



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016124258, 20.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.06.2016Дата регистрации:  
17.10.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.06.2016

(45) Опубликовано: 17.10.2017 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,  
Институт сильноточной электроники СО РАН,  
Зам. директора по НР ИСЭ СО РАН  
Турчановскому И.Ю.

(72) Автор(ы):

Тарасенко Виктор Федотович (RU),  
Соснин Эдуард Анатольевич (RU),  
Скакун Виктор Семенович (RU),  
Панарин Виктор Александрович (RU),  
Печеницын Дмитрий Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

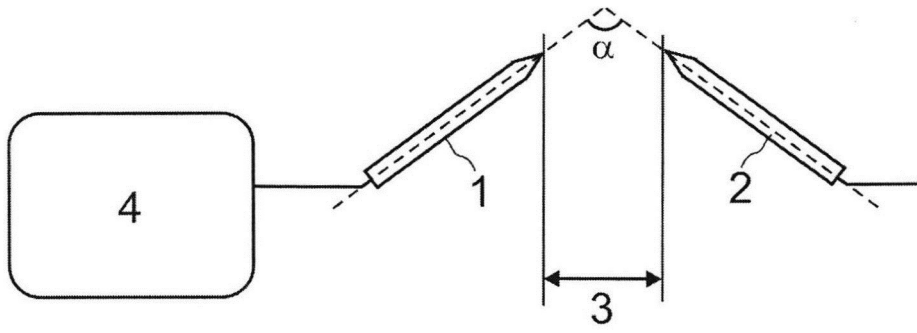
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт сильноточной  
электроники Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: CN 101252805 A, 27.08.2008. RU  
2370924 C2, 20.10.2009. WO 2015071746 A1,  
21.05.2015. CN 103260329 A, 21.08.2013.

(54) Способ получения плазменной струи и устройство для его осуществления

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к источникам излучения, в частности к лампам барьерного разряда, и может быть использована в различных областях науки и техники, где необходима подсветка коротковолновым ультрафиолетовым или вакуумным ультрафиолетовым излучением, например в фотохимии, в фотобиологии, фотоионизационных приборах. Технический результат - упрощение конструкции, получение плазменных струй атмосферного давления в воздухе без принудительной прокачки воздуха и снижение расхода газа в средах, содержащих смеси легкоионизируемых газов с электроотрицательными газами. Способ заключается в том, что зажигают искровой разряд между двумя острыми электродами, один электрод оставляют под плавающим потенциалом, причем на второй электрод подают

высоковольтные импульсы напряжения положительной полярности с фронтом нарастания  $0.1 < \tau < 10$  мкс, зажигание разряда осуществляют между электродами, установленными под углом  $0 < \alpha < 160^\circ$ , формируя плазменную струю в месте максимальной кривизны токового канала. Устройство, реализующее способ, содержит два острых электрода, образующих искровой разрядный промежуток, один электрод является свободным, высоковольтный источник питания, второй электрод, расположенный под углом  $0 < \alpha < 160^\circ$  к первому, является высоковольтным и имеет положительную полярность напряжения с фронтом нарастания  $0.1 < \tau < 10$  мкс, разрядный промежуток составляет  $5 < d < 20$  мм. 2 н. и 5 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

RU 2633705 C1

RU 2633705 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2016124258, 20.06.2016

(24) Effective date for property rights:  
20.06.2016

Registration date:  
17.10.2017

Priority:

(22) Date of filing: 20.06.2016

(45) Date of publication: 17.10.2017 Bull. № 29

Mail address:

634055, g. Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut  
silnotochnoj elektroniki SO RAN, Zam. direktora  
po NR ISE SO RAN Turchanovskomu I.YU.

