave. This process involves radiation frequency control by return mirror 8 mounted on piezoceramic and having zero shift. This process occurs due to certain radiation frequency detuning on excited atoms that did not take part in fundamental wave generation earlier. Ring cavity has five mirrors. Two mirrors are inclined to optical axis in different directions at angle $\alpha \approx 10^{-5}$ rad and one of them has two diametrically opposite windows in the form of nonevaporated sections. Two other mirrors, auxiliary piezoceramic-mounted one 7 and

semi-transparent feedback mirror 6, are placed opposite each window at angle $\beta \approx 45^\circ$. Fifth return, mirror 8 is installed, in addition, perpendicular to optical axis of return beam. Discharge tube profile is slotted. Pumping return wave energy to fundamental wave enables entire inverse medium to scintillate into useful radiation resulting in considerable increase in laser efficiency. EFFECT: improved efficiency and output radiation power of gas lasers. 2 cl, 1 dwg



S U 1 3 4 9 6 4 5 A 1

S U 1 3 4 9 6 4 5 A 1

Изобретение относится к области квантовой электроники и может быть использовано для создания электроразрядных газовых лазеров.

Целью изобретения является повышение мощности и КПД лазера.

На чертеже показана схема устройства для осуществления способа.

5 Устройство содержит плоские глухие зеркала 1 и 2 с напыленными участками 3 и с двумя диаметрально противоположными окнами 4 и 5 в зеркале 2 в виде напыленных участков, зеркала 1, 2 наклонены к оптической оси под углом $\alpha \cong 10^{-5}$ рад. Против окна 4
установлено полупрозрачное зеркало 6. Вспомогательное зеркало 7 расположено за окном
10 5 под углом $\beta \cong 45^\circ$. За полупрозрачным зеркалом размещено возвратное зеркало 8. При этом зеркала 7 и 8 смонтированы на пьезокерамике с возможностью перемещения в
направлении, перпендикулярном отражающим поверхностям, в пределах волны излучения.

Устройство работает следующим образом.

15 При включении разряда в щелеобразном рабочем объеме создается инверсная населенность уровней рабочего газа, возникает излучение в виде бегущей волны, которое многократно проходит в инверсной среде по зигзагообразному пути благодаря наклону плоских глухих зеркал 1 и 2 в разные стороны от оптической оси под углом приблизительно 10^{-5} рад.

20 Пройдя зигзагообразный путь в инверсной среде, излучение выходит из окна 5 и, отразившись от зеркала 7, попадает на зеркало 6. Часть излучения проходит через это зеркало, а часть возвращается в инверсную среду и проходит тот же зигзагообразный путь, давая свой вклад в выходную мощность излучения. При подаче напряжения на пьезокерамику, на которой смонтировано зеркало 8, происходит изменение расстояния, которое проходит в резонаторе обратное излучение. Изменение расстояния между
25 зеркалами, в том числе за счет перемещения зеркала, дает расстройку по частоте от основного излучения. Это означает, что возвращенное излучение, отраженное от зеркала 8 с нулевой фазой, усиливается от других возбужденных атомов, которые еще не отдавали свою энергию в излучение. Теперь в квантовой системе работает много больше
30 возбужденных атомов, что приводит к резкому повышению коэффициента усиления, а соответственно и КПД газового лазера.

Таким образом проходит перекачка энергии излучения обратной волны со своим коэффициентом усиления в прямую волну, что также ведет к росту коэффициента усиления основной волны и выходной энергии излучения.

35 Выбор нулевого сдвига фазы возвратного зеркала позволяет эффективно подавить обратную волну, при этом прямая волна начинает усиливаться как за счет своего коэффициента усиления, так и за счет коэффициента усиления обращенной обработкой волны, что следует из приводимой формулы

$$- \frac{4\pi\omega}{c} \int_0^L x''(z) dz = \ln 1/R, \quad (1)$$

40 где ω частота излучения;

L длина пути, пройденная волной излучения в резонаторе;

x'' мнимая часть диэлектрической восприимчивости встречной волны;

R коэффициент отражения зеркала обратной связи.

