



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H05H 15/00 (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021128647, 01.10.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.10.2021

Дата регистрации:
26.05.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.10.2021

(45) Опубликовано: 26.05.2022 Бюл. № 15

Адрес для переписки:
634009, г. Томск, пер. Дербышевский, 26 Б, оф.
6010, "ПКФ СИСТЕМА", Спивакова Лариса
Николаевна

(72) Автор(ы):

Дорошкевич Сергей Юрьевич (RU),
Воробьев Максим Сергеевич (RU),
Коваль Николай Николаевич (RU),
Торба Максим Сергеевич (RU),
Сулакшин Степан Александрович (RU),
Леванисов Вадим Андреевич (RU),
Шугуров Владимир Викторович (RU),
Шин Владислав Игоревич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

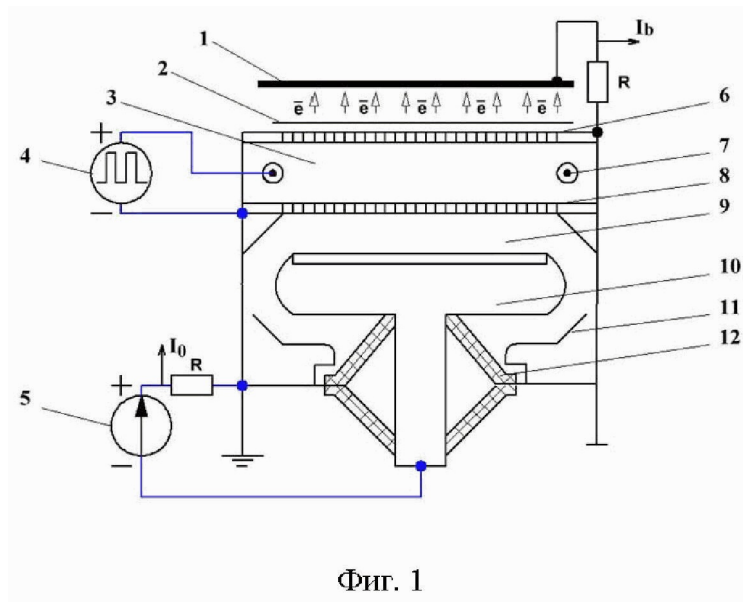
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2746265 C1, 12.04.2021. RU
2338798 C1, 20.11.2008. RU 2623546 C2,
27.06.2017. US 2005200256 A1, 15.09.2005. CN
107974547 B, 19.04.2019. БАРАНОВ Г.А.,
Сравнение широкоапертурных
низкоэнергетических ускорителей электронов
на основе высоковольтного тлеющего разряда
с ускорителями на основе протяженных
термоэмиттеров, ПТЭ, 2020, N 2, с. 102-108.

(54) СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ
ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ ИОННО-ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области генерации электронных пучков большого сечения. Технический результат - повышение эффективности генерации и вывода электронного пучка из вакуума в атмосферу или объем повышенного давления путем использования импульсно-периодического высокочастотного вспомогательного тлеющего разряда. Способ повышения энергетической эффективности источников электронов на основе ионно-электронной эмиссии с выводом пучка в

атмосферу заключается в том, что используют источник электронов на основе несамостоятельного высоковольтного тлеющего разряда, плазму вспомогательного тлеющего разряда генерируют в импульсно-периодическом режиме с частотой до 100 кГц с возможностью горения дежурного фоновое слаботочного разряда, а амплитуду тока вспомогательного разряда изменяют путем изменения коэффициента заполнения импульсов в диапазоне 0,1-0,9. 1 з.п. ф-лы, 5 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H05H 15/00 (2006.01)
H01J 37/077 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H05H 15/00 (2022.02)

(21)(22) Application: **2021128647, 01.10.2021**

(24) Effective date for property rights:
01.10.2021

Registration date:
26.05.2022

Priority:

(22) Date of filing: **01.10.2021**

(45) Date of publication: **26.05.2022** Bull. № 15

Mail address:
**634009, g. Tomsk, per. Derbyshevskij, 26 B, of.
6010, "PKF SISTEMA", Spivakova Larisa
Nikolaevna**

(72) Inventor(s):

**Doroshkevich Sergei Iurevich (RU),
Vorobev Maksim Sergeevich (RU),
Koval Nikolai Nikolaevich (RU),
Torba Maksim Sergeevich (RU),
Sulakshin Stepan Aleksandrovich (RU),
Levanisov Vadim Andreevich (RU),
Shugurov Vladimir Viktorovich (RU),
Shin Vladislav Igorevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
uchrezhdenie nauki Institut silnotochnoi
elektroniki Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi
akademii nauk (ISE SO RAN) (RU)**

(54) **METHOD FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRON SOURCES BASED ON ION-ELECTRON EMISSION**

(57) Abstract:

FIELD: electron beams generation.

SUBSTANCE: invention relates to the field of generation of electron beams of large cross section. A method for improving the energy efficiency of electron sources based on ion-electron emission with beam output to the atmosphere consists in using an electron source based on a non-self-sustained high-voltage glow discharge, the auxiliary glow discharge plasma is generated in a repetitively pulsed mode with a frequency of up to 100 kHz with the possibility of combustion

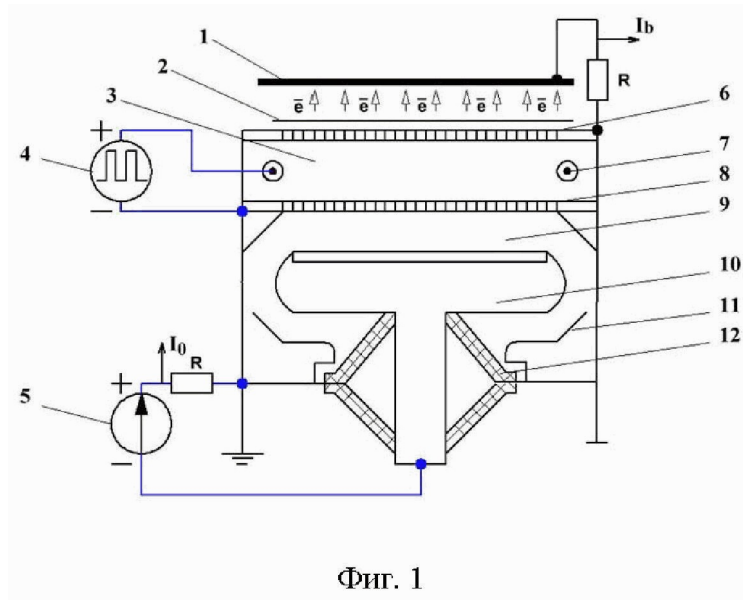
duty background low-current discharge, and the amplitude of the auxiliary discharge current is changed by changing the duty cycle of the pulses in the range of 0.1-0.9.

EFFECT: increasing the efficiency of generation and extraction of an electron beam from a vacuum into the atmosphere or a volume of high pressure by using a repetitively pulsed high-frequency auxiliary glow discharge.

2 cl, 5 dwg

RU 2 772 817 C1

RU 2 772 817 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к области генерации электронных пучков большого сечения.