(72) Inventor(s):

Tarasenko Viktor Fedotovich (RU),  
Sosnin Eduard Anatolevich (RU),  
Skakun Viktor Semenovich (RU),  
Panarin Viktor Aleksandrovich (RU),  
Pechenitsyn Dmitrij Sergeevich (RU)

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD OF PRODUCING PLASMA JET AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

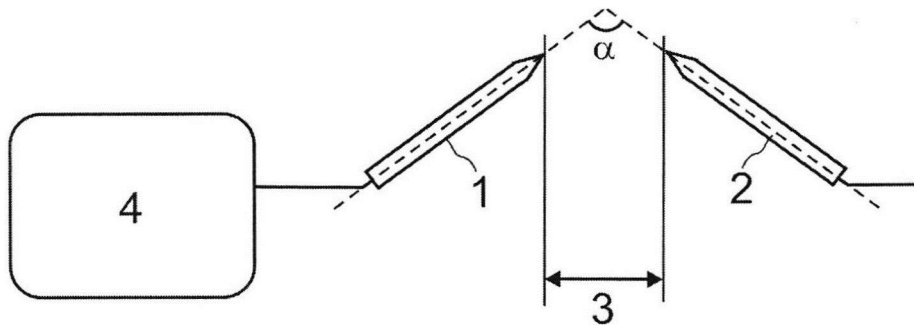
FIELD: physics.

SUBSTANCE: spark discharge between two tip electrodes is ignited, one electrode is left under a floating potential, wherein high voltage pulses of a positive polarity voltage with a rising edge of  $0.1 < \tau < 10$  mcs are fed to the second electrode, ignition of the discharge is carried out between the electrodes installed at an angle of  $0 < \alpha < 160^\circ$ , forming a plasma jet at the point of maximum curvature of the current channel. The device implementing the method comprises two tip electrodes forming a spark discharge gap, one

electrode is free, a high voltage power source, the second electrode located at an angle of  $0 < \alpha < 160^\circ$  to the first one, is high-voltage and has a positive voltage polarity with a rise front of  $0.1 < \tau < 10$  mcs, the discharge gap is  $5 < d < 20$  mm.

EFFECT: simplifying the design, obtaining plasma jets of atmospheric pressure in air without forced air pumping and reducing the gas flow in media containing mixtures of readily ionizable gases with electronegative gases.

7 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 633 705 C1

RU 2 633 705 C1

Предлагаемые способ и устройство относятся к плазменной технике, в частности к источникам получения и управления потоком плазмы атмосферного давления, и могут быть использованы для получения локализованных зон плазменной обработки в процессах очистки поверхностей, свертывания крови, биологического обеззараживания материалов.

Известные способы и устройства для получения плазменных струй атмосферного давления (ПСАД) основаны на использовании тлеющего, дугового, радиочастотного, барьерного разрядов [1] и т.д. За счет создания в зоне разряда избыточного давления, превышающего атмосферное, образуемая в разряде плазма поступает через сопло (круглое или щелевое по сечению), или несколько отверстий, или межэлектродный промежуток, формируя плазменную струю.

Известны способ и устройство, в котором формирование плазменной струи происходит путем пропускания воздуха со скоростью 30-70 м/с через зону стационарного тлеющего разряда, образованную пластинчатыми анодами и штыревыми катодами [3]. Техническое решение позволяет использовать для формирования ПСАД дешевый и доступный воздух, но требует большого расхода газа.

Известны способ и устройство, в котором в газовом промежутке между цилиндрической полостью (полый катод) и помещенным в нее соосно цилиндрическим электродом зажигается радиочастотный  $\gamma$ -разряд на частоте 13.56 МГц. В отличие от плазматронов, сравнительно низкой температуры плазменной струи атмосферного давления (не более 250°C) при вложенной мощности около 300 Вт удается добиться с помощью высоких скоростей потока газа [3]. В других способах и устройствах, основанных на радиочастотном возбуждении, в цилиндрической полости из диэлектрика соосно располагается игольчатый электрод, на который подается напряжение [4].

