



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01S 3/0975 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2021113333, 11.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.05.2021

Дата регистрации:
15.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.05.2021

(45) Опубликовано: 15.09.2021 Бюл. № 26

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):

Коновалов Иван Николаевич (RU),
Панченко Юрий Николаевич (RU),
Лосев Валерий Федорович (RU),
Пучикин Алексей 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 95909 U1, 10.07.2010. RU 121399
U1, 20.10.2012. RU 2519591 C2, 20.06.2014. EP
244159 A3, 15.11.1989. US 7672354 B2, 02.03.2010.
JP 2012009892 A, 12.01.2012.

(54) Газоразрядное устройство с продольно-поперечным разрядом

(57) Реферат:

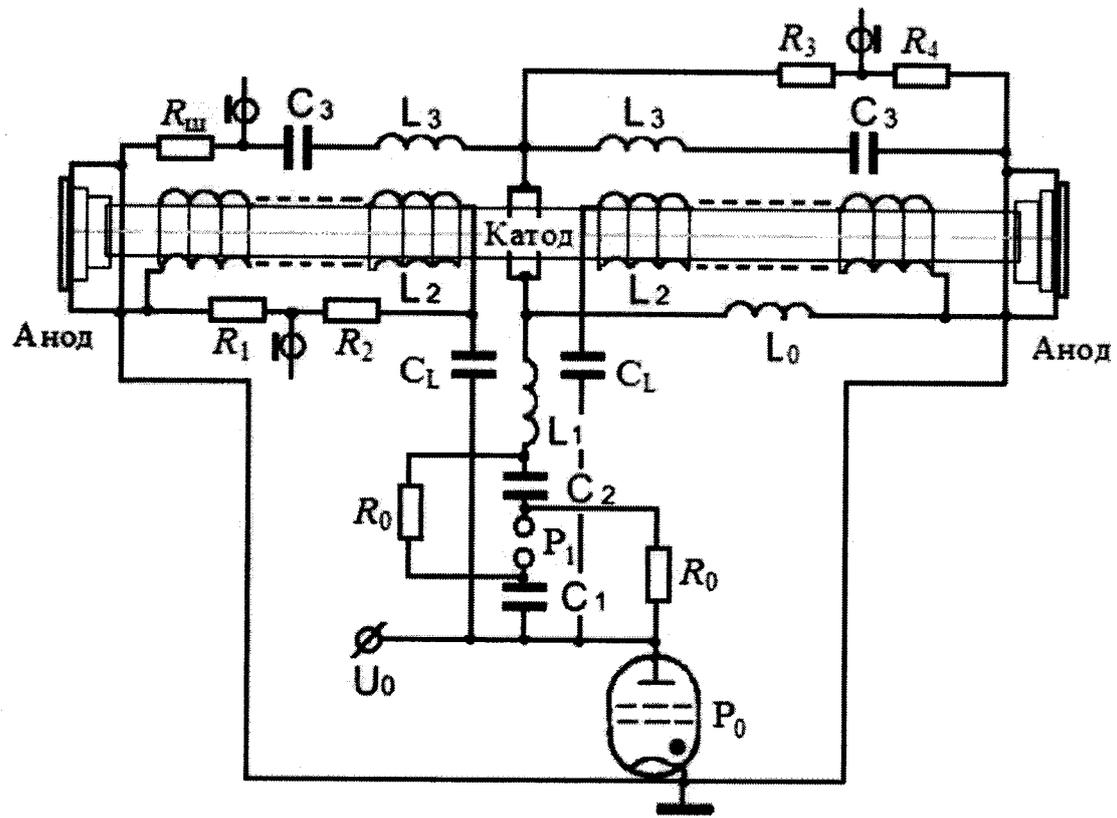
Газоразрядное устройство с продольно-поперечным разрядом предназначено для генерирования спонтанного и когерентного излучения. Газоразрядное устройство содержит двухсекционную трубку с размещенными на ее торцах кольцевыми острыми анодами и установленным в середине трубки цилиндрическим острым катодом. Трубка соединена последовательно с генератором импульсного напряжения и параллельно с разрядными конденсаторами, осуществляющими импульсное питание продольного электрического разряда. На секции трубки навиты соленоиды, каждый из которых подключен к собственному импульсному источнику питания, включающему

конденсатор и коммутатор генератора импульсного напряжения, осуществляющие импульсное питание поперечного индукционного разряда. За счет конструктивного выполнения в газоразрядном устройстве зажигается продольно-поперечный объемный разряд с однородным распределением плазмы в разрядной трубке, с плотностью мощности накачки до 10 МВт/см³ в газовых средах (He, N₂, CO₂, Ne-Xe(Kr)-HCl) в диапазоне давлений 0,01-1 атм. С использованием данного устройства можно создавать эффективные источники излучения, масштабировать их для получения световых импульсов с высокой мощностью.