Известно несколько способов генерации широкоапертурных электронных пучков, сечение которых достигает нескольких тысяч квадратных сантиметров, выведенных в атмосферу или газ высокого давления через выпускное фольговое окно. Для генерации таких пучков используются в основном три типа источников электронов, отличающиеся типом используемого катода (источники с термоэлектронной эмиссией, со взрывной эмиссией и плазменные газоразрядные источники). Относящиеся к последнему типу источники электронов на основе ионно-электронной эмиссии отличаются относительной простотой конструкции, отсутствием нагревательных элементов, высоким сроком службы, умеренными требованиями к насосной группе, возможностью управления током пучка без изменения ускоряющего напряжения. При генерации пучков электронов, используя как данный тип источников электронов, так и любые другие, отдельное внимание уделяется снижению энергетических потерь, связанных с рассеянием мощности пучка на ребрах анодной решетки и ребрах опорной решетки выпускного фольгового окна. В частности, в источниках электронов на основе ионно-электронной эмиссии в несамостоятельном высоковольтном тлеющем разряде (ВТР) имеется недостаток, связанный с зависимостью коэффициента вывода тока пучка из вакуума в атмосферу от конфигурации электродной системы, эмиссионной способности высоковольтного катода и сформированной ионно-электронной оптической системы в ячейках анодной решетки. Данный недостаток отмечен в работах [1, 2, 3], являющихся ближайшими аналогами данного изобретения. Несмотря на данный недостаток такие ускорители находят применение в генерации озона для очистки воды [4], отверждении полимерных покрытий [5], накачки газовых лазеров [6], поскольку рассчитывается и выбирается такая оптимальная электронная оптика, когда при номинальном токе пучка коэффициент вывода тока пучка в атмосферу максимален.

Ближайшим прототипом заявленного изобретения является источник электронов на основе несамостоятельного высоковольтного тлеющего разряда, приведенный в работе [7]. Рассмотренный источник позволяет формировать низкоэнергетический электронный пучок сечением $30 \times 45 \text{ см}^2$ с энергией до 200 кэВ как в непрерывном, так и импульсно-периодическом режиме с частотой генерации до 100 Гц при фиксированной длительности импульса равной 30 мкс. Формирование анодной плазмы осуществляется вспомогательным разрядом с полым катодом и тонкопроволочными анодами. При энергии 140 кэВ в непрерывном режиме коэффициент вывода тока пучка составляет около 0,32 при токе вспомогательного разряда 55 мА и плотности тока пучка $\approx 40 \text{ мкА/см}^2$.

Недостатком прототипа является сильная взаимозависимость параметров генерируемого электронного пучка, что приводит к нарушению электронной оптики и росту потерь на ребрах решеток (анодной или выводной). Так при повышении тока вспомогательного разряда с 25 до 96 мА коэффициент вывода снизился с 0,37 до 0,31 соответственно при энергии 146 кэВ.

Техническим результатом заявленного изобретения является разработка энергетически более эффективного способа генерации и вывода электронного пучка из вакуума в атмосферу или объем повышенного давления путем использования импульсно-периодического высокочастотного вспомогательного тлеющего разряда.

Поставленная задача решается тем, что в заявленном способе повышения энергетической эффективности широкоапертурных (сечение пучка более 100 см^2) источников электронов на основе ионно-электронной эмиссии с выводом пучка в

атмосферу используют источник электронов на основе несамостоятельного высоковольтного тлеющего разряда (ВТР), в отличие от прототипа плазму вспомогательного тлеющего разряда генерируют в импульсно-периодическом режиме с частотой до 100 кГц с возможностью горения дежурного фонового слаботоочного разряда, а амплитуду тока вспомогательного разряда изменяют путем изменения коэффициента заполнения импульсов в диапазоне 0,1-0,9. В заявленном способе повышают коэффициент вывода тока пучка из вакуума в атмосферу или газ высокого давления при фиксированном ускоряющем напряжении в диапазоне 100-250 кВ и неизменном среднем значении тока вспомогательного тлеющего разряда в диапазоне 10-200 мА.

Указанный технический результат может быть достигнут следующим образом.

В ускорителе электронов на основе несамостоятельного ВТР анодная плазма создается вспомогательным тлеющим разрядом с частотой 10-100 кГц со стабилизацией среднего значения тока разряда, что дает возможность изменять его амплитудное значение путем изменения коэффициента заполнения импульса, а, следовательно, управлять концентрацией и положением границы эмиссионной плазмы и изменять ионно-электронную оптику системы, достигая более высоких значений коэффициента вывода тока пучка из вакуума в атмосферу или газ высокого давления. Возможность управления концентрацией эмиссионной плазмы может быть реализована в роли высокочастотной ампердобавки к дежурному тлеющему разряду постоянного тока, запитанного отдельным источником тока.