Плазма формируется на конце электрода и называется плазменной иглой («plasma needle»). В ряде устройств радиочастотное поле прикладывается к диэлектрическому капилляру, через который поступает возбуждаемый газ, посредством двух или нескольких внешних электродов, расположенных на поверхности капилляра [5]. Недостатком радиочастотного способа возбуждения плазменной струи является большой расход рабочих газов, необходимый для устойчивости плазменной струи атмосферного давления. Кроме того, радиочастотные источники питания отличаются сложностью, требуют дополнительных мер защиты при эксплуатации.

В известном способе и устройстве для формирования плазмы используют разряд между круглыми электродами с центральными отверстиями для прохождения газа с размещенным между ними диэлектрическим диском (или несколькими дисками), так же имеющим центральное отверстие [6, 7]. Достоинством таких источников является их простота (в т.ч. в питании) и низкая температура плазмы, что важно для целого ряда приложений. Плазменная струя формируется как при сравнительно низких расходах газа, так и частотах напряжения. Недостатком является сравнительно низкий срок службы и ограничение на плотность вводимой в плазму мощности, что связано с эрозией краев отверстий в металлических электродах.

Известны устройства, включающие цилиндрическую, трубку из диэлектрического материала, через которую пропускается возбуждаемый газ. На внешней поверхности трубки на расстоянии друг от друга расположена пара электродов. Заземленный электрод располагается на выходе трубки, т.е. у сопла. Электроды подключены к импульсному высокочастотному источнику питания [8]. Часто высоковольтный электрод выполнен в форме стержня с заостренным концом и расположен внутри цилиндрической трубки, соосно ей [9]. Достоинством таких устройств является их конструктивная

простота. Для получения плазменных струй длиной от долей до нескольких сантиметров здесь применяют импульсы напряжения положительной и отрицательной полярности, длительностью порядка 0.1-1 мкс, амплитудой до 30 кВ, частотой следования - десятки кГц и скоростями прокачки газов от единиц до десятков л/мин. Недостатком данных устройств является сложность или невозможность формирования протяженных плазменных струй атмосферного давления в смесях инертных газов He, Ar с электроотрицательным молекулярным газом, а также в воздухе или азоте. В этих газовых средах формируется наибольшее количество химически активных частиц, но при наличии воздуха, азота или электроотрицательного газа качество разряда падает, и для его сохранения требуется увеличивать расход газа (>10 л/мин) и напряжение (>20 кВ). Это удорожает эксплуатацию и повышает требования к электробезопасности установки. Но в ряде случаев даже это не позволяет сформировать плазменную струю.

Из известных способов и устройств для получения плазменной струи атмосферного давления наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является способ получения плазменной струи, согласно которому между двумя острыми электродами, расположенными соосно, зажигают импульсный искровой разряд, один электрод находится под плавающим потенциалом, а на второй действуют высоковольтным синусоидальным напряжением, электроды впаяны в стенку диэлектрической трубки, через трубку прокачивают аргон. Благодаря этому аргонная плазма принудительно выдувается из диэлектрической трубки, образуя плазменную струю на ее выходе [12]. Способ реализован в устройстве, в котором электроды помещены в кварцевую трубку внутренним диаметром 5.5 мм, а расстояние между электродами составляет 2.5 мм. Один электрод является плавающим, а на второй подается синусоидальное напряжение с частотой 48 кГц. Плазменная струю формировалась лишь в диапазоне напряжений от 3.8 до 5.4 кВ. В противном случае струя либо не выдувалась из трубки, либо замыкалась на обратный конец трубки, откуда нагнетался аргон.

Достоинством способа является простота получения аргонной ПСАД. Недостатками является необходимость нагнетания рабочего газа, повышенный расход газа (несколько литров в минуту) и невозможность получения струи в воздухе и азоте.

Таким образом, среди существующих способов и устройств для получения плазменных струй атмосферного давления трудно одновременно обеспечивать формирование протяженной плазменной струи в средах, содержащих воздух, азот или электроотрицательный газ, и сохранять простоту конструкции и применяемого источника питания.