RU 206537 U1

RU 206537 U1

RU 206537 U1



Фиг.1

RU 206537 U1

Полезная модель относится к газоразрядным источникам спонтанного и когерентного излучения испускаемого газоразрядной плазмой, создаваемой в объемном разряде.

Известно, что в данном типе разряда сложно удержать однородную форму горения разряда при высоких плотностях тока $\geq 10^2$ А/см², так как с увеличением плотности тока на катоде возникают неоднородности электронной эмиссии, которые приводят к пространственным неоднородностям разрядной плазмы и появлению в ней каналов с высокой проводимостью, шунтирующих объемный разряд.

В литературе имеется ряд работ, в которых описаны устройства для формирования импульсного продольного разряда, используемого для накачки азотных и эксимерных лазеров [1-4]. При этом разряд зажигался в разрядных трубках из стекла или керамики, состоящих из одной или нескольких секций. Эффективная накачка разрядной плазмы достигалась в трубках с длиной от 15 до 40 см. Зажигание разряда происходило либо от энергии электрического поля [1-3], либо от энергии магнитного поля [4]. Типичные давления газа в разрядной трубке составляли доли - десятки миллиметров ртутного столба. Плотность разрядного тока не превышала 1-3 кА/см².

Наиболее близкими аналогами предлагаемого газоразрядного устройства являются два устройства, которые были использованы в импульсных азотных лазерах с электрическим продольным разрядом [3] и с индукционным разрядом [4]. Устройство, описанное в работе [4], включает в себя цилиндрическую разрядную трубку из стекла, на которую навит соленоид длиной 600 мм и индуктивностью 120 нГн, зарядный и разрядный контуры на основе конденсаторов, коммутатор. На концах разрядная трубка с внутренним диаметром 33 мм закрывается кварцевыми окнами. Трубка наполнялась азотом с давлением 0,1-1,5 мм рт. ст. Принцип работы устройства заключается в следующем. При разрядке конденсатора емкостью 18 нФ на соленоид около внутренней стенки трубки за счет импульсного индукционного поперечного разряда создается объемная разрядная плазма в форме кольца толщиной 1-1,5 мм. Недостатком данного устройства является невозможность повышения давления газа в разрядной трубке более 1,5 мм рт. ст., увеличения объема разрядной плазмы и повышения мощности накачки.

Наиболее близким аналогом, взятым нами за прототип, является азотный лазер, описанный в работе [3]. Устройство состоит из двухсекционной кварцевой газоразрядной трубки диаметром 4-17 мм, включающей цилиндрический острый катод в середине трубки и два кольцевых острых анода на ее торцах, генератор импульсного напряжения (ГИН) на основе конденсаторов и коммутаторов, разрядный конденсатор для зажигания разряда. Данное устройство позволяет зажигать продольный объемный разряд с азотом или воздухом при давлениях 1-20 мм рт. ст., использовалось для накачки азотного лазера. Принцип работы устройства заключается в следующем. После зарядки накопительного конденсатора и срабатывания коммутаторов заряжаются конденсаторы, подключенные к секциям трубки, в трубке создается объемная разрядная плазма. На начальной стадии зажигания разряда в резко-неоднородном электрическом поле, создаваемом около катода и анодов, происходит предварительная ионизация газа убегающими электронами и стримерными каналами. Далее около внутренней стенки разрядной трубки зажигается однородный объемный разряд в кольце толщиной 2-4 мм с плотностью тока до 5 кА/см² и удельной мощностью накачки до 5 МВт/см³.

Главным недостатком технического решения, реализованного в прототипе, является развитие неоднородностей в плазме при повышении удельной мощности накачки более 5 МВт/см³ и давления азота или воздуха более 20 мм рт. ст. Кроме этого, зажигание

объемного разряда в газах с высоким потенциалом ионизации (He) и в сложных молекулах (CO_2) и в смесях газов с электроотрицательными компонентами приводило при повышении удельной мощности накачки к развитию неоднородностей в плазме.

