



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01S 3/225 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021131175, 25.10.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.10.2021

Дата регистрации:
04.04.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.10.2021

(45) Опубликовано: 04.04.2023 Бюл. № 10

Адрес для переписки:
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,
Институт сильноточной электроники СО РАН,
зам. директора по НР ИСЭ СО РАН
Батракову А.В.

(72) Автор(ы):

Панченко Юрий Николаевич (RU),
Пучикин Алексей Владимирович (RU),
Андреев Михаил Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
(RU)

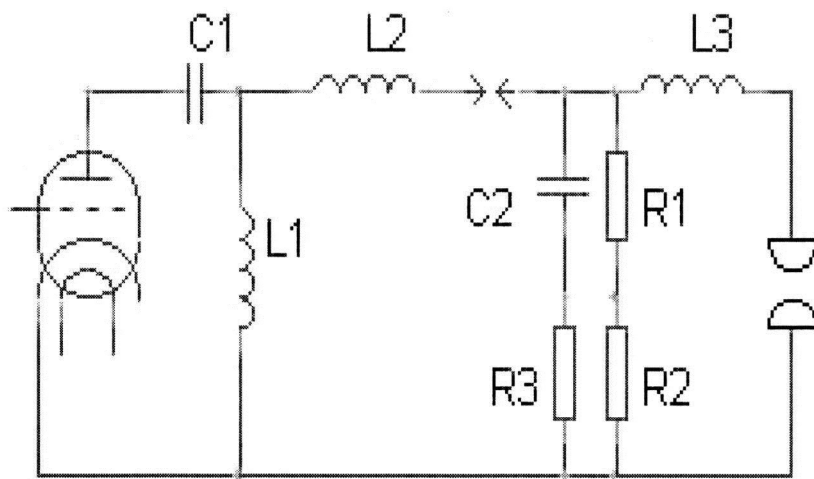
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 206537 U1, 15.09.2021. RU 2589471
C1, 10.07.2016. RU 2596908 C1, 10.09.2016. RU
2321119 C2, 27.03.2008. US 7995637 B2,
09.08.2011. US 7851011 B2, 14.12.2010.

(54) Способ накачки в газоразрядных импульсных лазерах

(57) Реферат:

Изобретение относится к квантовой электронике и может быть использовано при создании электроразрядных эксимерных и других лазеров с удельной мощностью накачки 3-10 МВт/см³. Способ основан на зажигании в лазерах диффузного разряда в плотных газовых смесях с электроотрицательными компонентами, состоящий из самоорганизующейся структуры множественных диффузных каналов. Формирование множественных равновесных диффузных каналов обеспечивается за счет скорости роста плотности тока dj/dt более 6×10^{10} А/см²·с и приведенной напряженности поля в момент пробоя разрядного промежутка не менее

Е/Р ~ 3 кВ/смхатм. Завершенная или незавершенная стадия развития диффузных каналов в разряде определяется соотношением концентраций компонент газовой смеси играющих роль донора и акцептора для электронов в плазме. Технический результат заключается в обеспечении зажигания устойчивой многоканальной диффузной плазмы с концентрацией электронов до -1×10^{16} см⁻³ в плотных газовых средах, включающих в себя электроотрицательные добавки, при сохранении свойств активной среды в течение всей длительности импульса накачки, имеющей колебательную форму тока разряда. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

RU 2793616 C1 919616 2793616 C1

RU 2793616 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H01S 3/225 (2022.05)

(21)(22) Application: **2021131175, 25.10.2021**

(24) Effective date for property rights:
25.10.2021

Registration date:
04.04.2023

Priority:

(22) Date of filing: **25.10.2021**

(45) Date of publication: **04.04.2023** Bull. № 10

Mail address:

**634055, g. Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut
silnotochnoj elektroniki SO RAN, zam. direktora
po NR ISE SO RAN Batrakovu A.V.**

(72) Inventor(s):

**Panchenko Yuriy Nikolaevich (RU),
Puchikin Aleksej Vladimirovich (RU),
Andreev Mikhail Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
uchrezhdenie nauki Institut silnotochnoj
elektroniki Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj
akademii nauk (ISE SO RAN) (RU)**

(54) **METHOD FOR PUMPING IN GAS-DISCHARGE PULSE LASERS**

(57) Abstract:

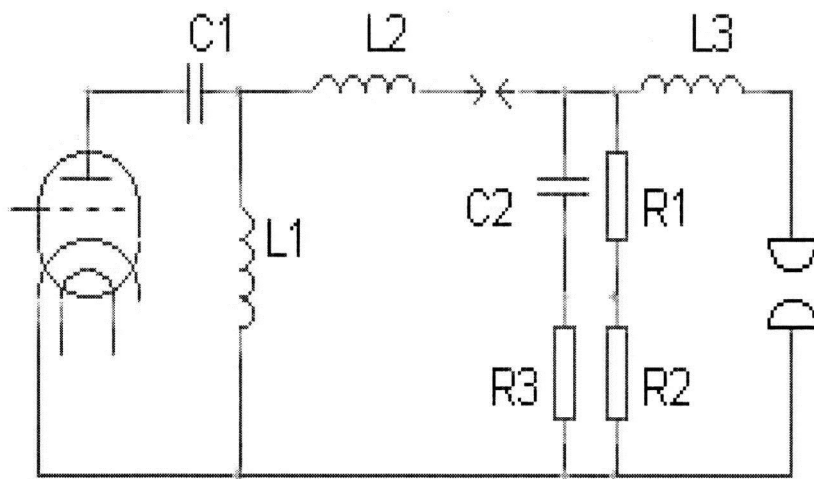
FIELD: quantum electronics.

SUBSTANCE: invention relates to quantum electronics; it can be used in creation of electric-discharge excimer and other lasers with specific pumping power of 3-10 MW/cm³. The method is based on ignition in lasers of a diffuse discharge in dense gas mixtures with electronegative components, consisting of a self-organizing structure of multiple diffuse channels. Formation of multiple equilibrium diffuse channels is provided due to a speed of current density growth dj/dt of more than 6×10^{10} A/cm²×sec and reduced field strength at the moment of break of a discharge gap of at least $E/P \sim 3$ kV/cm×atm. A

completed or uncompleted stage of development of diffuse channels in the discharge is determined by the ratio of concentrations of gas mixture components serving as a donor and an acceptor for electrons in plasma.

EFFECT: provision of ignition of stable multichannel diffuse plasma with a concentration of electrons of up to -1×10^{16} cm⁻³ in dense gas media including electronegative additives, while saving properties of an active medium during the entire duration of a pumping pulse, having an oscillatory form of discharge current.

3 cl, 2 dwg



Фиг. 1

R U 2 7 9 3 6 1 6 C 1

R U 2 7 9 3 6 1 6 C 1

Изобретение относится к квантовой электронике и может быть использовано при создании импульсных газоразрядных лазеров, таких как эксимерные и других лазеров, включающих в свой состав смеси газов с электроотрицательными компонентами (CO_2 , нецепные химические на молекулах $\text{HF}(\text{DF})$ и др.).

Известно, что в таких типах электроразрядных лазеров с ростом мощности накачки резко ускоряется развитие токовых неустойчивостей в объемной плазме, что приводит к снижению эффективности работы лазеров, а также к сокращению длительности импульса генерации. Например, в работах [1-3] было показано, что с ростом мощности накачки с 1 до 3 МВт/см^3 эффективность работы электроразрядных XeCl и KrF лазеров снижается с 4% до 2-2.6%, а максимальная удельная энергия импульса излучения не превышает 6 Дж/л (при потенциальной возможности достижения величины 20 Дж/л [4]). Проведенные исследования показали, что в таких лазерах с превышением оптимальной величины мощности накачки в объемном разряде возникают различные типы токовых неустойчивостей (сильноточные каналы, диффузные макроканалы с диаметром - 1-2 мм и микроканалы - 0.1 мм). Развитие неоднородностей в объемном разряде неизбежно приводит к его контракции и прекращению генерации, что обусловлено резким уменьшением объема разряда с неконтролируемым повышением плотности разрядного тока и последующим выгоранием галогеносодержащих компонент в газовой среде.

Известен способ зажигания объемного разряда в XeCl лазере с металлическими электродами с автоматической УФ-предыонизацией и повышенной удельной мощностью накачки. Максимальная плотность разрядного тока в этом случае составляла 1.1 кА/см^2 при величине его нарастания $dj/dt=2 \times 10^{10} \text{ А/см}^2 \times \text{с}$. В данном лазере при использовании плоскопараллельного резонатора была достигнута максимальная удельная энергия генерации 1.6 Дж/атм. × литр [5].