Технической задачей предлагаемой группы изобретений является упрощение конструкции, получение плазменных струй атмосферного давления в воздухе без принудительной прокачки воздуха и снижение расхода газа в средах, содержащих смеси легкоионизируемых газов с электроотрицательными газами.

Для решения поставленной задачи предлагаются способ получения плазменной струи в воздухе атмосферного давления и устройство для его осуществления.

Указанная задача при осуществлении группы изобретений по объекту-способу достигается тем, что в известном способе получения плазменной струи зажигают искровой разряд между двумя острыми электродами, один электрод оставляют под плавающим потенциалом, согласно изобретению на второй электрод подают высоковольтные импульсы напряжения положительной полярности с фронтом нарастания  $0.1 < \tau < 10$  мкс, зажигание разряда осуществляют между электродами, установленными под углом  $0 < \alpha < 160^\circ$ , формируя плазменную струю в месте

максимальной кривизны токового канала.

Предлагаемый способ может быть реализован устройством, содержащим два острых электрода, образующих искровой разрядный промежуток, один электрод является свободным, высоковольтный источник питания, согласно изобретению второй электрод, расположенный под углом  $0 < \alpha < 160^\circ$  к первому, является высоковольтным и имеет положительную полярность напряжения с фронтом нарастания  $0.1 < \tau < 10$  мкс, разрядный промежуток составляет  $5 < d < 20$  мм.

Кроме того, особенность устройства заключается в том, что свободный электрод выполнен в форме плоскости, шара или эллипсоида.

Кроме того, особенность устройства заключается в том, что свободный электрод выполнен из пористой металлокерамики.

Кроме того, особенность устройства заключается в том, что электроды помещены в изогнутую диэлектрическую трубку, имеющую отверстие в вершине, служащее для вывода плазменной струи.

Кроме того, особенность устройства заключается в том, что для получения плазменной струи дополнительно используют азот, гелий, аргон или их смеси между собой, включая добавки кислорода, углеводородов, легкоионизируемых молекулярных газов.

Кроме того, особенность устройства заключается в том, что конец диэлектрической трубки, в котором расположен свободный электрод, является закрытым, а второй конец диэлектрической трубки служит для подачи газа.

На фиг. 1 приведена схема предлагаемого устройства, которое содержит острые электроды 1 и 2, расположенные под углом  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 160^\circ$ ) и образующие разрядный промежуток 3 величиной  $5 < d < 20$  мм. Электрод 1 подключен к источнику питания 4, а электрод 2 является свободным (находится под плавающим потенциалом).

Предлагаемый способ получения плазменной струи реализуется в устройстве следующим образом. Электроды 1 и 2 устанавливаются под углом  $\alpha$ , на электрод 1 подают импульсы напряжения положительной полярности с фронтом  $\tau$ , электрод 2 оставляют под плавающим потенциалом, в результате зажигают искровой разряд в разрядном промежутке 3 величиной  $d$ . За 2-3 секунды канал разряда быстро разогревается, и вокруг него формируется рассеянное свечение, что связано с конвективным вытеснением разогретых газов из токового канала. Почти сразу разрядный канал начинает изгибаться, и в месте максимального изгиба прорастает одна или несколько светящихся плазменных струй, форма которых может быть игловидной, а может быть конической.

На фиг. 2 изображен результат формирования плазменной струи атмосферного давления на воздухе в этом устройстве. Здесь 1 и 2 - электроды, 3 - межэлектродный промежуток, в котором зажигается искровой разряд, 4 - плазменная струя, формируемая от места максимального изгиба разрядного канала.

По сравнению с прототипом формирование плазменной струи атмосферного давления происходит непосредственно в воздухе: разрядный канал сам является «насосом» для формирования плазменной струи, т.е. принудительная прокачка газа через разрядный промежуток не нужна. Это упрощает конструкцию устройства.