5 Задачей полезной модели является уменьшение неоднородностей в газоразрядной плазме и, вследствие этого, повышение удельной мощности и эффективности накачки.

Техническим результатом является возможность зажигания объемного разряда при повышении удельной мощности накачки более 5 МВт/см^3 и повышении давления до 1 атм в газах с высоким потенциалом ионизации (He), в сложных молекулах (CO_2), в
10 смесях (Ne-Xe(Kr)-HCl).

Указанный технический результат при осуществлении полезной модели достигается тем, что в известном газоразрядном устройстве, включающем диэлектрическую двухсекционную газоразрядную трубку с размещенными на ее торцах кольцевыми острейными анодами и установленным в середине трубки цилиндрическим острейным
15 катодом, образующими разрядные промежутки, соединенные последовательно с генератором импульсного напряжения (ГИН) и параллельно с разрядными конденсаторами, осуществляющими импульсное питание продольного электрического разряда, согласно предложенному техническому решению, дополнительно на секции газоразрядной трубки навиты соленоиды, каждый из которых подключен к
20 собственному импульсному источнику питания, включающему конденсатор и коммутатор генератора импульсного напряжения, которые осуществляют импульсное питание поперечного индукционного разряда.

Предложенное техническое решение основано на обнаруженном нами факте зажигания диффузного разряда для различных газов с более однородной плазмой при
25 большей мощности накачки и большем давлении путем использования в разрядном промежутке дополнительно к электрическому полю магнитного поля. Данный эффект был обусловлен дополнительной предварительной ионизацией газа в разрядной трубке индукционным разрядом и влиянием электродвижущей силы (ЭДС) вихревого электрического поля, создаваемого соленоидами в разрядной трубке, на динамику
30 горения продольного разряда.

Схематическое изображение конструкции и электрическая схема накачки газоразрядного устройства представлены на фиг.1.

Устройство содержит кварцевую разрядную трубку, состоящую из двух секций длиной 190-200 мм, разделенных общим цилиндрическим острейным катодом.
35 Внутренний диаметр разрядной трубки может варьироваться от 4 до 17 мм. На торцах трубки установлены кольцевые острейные аноды и окна из кварца. На секции разрядной трубки навиты соленоиды, соединенные с анодами и подключенные к собственному импульсному источнику питания. Соленоиды длиной по 150 мм состоят из параллельно соединенных пяти частей, каждая выполнена из трех витков изолированного провода.

40 Схема импульсного питания продольного электрического разряда в устройстве состоит из ГИН на основе емкостей C_1 , C_2 с коммутаторами P_0 , P_1 и разрядных емкостей C_3 . Схема импульсного питания поперечного индукционного разряда состоит из конденсаторов C_L , соленоидов L_2 и коммутатора P_0 . Коммутатор P_0 выполнен на основе тиратрона марки ТПИЗ-10к/25, а P_1 - на основе искрового разрядника. Величина емкостей составляет: $C_L=2,8 \text{ нФ}$, $C_1=C_2=8,4 \text{ нФ}$, $C_3=2.8 \text{ нФ}$. Емкости собираются из конденсаторов марки TDK UHV-6A, 700, 2700 pF & 30 kV. В схеме имеются зарядные и разрядные индуктивности: $L_0=100 \text{ мкГн}$ используется для зарядки емкостей C_1 и C_2 ,

$L_1=0,6$ мкГн используется в цепи зарядки емкостей C_3 , $L_2=0,3$ мкГн является индуктивностью соленоидов, $L_3=0,1$ мкГн - индуктивность разрядного контура емкости C_3 . Сопротивления R_0 используются для зарядки емкостей C_1 и C_2 , омический делитель R_1 , R_2 используется для измерения ЭДС магнитного поля, омический делитель R_3 , R_4 используется для измерения напряжения на катоде, шунт R_{III} - для измерения тока зарядки и разряда на секцию трубки конденсатора C_3 .