45 Выражение (1) получено следующим образом. Запишем систему уравнений для медленных амплитуд с учетом поляризации для однородной модели

$$\left\{ \frac{d}{dt} \pm c \frac{d}{dz} + i(\omega - \bar{\omega}) \right\} E_{\pm} = 2\pi i \omega x_{\pm} E_{\pm}, \quad (2)$$

50 где x_{\pm} комплексные диэлектрические восприимчивости прямой и встречной волн, напряженности поля прямой и обратной волн, вычисленные в приближении

$$\omega = kc, \quad k = \frac{n\pi}{L}.$$

Из этой системы уравнений следует уравнение для энергии встречной волны в стационарном состоянии

$$\frac{dG_-(z)}{dz} = + \frac{4\pi\omega}{c} x''_- G_-(z), \quad (3)$$

где G энергия подавляемой волны.

Основной особенностью эффекта перекачки энергии встречной волны в основную является то обстоятельство, что уравнение (3) вместе с граничным циклическим условием для G⁻

$$G_-(L) = RG_-(0) \quad (4)$$

в условиях подавления волны G₋(L) после логарифмирования и интегрирования уравнения (3) дает выражение (1). Физически это означает, что компенсации потерь происходит за счет насыщенного коэффициента усиления подавляемой волны G₋(L). При коэффициенте подавления встречной волны в приближении $\frac{G_-(\omega)}{G(\omega)} \ll 1$, энергия

встречной волны G₋ подавлена достаточно сильно, восприимчивости x₊ для прямой и обратной волн, входящие в уравнение (1), можно найти точно при (q → 0). Из-за громоздкости получаемых выражений от точных выражений переходим к приближенным, используя приближение, типичное для газовых лазеров: γ₀/γ ≪ 1, где γ₀ ширина рабочего уровня, γ однородная ширина линии люминесценции.

В пределе q → 0, γ/γ₀ → 0 мнимая часть диэлектрической волны x' в формуле (1) имеет выражение

$$x''_- = x''_+ \left\{ 1 + \frac{4\delta^2 (\sqrt{1+G_+} - 1)}{(\sqrt{1+G_+} + 1)^2 + 4\delta^2} \right\}, \quad (5)$$

где $x''_+ = - \frac{\Omega_0^2 \sqrt{\pi}}{4\pi\omega\bar{\Omega}} \frac{\exp\left[-\left(\frac{\Delta\omega}{\bar{\Omega}}\right)^2\right]}{\sqrt{1+G_+}}$ мнимая часть диэлектрической восприимчивости

для основной волны, здесь

$$\Omega_0^2 = 4\pi n\omega |d|^2 / \pi, \quad \bar{\Omega} = \frac{\bar{v}\omega}{c}; \quad \delta = \frac{\omega - \omega_0}{\gamma};$$

n плотность возбужденных атомов;

d дипольный момент перехода;

\bar{v} средняя скорость атомов.

$$\Delta\omega = \omega - \omega_0,$$

ω₀ центр линии перехода,

$$G = \frac{|d|^2 |E|^2}{2\hbar\gamma\gamma_0}$$

Коэффициент подавления встречной волны $\frac{G_-(\omega)}{G(\omega)}$ определяется из граничных

условий для основной волны в схеме с возвратным зеркалом

$$\frac{G_-(\omega)}{G(\omega)} = \left\{ \left(1 + \sqrt{\frac{RG(L)}{G(\omega)}} \right)^2 + 4 \sqrt{\frac{RG(L)}{G(\omega)}} \times \right. \\ \left. \times \sin^2 \frac{\Psi}{2} \right\} \frac{1}{R_0 (1-R^2)}, \quad (6)$$

где R₀ коэффициент отражения возвратного зеркала;

$$\Psi_0 = \Phi(0) - (L) + \psi,$$

где Φ(L) фаза основной волны;

ψ фаза отражения встречного луча от возвратного зеркала θ.