Расположение электродов под углом  $0 < \alpha < 160^\circ$ , облегчает образование изгиба разрядного канала и соответственно формирование плазменной струи, а именно, ускоряет формирование струи и увеличивает ее стабильность. Если разрядный промежуток  $d < 5$  мм, то разрядный канал не изгибается либо изгибается недостаточно, чтобы на месте изгиба сформировать плазменную струю. При  $d > 20$  мм разрядный канал неустойчив (соответственно неустойчива и плазменная струя) либо имеет

несколько перегибов, что приводит к формированию на местах перегибов нескольких плазменных струй случайной ориентации, линейные размеры, интенсивность излучения и стабильность которых в несколько раз ниже, чем при  $5 < d < 20$  мм.

Условие, определяющее величину разрядного промежутка  $d$ , и условие, налагаемое на фронт нарастания импульса напряжения  $\tau$ , являются взаимосвязанными. Они определяют концентрацию возбужденных молекул, достаточную для формирования устойчивой плазменной струи. При  $\tau > 10$  мкс их концентрация в разрядном канале мала настолько, что процесс их девозбуждения происходит быстрее, чем процесс их вытеснения в область плазменной струи. При  $\tau < 0.1$  мкс происходит контракция разрядного канала, поэтому место перегиба не образуется. Соответственно в обоих случаях струя не формируется.

При помещении электродов в изогнутую диэлектрическую трубку 5, имеющую отверстие в вершине 6 (фиг. 3), служащее для вывода плазменной струи, положение плазменной струи в пространстве стабилизируется.

Если конец диэлектрической трубки, в котором расположен свободный электрод, сделать закрытым, а второй конец диэлектрической трубки использовать для подачи газа, то устройство позволяет формировать плазменные струи в газовых средах, содержащих смеси легкоионизируемых газов с электроотрицательными газами, расход не превысит литра в минуту, т.е. снизит расход газа по сравнению с прототипом и аналогами.

Таким образом, применение предлагаемого способа и устройства для его реализации позволяет упростить конструкцию, получать плазменные струи атмосферного давления в воздухе без принудительной прокачки воздуха и снижать расхода газа в средах, содержащих смеси легкоионизируемых газов с электроотрицательными газами.

Источники информации

1. Schutze A., Jeong J.Y., Babayan S.E., Park J., Selwyn G.S., Hicks R.F. The atmospheric-pressure plasma jet: a review and comparison to other plasma sources // IEEE Trans. Plasma Sci. 1998. Vol. 26, No. 6. P. 1685-1694.

2. Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Трушкин Н.И. Патент RU 2370924. Приоритетная дата: 26.10.2007. Оpubл. 20.10.2009. Бюл. №25.

3. Selwyn G.S. Patent US 5961772. Priority data: 23.01.1997. Published: 05.10.1997.

4. Kieft I.E., v d Laan E.P., Stoffels E. Electrical and optical characterization of the plasma needle // New J Phys. 2004. Vol. 6. 149. 14 p.

5. Patelli A., Verga F.E., Scopece P., Pierobon R., Vezzu S. Patent WO 2015071746. Priority data: 14.11.2014. Published: 21.05.2015.

6. Mohamed A.-A.H., Kolb J.F., Schoenbach K.H. US 20060028145. Priority data: 31.05.2005. Published: 09.02.2006.

7. Hong Y.Ch., Uhm H.S. Microplasma jet at atmospheric pressure // Appl. Phys. Lett. 2006. Vol. 89. 221504. 4 p.

8. Uchida G., Takenaka K., Setsuhara Y. Effects of discharge voltage waveform on the discharge characteristics in a helium atmospheric plasma jet // J. Appl. Phys. 2015. Vol. 117. 153301. 6 p.

9. Ayan H., Yildirim E.D., Pappas D.D., Sun W. Development of a cold atmospheric pressure microplasma jet for freeform cell printing // Appl. Phys. Lett. 2011. Vol. 99. 111502. 3 p.

10. Nie 1 Q.-Y., Ren Ch.-Sh., Wang De-Zh. and Zhang J.-L. A simple cold Ar plasma jet generated with a floating electrode at atmospheric pressure // Appl. Phys. Lett. 2008. Vol. 93, 011503. 3 p.