Известен способ создания активной среды KrF лазера [6] при котором зажигание и сохранение объемного разряда с высокой удельной мощностью накачки (3-4 МВт/см^3) осуществляется за счет реализации крутого переднего фронта разрядного тока (8-10 нс) и использования биполярного импульса разрядного тока. Реализация такого крутого переднего фронта обеспечивало формирование более однородного объемного разряда и его горение в течение нескольких полупериодов разрядного тока.

Также известны способы повышения энерговыклада в CO_2 лазере за счет использования электродов с высокой эмиссионной способностью [7] и увеличения концентрации начальных электронов в разрядной плазме [8].

Недостатком данных технических решений является сложность удержания объемной стадии горения разряда с ростом удельной мощности накачки более 3 МВт/см^3 , что обусловлено природной неустойчивостью его горения и как следствие развития ионизационных неустойчивостей в однородной плазме. Данные свойства горения объемного разряда отмечаются практически во всех исследовательских работах, имеющих в литературе.

Наиболее близким аналогом предлагаемого изобретения, взятым нами за прототип, является эксимерный лазер, описанный в патенте [9]. В данном эксимерном лазере один из электродов был выполнен в виде плазменного катода, потенциальная кромка которого расположена в максимуме электрического поля межэлектродного промежутка. Данное техническое решение позволяет реализовать условия зажигания множественных макроканалов за счет их привязки к острейшему электроду, обеспечивающему резко-неоднородное распределение электрического поля в области разряда.

Основными недостатками способа, реализованного в прототипе в свете предлагаемого решения, являются, во-первых, недолговечность работы плазменного катода, а также формирование диффузных каналов в резко-неоднородном электрическом поле разрядного промежутка вдоль узкой кромки плазменного катода.

Во-вторых, предъявляются жесткие требования к фронту импульса тока, что накладывает существенные ограничения на величину разрядной индуктивности L которая должна быть менее 3 Гн, что является сложно достижимым условием для импульсно-периодических лазеров.

Техническим результатом изобретения является зажигание при удельных мощностях накачки 3-10 МВт/см³ устойчивой формы диффузного разряда в технологических лазерах, использующих эксимерные и другие газовые среды, включающие в себя электроотрицательные компоненты.

Указанный технический результат при осуществлении изобретения достигается тем, что в известном способе, заключающийся в зажигании диффузной плазмы в протяженном межэлектродном промежутке после подачи на него импульса высокого напряжения и срабатывания автоматической предыонизации, согласно изобретению, в разрядном промежутке зажигается многоканальный диффузный разряд за счет обеспечения скорости роста плотности импульса тока dj/dt более 6×10^{10} А/см²×с и приведенной напряженности поля в момент пробоя разрядного промежутка не менее $E/P \sim 3$ кВ/смхатм.

Кроме того, завершенная форма разряда в лазере определяется соотношением концентраций компонент эксимерной газовой смеси, играющих роль донора и акцептора для электронов в плазме и составляет в ХеСl лазере $Xe/HCl \geq 12/1$ и $Ne/HCl \leq 500/1$, а незавершенная форма при соотношениях $10/1 \leq Xe/HCl \leq 12/1$ и $500/1 \leq Ne/HCl \leq 1000/1$. В КrF лазере завершенная форма разряда определяется соотношением концентраций компонент эксимерной газовой смеси $Kr/F_2 \geq 25/1$ и $Ne/F_2 \leq 350/1$, а незавершенная форма разряда при соотношениях $10/1 \leq Kr/F_2 \leq 25/1$ и $700/1 \geq Ne/F_2 \geq 350/1$

Предложенный способ основан на обнаруженном нами режиме горения разряда с повышенной удельной мощностью накачки в диапазоне 3-10 МВт/см³, при котором по всему объему разрядного промежутка зажигаются множественные равновесные диффузные каналы, сохраняющие свойства активной среды в течение импульса накачки. Данный режим в основном обусловлен наличием приведенной напряженности поля в момент пробоя разрядного промежутка не менее $E/P \sim 3$ кВ/смхатм, скоростью роста плотности импульса тока $dj/dt > 6 \times 10^{11}$ А/см²×с и определенным соотношением компонент газовой смеси играющих роль донора и акцептора электронов в плазме, при этом величина начальной концентрации галогена в газовой среде должна обеспечивать, во-первых, ограничение роста начальной концентрации электронов до $n_e \leq 10^9$ см⁻³ на предпробойной стадии вблизи поверхности катода, а во-вторых, соответствие с долей выгораемого галогена (не более 80%) в плазме при заданных величинах удельной мощности накачки. При уменьшении величины $dj/dt < 6 \times 10^{11}$ А/см² с конкуренция между отдельными каналами начинает приводить к перераспределению тока по отдельным каналам, и энергия лазера начинает уменьшаться.