Принцип работы устройства заключается в следующем. После зарядки конденсаторов C_L , C_1 и C_2 до напряжения $U_0=24$ кВ включаются коммутаторы P_0 , P_1 и ГИН начинает заряжать емкости C_3 , а емкость C_L начинает создавать ток в соленоидах, генерирующих вихревое электрическое поле с ЭДС самоиндукции до 20 кВ. Это приводит к развитию с катода и анодов стримерных каналов, вблизи внутренней поверхности трубки развивается незавершенный скользящий разряд, под действием вихревого электрического поля зажигается индукционный разряд. Происходит предварительная ионизация газа до более высокой концентрации электронов в плазме ($\sim 10^{10}$ см⁻³) по сравнению с прототипом. После достижения пробивного напряжения между катодом и анодами в трубке зажигается объемный разряд. Кроме этого, во время зарядки и разрядки емкостей C_3 , подключенных к секциям разрядной трубки, соленоиды под действием этого тока генерируют ЭДС взаимной индукции до 20-25 кВ. В результате прямой ток разряда вызывает круговое движение электронов, увеличивая их энергию, улучшая условия формирования продольно-поперечного объемного разряда с однородным распределением плазмы в разрядной трубке.

В качестве примера были исследованы условия зажигания и режимы горения объемного разряда в данном устройстве с различными газами (N_2 , He, CO_2 , Ne-Xe(Kr)-HCl) при давлениях 0,01-1 атм и при различных внутренних диаметрах разрядной трубки (4-17 мм). Использование устройства для создания газоразрядной плазмы в воздухе или азоте приводило к увеличению области объемного разряда и возможности повышения давления газа в несколько раз по сравнению с прототипом. При увеличении диаметра трубки от 4 мм до 17 мм удельная мощность накачки снижалась, так как увеличивался объем разрядной плазмы.

На фиг. 2 и фиг. 3 представлены типичные осциллограммы напряжения на катоде U_K , разрядного тока в трубке I_{C3} и импульсов излучения при заполнении трубки диаметром 6,7 мм гелием с давлением 0,05 атм (фиг. 2) и CO_2 с давлением 0,015 атм (фиг. 3) для случая без индукционного разряда (а) и с индукционным разрядом (б). Наглядно представлено, что мощность излучения разрядной плазмы во втором случае, при осуществлении продольно-поперечного разряда, в гелии увеличилась более чем в 4 раза, а в CO_2 - более чем в два раза.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показывают возможность зажигания сильноточного продольно-поперечного разряда с однородным распределением плазмы в разрядной трубке в газовой среде (N_2 , CO_2 , He) в диапазоне давлений 0,01-1 атм с плотностью мощности накачки до 10 МВт/см³. Данное устройство также позволяет зажигать однородный разряд в эксимерных смесях (Ne-Xe(Kr)-HCl) при давлении x до 1 атм. С использованием данной полезной модели можно создавать относительно простые по конструкции источники мощного спонтанного излучения в различных газах с продольно-поперечной накачкой, масштабировать их для получения

световых импульсов с высокой мощностью.

Источники информации:

1. Козлов Б.А., Паюров А.Я., Трусов В.С. Азотный лазер // патент №2313872 С2 от 03.10.2005.

5 2. Furuhashi H., Goto T. Longitudinal discharge N₂ laser with automatic preionization using an LC inversion circuit // Rev. Sci. Instrum. 1988. V. 59. N 12. P. 2552-2556.

3. Панченко Ю.Н., Коновалов И.Н., Лосев В.Ф., Пучикин А.В. Азотный лазер, возбуждаемый продольным электрическим разрядом // Патент на изобретение №2664780 С1 от 22.08.2018.

10 4. А.М. Ражев, С.Д. Чуркин, Н.С. Тарасов. Исследование параметров генерации индукционного лазера на молекулярном азоте // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2007. Т. 2, выпуск 4. С. 113-117.

(57) Формула полезной модели

15 Газоразрядное устройство с продольно-поперечным разрядом, включающее диэлектрическую двухсекционную газоразрядную трубку с размещенными на ее торцах кольцевыми острыми анодами и установленным в середине трубки цилиндрическим острым катодом, образующими разрядные промежутки, соединенные
20 последовательно с генератором импульсного напряжения (ГИН) и параллельно с разрядными конденсаторами, осуществляющими импульсное питание продольного электрического разряда, отличающееся тем, что дополнительно на секции газоразрядной трубки навиты соленоиды, каждый из которых подключен к собственному импульсному источнику питания, включающему конденсатор и коммутатор генератора импульсного
25 напряжения, осуществляющие импульсное питание поперечного индукционного разряда.