(57) Формула изобретения

1. Способ получения плазменной струи в воздухе атмосферного давления, заключающийся в том, что зажигают искровой разряд между двумя остриями электродами, один электрод оставляют под плавающим потенциалом, отличающийся тем, что на второй электрод подают высоковольтные импульсы напряжения  
5 положительной полярности с фронтом нарастания  $0.1 < \tau < 10$  мкс, зажигание разряда осуществляют между электродами, установленными под углом  $0 < \alpha < 160^\circ$ , формируя плазменную струю в месте максимальной кривизны токового канала.

2. Устройство для получения плазменной струи воздуха атмосферного давления, содержащее два остриевых электрода, образующих искровой разрядный промежуток,  
10 один электрод является свободным, высоковольтный источник питания, отличающееся тем, что второй электрод, расположенный под углом  $0 < \alpha < 160^\circ$  к первому, является высоковольтным и имеет положительную полярность напряжения с фронтом нарастания  $0.1 < \tau < 10$  мкс, разрядный промежуток составляет  $5 < d < 20$  мм.

3. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что свободный электрод выполнен в форме  
15 плоскости, шара или эллипсоида.

4. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что свободный электрод выполнен из пористой металлокерамики.

5. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что электроды размещены в изогнутой  
20 диэлектрической трубке, имеющей отверстие в вершине, служащее для вывода плазменной струи.

6. Устройство по п. 5, отличающееся тем, что для получения плазменной струи дополнительно используют азот, гелий, аргон или их смеси между собой, включая добавки кислорода, углеводородов, легкоионизируемых молекулярных газов.

7. Устройство по п. 6, отличающееся тем, конец диэлектрической трубки, в котором  
25 расположен свободный электрод, является закрытым, а второй конец диэлектрической трубки служит для подачи газа.

30

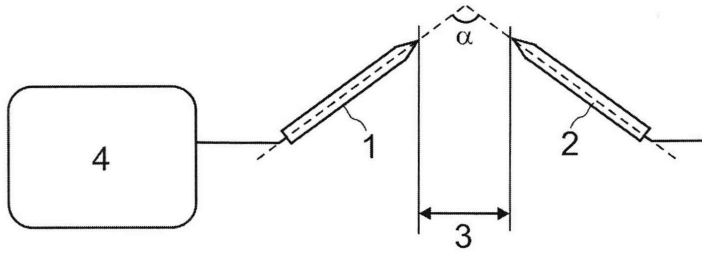
35

40

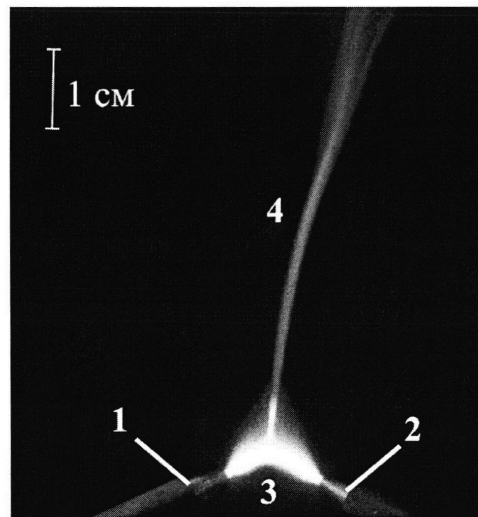
45



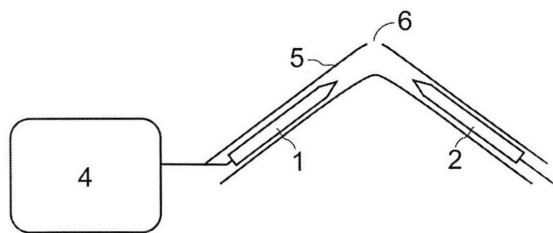
Способ получения плазменной струи и устройство для его осуществления



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.