В качестве доказательства возможности осуществления заявляемого изобретения приводится пример экспериментальной реализации предлагаемого решения.

На фиг. 1 представлена стандартная двухконтурная электрическая схема накачки лазера. Предыонизация разрядного промежутка осуществлялась УФ - излучением,

которое возникало при срабатывании искровых промежутков, установленных в первом контуре электрической цепи. Накопительная С1 и разрядная С2 емкости имели величину 107.2 и 74 нФ, соответственно. В качестве коммутатора использовался тиратрон ТПИ1-10к/20. Значение индуктивности первого L2 и второго L3 разрядных контуров составляло 150 и 4.5 нГ, соответственно. Длина металлических электродов составляла 650 мм, межэлектродный зазор - 28 мм. Электроды имели цилиндрическую форму с радиусом рабочей поверхности 60 мм.

Эксперименты проводились на электроразрядном ХеС1 лазере с длительностью импульса тока на полувысоте ~ 45 нс, использовался состав смеси Ne-Хе-НС1, при общем давлении Р=3.5 атм. При соотношении компонент газовой среды при соотношениях $\text{Хе}/\text{НС1} \geq 12/1$ и $\text{Ne}/\text{НС1} \leq 500/1$ загорается завершенная форма разряда, диффузные каналы полностью перекрывали разрядный промежуток (фиг. 2, б). КПД лазера в этом случае составил 1.1%. При соотношениях $10/1 \leq \text{Хе}/\text{НС1} \leq 12/1$ и $500/1 \leq \text{Ne}/\text{НС1} \leq 1000/1$ в плазме формировались незавершенные множественные диффузные каналы, которые на некотором расстоянии перекрывались между собой, в этом случае КПД лазера достигал величины 2.42%, (фиг. 2, а). Аналогичные результаты были получены для электроразрядного КrF лазера для смеси $\text{Ne}/\text{Kr}/\text{F}_2 = 3400/270/10$ мбар, при соотношениях $\text{Kr}/\text{F}_2 \geq 25/1$ и $\text{Ne}/\text{F}_2 \leq 350/1$ загорается завершенная форма разряда, при соотношениях $10/1 \leq \text{Kr}/\text{F}_2 \leq 25/1$ и $700/1 \geq \text{Ne}/\text{F}_2 \geq 350/1$ - незавершенная форма. В обоих случаях каналы сохраняли свойства активной среды.

Использование данного изобретения позволяет создавать электроразрядные лазеры на плотных газах с электроотрицательными компонентами, имеющие удельную энергию импульса излучения 10-15 Дж/л.

Источники информации:

1. R. Riva, M. Legentil, S. Pasquiers and V. Puech Experimental and theoretical investigations of a ХеС1 phototriggered laser // J. Phys. D: Appl. Phys. - 1995. - Vol. 28, No. 5. - P. 856-872.

2. А.А. Жупиков, А.М. Ражев Эксимерный КrF-лазер на основе буферного газа Ne с энергией 0,8 Дж и КПД 2% // Квантовая электроника. - 1998. - Т. 25, №8. - С. 687-689.

3. О.Б. Христофоров Лазерные электроразрядные системы со скользящим разрядом в смесях инертных газов с галогеносодержащими молекулами: дис... канд. физ.-мат.наук: 01.04.04 - М., 1984. - 206 с.

4. Л.Д. Клементов, Н.В. Морозов, П.Б. Сергеев Электронно-пучковый ХеС1-лазер с удельным энергоусоемом 20 Дж/л // Квантовая электроника. - 1985. - Т. 12, №8. - С. 1607-1611.

5. Masakatdu Sugii, Makoto Okabe, Akio Watanabe, and Keisuke Sasaki, Single-stage high-beam-quality ХеС1 laser with a phase-conjugate Brillouin mirror, IEEE J. Quantum Electron. - 1988 - Vol. 24, No. 11. P. 2264-2269.

6. Ю.Н. Панченко, В.Ф. Лосев, М.В. Андреев. Способ создания активной среды КrF лазера // Пат. RU 2575142 С1 РФ МПК H01S 3/097; заявитель и патентообладатель ФГБУН ИСЭ СО РАН. - 2014148832/28; заявл. 03.12.2014; опубл. 10.02.2016. - Бюл. №4.