Известно [8], что величину тока разряда (дугового или тлеющего) в плазменном эмиттере можно изменять сравнительно быстро (на уровне единиц-десятков микросекунд). Это позволяет также быстро изменять параметры эмиссионной плазмы, а в частности, ее концентрацию. Это позволяет генерировать импульсы тока тлеющего разряда амплитудой до единиц ампер при частоте следования импульсов до 100 кГц и сохранении среднего значения тока разряда путем регулировки коэффициента заполнения импульсов.

Пример использования заявленного способа приведен ниже.

Коэффициент вывода электронного пучка определяется через отношение тока пучка, выведенного в атмосферу, к току в ускоряющем промежутке $K=I_b/I_0$ (фиг. 1). На фиг. 1 приведена структурная схема используемого ускорителя электронов на основе несамостоятельного ВТР (1 - коллектор; 2 - выводная фольга; 3 - область вспомогательного разряда; 4 - источник вспомогательного разряда; 5 - источник высокого напряжения; 6 - опорная решетка; 7 - тонкопроволочный анод; 8 - анодная решетка; 9 - область несамостоятельного ВТР; 10 - высоковольтный катод; 11 - экран; 12 - изолятор).

На фиг. 2 приведена характерная осциллограмма токов в непрерывном режиме (СН1 - ток в ускоряющем промежутке I_0 (10 мА/дел), СН3 - ток вспомогательного разряда I_d (40 мА/дел), СН4 - ток пучка I_b (5 мА/дел) в непрерывном режиме (50, 70, 80, 100, 120, 140, 150 кВ), а на фиг. 3 - зависимость коэффициента вывода от ускоряющего напряжения в непрерывном режиме ($p(He) = 0,9$ Па).

В исследованной области токов 30-80 мА коэффициент вывода не зависит от величины амплитуды тока и составляет менее 0,25 при ускоряющем напряжении 140 кВ, что позволяет говорить о слабом изменении конфигурации ионно-электронной оптической системы и низкой эффективности вывода пучка в атмосферу. Верхнее ограничение по току в 80 мА обусловлено нестабильной работой ускорителя в области токов более

100 мА при непрерывном режиме генерации, что затрудняет выход на рабочий режим с напряжением 150 кВ.

Примененный импульсно-периодический режим генерации вспомогательного разряда, показанный на фиг. 4 ($I_d = 30$ мА, $f = 10$ кГц, $D = 20\%$, $p(\text{He}) = 0,75$ Па; СН1 - ток в ускоряющем промежутке I_d (10 мА/дел), СН3 - ток вспомогательного разряда I_d (50 мА/дел), СН4 - ток пучка I_b (5 мА/дел)), позволяет осуществлять более гибкую регулировку параметров разряда. Регулировка коэффициентом заполнения импульсов D позволяет как изменять длительность импульса, так и амплитудное значение при стабилизации среднего тока разряда. На фиг. 5 приведена зависимость коэффициента вывода тока пучка из вакуума в атмосферу от ускоряющего напряжения при разных D ($p(\text{He}) = 0,75$ Па, $I_d = 30$ мА, $f = 10$ кГц). Так, при $D = 20\%$ мгновенное значение коэффициента вывода превысило значение $K = 0,5$ при ускоряющем напряжении 150 кВ.