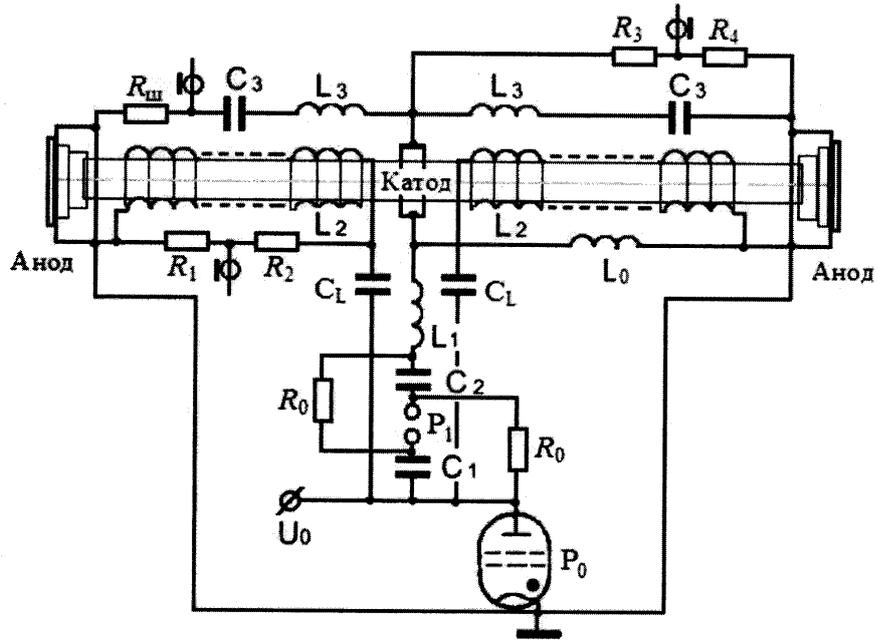
30

35

40

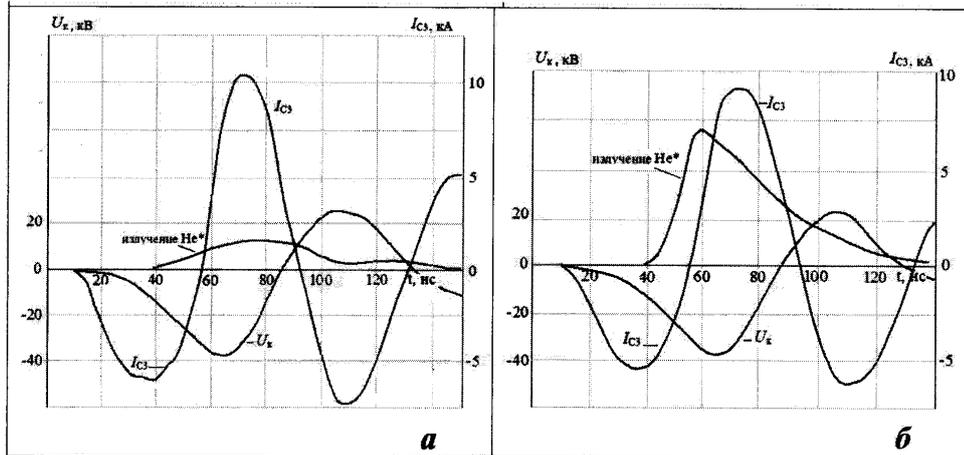
45

1

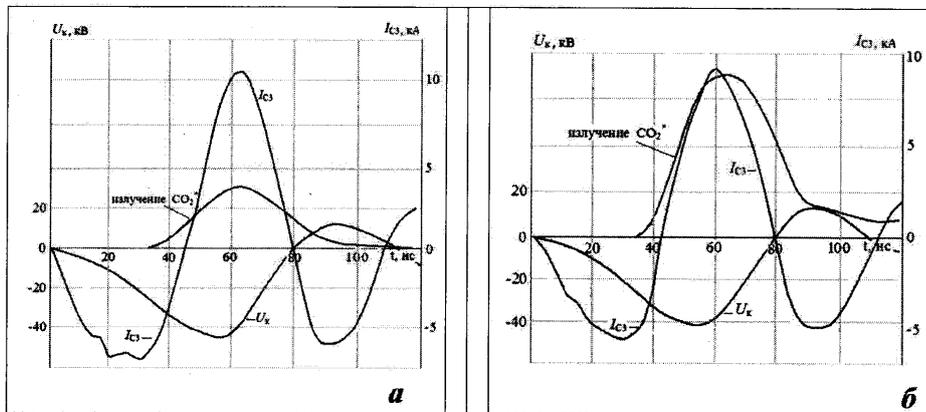


Фиг.1

2



Фиг.2



Фиг. 3