Из формулы (6) видно, что подавление может стать большим при j₀ = 0, тогда

$$\frac{G(\omega)}{G(\omega_0)} = \left[\frac{\ln 1/R}{1-R} \right] \frac{1}{4R_0} \left(\frac{\eta}{\sqrt{G+1}} - 1 \right)^2, \quad (7)$$

где $\eta = \eta/\eta_0$ энергия накачки, измеренная в пороговых единицах;
 η_0 плотность атомов на пороге возбуждения.

$$\eta_0 = \frac{\ln 1/R}{L} \frac{\bar{N} h}{4\pi^{3/2} |d|^2 \omega}.$$

Снижение пороговой плотности η_0 в схеме достигается за счет увеличения реальной длины L , поэтому при увеличении длины, например, в 30 раз с учетом дифракционного предела можно снизить энергию накачки в 30 раз. Дальнейшее возрастание энергии излучения происходит за счет перестройки частоты излучения возвратным зеркалом 8.

Из формулы (2) и (5) и уравнения для энергии основной волны

$$\frac{dG(z)}{dz} = -G(z) \frac{4\pi\omega}{c} x''_+(z) \quad (8)$$

аппроксимационная формула энергии основной волны на выходе из резонатора имеет вид

$$G = (1-R)G(\omega)$$

$$G(\omega) = (\eta-1) \left(\frac{\eta-1}{z} + z\delta^2 \right) + \sqrt{\eta-1} (\sqrt{\eta-1} - z|\delta|) + \text{аппроксимационная формула для}$$

$$+ \frac{z\delta\eta(\eta-1)}{1 + \frac{\eta-1}{z} + \sqrt{\eta-1} |\delta|} + \sqrt{\eta-1} (\sqrt{\eta-1} + \quad (9)$$

$$+ z|\delta| \sqrt{\left(1 + \frac{\eta-1}{z} - |\delta|\sqrt{\eta-1} \right)^2 - 1} + \frac{z\delta\eta(\eta-1)}{1 + \frac{\eta-1}{z} + \sqrt{\eta-1} |\delta|}$$

$G(\omega)$ отличается от точной не более чем на 1%

В пределе накачки, близкой к пороговому значению $\eta-1 \ll 1$ (например, $\eta-1=0,05$) формула (9) упрощается и приводится к виду

$$G(\omega) = 2(\eta-1)(1+\delta^2) \quad (10)$$

В результате видно, что при энергии накачки, близкой к пороговой за счет отстройки частоты от резонанса, энергия излучения на выходе по сравнению с обычной схемой, где $G(\omega) = 2(\eta-1) \sim 0,1$, в данной схеме возрастает еще в 10 раз, при $|\delta| = 3$

$$G(\omega)=1.$$

Коэффициент подавления (6) при $R_0 = R = 0,9$ достигает величины 0,025. В итоге достигается общее увеличение КПД. Это ведет к резкому снижению как размеров лазеров, так и потребляемой электроэнергии при увеличивающейся выходной мощности.

Значительное снижение потребляемой энергии, сокращение размеров и увеличение выходной мощности дает экономию электроэнергии, экономию различных дефицитных материалов при изготовлении лазеров.

Формула изобретения

1. Способ получения когерентного излучения, включающий создание инверсной среды и формирование в резонаторе газового лазера прямой и обратной волн излучения, отличающийся тем, что, с целью повышения мощности и КПД лазера, обратную волну излучения возвращают в резонатор с нулевым фазовым сдвигом относительно прямой волны и осуществляют расстройку по частоте между прямой и обратной волнами так, что выполняется соотношение

$$- \frac{4\pi\omega}{c} \int_0^L x''_-(z) dz = \ln 1/R,$$

где L длина пути, пройденная волной излучения в резонаторе;
 ω частота излучения;

κ'' мнимая часть диэлектрической восприимчивости обратной волны;

R величина, обратная коэффициенту потерь резонатора;

C скорость света в среде.

5 2. Газовый лазер, содержащий щелеобразный разрядный канал и четырехзеркальный резонатор, включающий два наклонных по отношению к оптической оси глухих зеркала, вспомогательное и полупрозрачное зеркала, установленные напротив окон, выполненных в одном из глухих зеркал, которые совместно с глухими зеркалами образуют замкнутый контур, формирующий две волны излучения прямую и обратную, отличающийся тем, что, с
10 целью повышения мощности и КПД лазера, перпендикулярно направлению распространения обратной волны излучения за полупрозрачным зеркалом размещено возвратное зеркало, при этом возвратное и вспомогательные зеркала установлены на пьезокерамике с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном отражающим поверхностям, в пределах длины волны излучения.

15

20

25

30

35

40

45

50