Для сравнения энергетической эффективности непрерывного и частотного импульсно-периодического режима был проведен эксперимент с использованием водоохлаждаемого калориметра, принцип действия которого основан на поглощении водой энергосодержания пучка и измерении разницы температур этой воды на входе (T_1) и выходе (T_2) калориметра. Выведенная мощность пучка определялась по выражению $W_1 = Cm(T_2 - T_1)$, в котором C - удельная теплоемкость воды, m - массовый расход воды, при этом температура воды на выходе калориметра фиксировалась с достижением стационарного режима (отсутствие изменения температуры). Мощность в ускоряющем промежутке определялась как $W_2 = I_0 \times U_d$ (берется среднее значение тока I_0 для частотного режима), после чего рассчитывался коэффициент вывода мощности пучка $K = W_1 / W_2$. При ускоряющем напряжении 145 кВ и токе 30 мА в непрерывном режиме коэффициент вывода мощности составил 0,15; в частотном импульсно-периодическом режиме 0,2 при $I_d = 30$ мА, $D = 50\%$, $f = 20$ кГц.

Таким образом предлагаемый способ повышения энергетической эффективности источников электронов на основе ионно-электронной эмиссии при выводе пучка в атмосферу или газ высокого давления позволяет существенно повысить мгновенное значение коэффициента вывода тока и мощности пучка, а также повысить эффективность вывода мощности без каких-либо изменений электродной системы источника электронов.

Источники информации:

- 1) Аброян М.А., Евстратов И.Ю., Косогоров С.Л., Мотовилов С.А., Сиротинкин В.В., Шапиро В.Б. Широкоапертурные ускорители электронов с высоким коэффициентом вывода пучка // ПТЭ. 1998. № 2. С. 83 - 88.
- 2) Гаврилов Н.В., Крейндель Ю.Е., Щанин П.М. Импульсный источник электронов на основе несамостоятельного высоковольтного тлеющего разряда // ПТЭ. 1984. №2. С. 143-146.
- 3) А.с. 409311 СССР, МКИ Н 01 J 9/02, 9/04. Способ изготовления источника электронов / Н.А. Успенский, В.П. Федяков. - № 1189278; заявл. 29.03.84; опубл. 07.07.89, Бюл. № 25.- 3 с.
- 4) Косогоров С.Л., Успенский Н.А., Шведюк В.Я., Васеленок А.А., Джигайло И.Д., Смирнов Г.А. Широкоапертурные низкоэнергетические ускорители электронов АО «НИИЭФА» на основе высоковольтного тлеющего разряда // Известия ВУЗов. Физика. 2020. Т. 63. № 10. С. 41-47.
- 5) Аброян М.А., Косогоров С.Л., Мотовилов С.А., Туманов И.А., Шведюк В.Я.

Разработка и исследование генератора озона на основе несамостоятельного разряда и пути повышения его эффективности // В кн. "Развитие и совершенствование способов и средств очистки и обеззараживания питьевых и сточных вод". Вологда: Полиграфист, 2003. С. 65-70.

5 6) Clark W.M., Dunning G.J. A long pulse high-current gun for e-beam sustained eximer lasres // IEEE Journal of quantum electronics. 1978. V. qe-14. №. 2. pp. 126-129.

7) Баранов Г.А., Гурашвили В.А., Джигайло И.Д., Комаров О.В., Косогоров С.Л. и др. Сравнение широкоапертурных низкоэнергетических ускорителей электронов на основе высоковольтного тлеющего разряда с ускорителями на основе протяженных термоэммиттеров // ПТЭ. 2020. № 2. С. 102-108.

10 8) Воробьев М.С., Москвин П.В., Шин В.И., Коваль Н.Н., Ашурова К.Т. и др. Динамическое управление мощностью мегаваттного электронного пучка субмиллисекундной длительности в источнике с плазменным катодом // Письма в ЖТФ. 2021. Т. 47. Вып. 10. С. 38-41.

15

(57) Формула изобретения

1. Способ повышения энергетической эффективности источников электронов на основе ионно-электронной эмиссии с выводом пучка в атмосферу, заключающийся в том, что используют источник электронов на основе несамостоятельного высоковольтного тлеющего разряда, отличающийся тем, что плазму вспомогательного тлеющего разряда генерируют в импульсно-периодическом режиме с частотой до 100 кГц с возможностью горения дежурного фонового слаботоочного разряда, а амплитуду тока вспомогательного разряда изменяют путем изменения коэффициента заполнения импульсов в диапазоне 0,1-0,9.