7. Г.А. Месяц, В.В. Осипов, А.Н. Петров и др. Влияние эмиссионных свойств электродов на характеристики импульсно-периодического СО2 лазера // ЖТФ. - 1990. - Т. 60, вып. 4. - С. 143-146.

8. В.В. Осипов Самостоятельный объемный разряд // УФН. - 2000. - Т. 170, №3. - С. 225-245.

9. В.Ф. Лосев, Ю.Н. Панченко, Н.А. Лосева Эксимерный лазер и способ получения генерации в нем // Пат. RU 2321119 С2 РФ МПК H01S 3/097; заявитель и

патентообладатель ФГБУН ИСЭ СО РАН. - 2005119823/28; заявл. 27.06.2005; опубл. 27.03.2008. - Бюл. №9.

(57) Формула изобретения

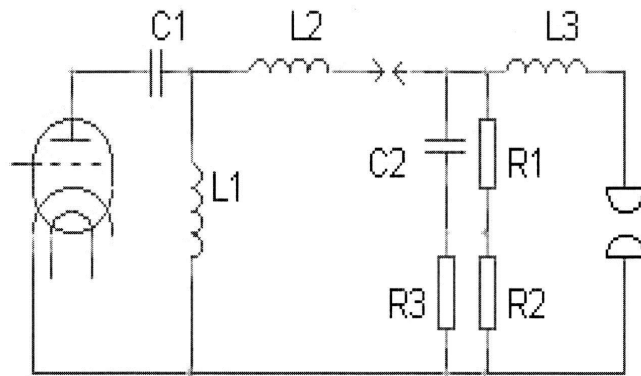
- 5 1. Способ накачки в газоразрядных импульсных лазерах на плотных газах, включающих в себя электроотрицательные компоненты при удельных мощностях накачки в диапазоне 3-10 МВт/см³, заключающийся в зажигании устойчивой диффузной плазмы в протяженном межэлектродном промежутке после подачи на него импульса высокого напряжения и срабатывания автоматической предыонизации, отличающийся
- 10 тем, что в разрядном промежутке зажигаются множественные равновесные диффузные каналы за счет обеспечения скорости роста плотности импульса тока dj/dt более 6×10^{10} А/см²·с и приведенной напряженности поля в момент пробоя разрядного промежутка не менее $E/P \sim 3$ кВ/см·атм.
- 15 2. Способ накачки в газоразрядных импульсных лазерах по п. 1, отличающийся тем, что множественные равновесные диффузные каналы имеют завершенную форму, полностью заполняющие межэлектродный промежуток, при соотношениях концентраций компонент эксимерной газовой смеси, играющих роль донора и акцептора для электронов в плазме, и составляет в ХеСl лазере $Xe/HCl \geq 12/1$ и $Ne/HCl \leq 500/1$, а
- 20 незавершенную форму, в которой диффузные каналы перекрываются в объемной плазме на некотором расстоянии между собой, при соотношениях $10/1 \leq Xe/HCl \leq 12/1$ и $500/1 \leq Ne/HCl \leq 1000/1$.
3. Способ накачки в газоразрядных импульсных лазерах по п. 1, отличающийся тем, что множественные равновесные диффузные каналы имеют завершенную форму в КгF
- 25 лазере при соотношении концентраций компонент эксимерной газовой смеси $Kr/F_2 \geq 25/1$ и $Ne/F_2 \leq 350/1$, а незавершенную форму диффузных каналов при соотношениях $10/1 \leq Kr/F_2 \leq 25/1$ и $700/1 \geq Ne/F_2 \geq 350/1$.

30

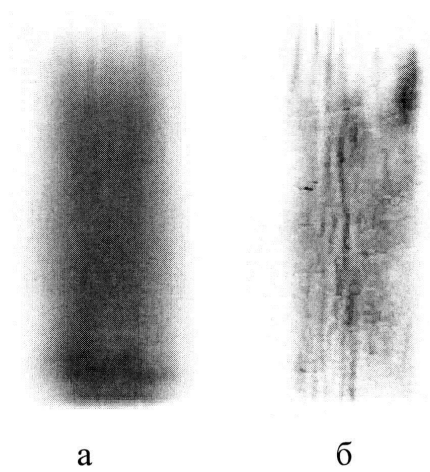
35

40

45



Фиг. 1



Фиг.2