25 2. Способ по п.1, отличающийся тем, что повышают коэффициент вывода тока пучка из вакуума в атмосферу или газ высокого давления при фиксированном ускоряющем напряжении в диапазоне 100-250 кВ и неизменном среднем значении тока вспомогательного тлеющего разряда в диапазоне 10–200 мА.

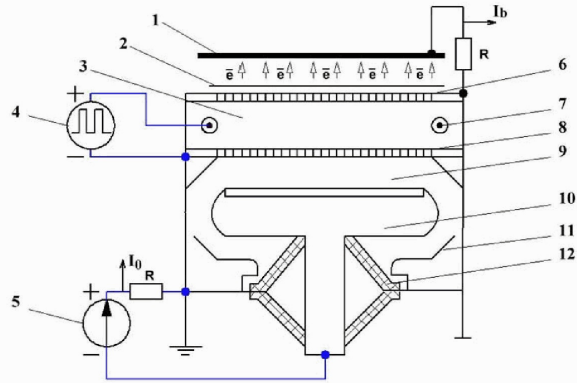
30

35

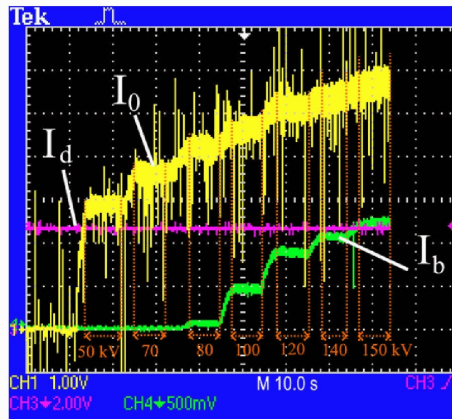
40

45

1

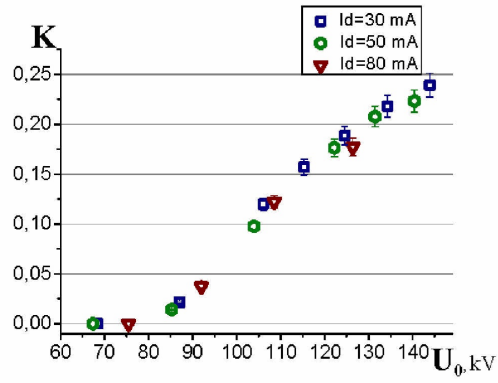


Фиг. 1

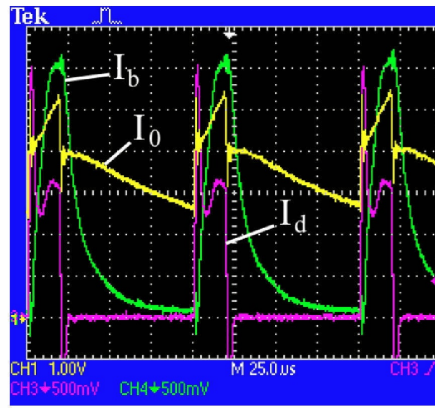


Фиг. 2

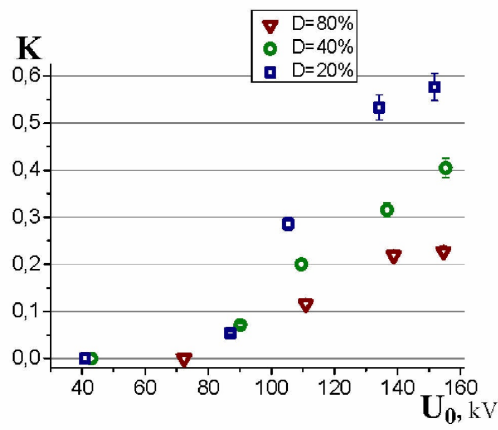
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5