



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H05H 1/24 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021115632, 31.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.05.2021

Дата регистрации:
13.01.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.05.2021

(45) Опубликовано: 13.01.2022 Бюл. № 2

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):

Скакун Виктор Семенович (RU),
Панарин Виктор Александрович (RU),
Сорокин Дмитрий Алексеевич (RU),
Соснин Эдуард Анатольевич (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 2633705 C1, 17.10.2017. RU
2370924 C2, 20.10.2009. RU 2638569 C1,
14.12.2017. WO 2007031250 A1, 22.03.2007. WO
2015071746 A1, 21.05.2015.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ

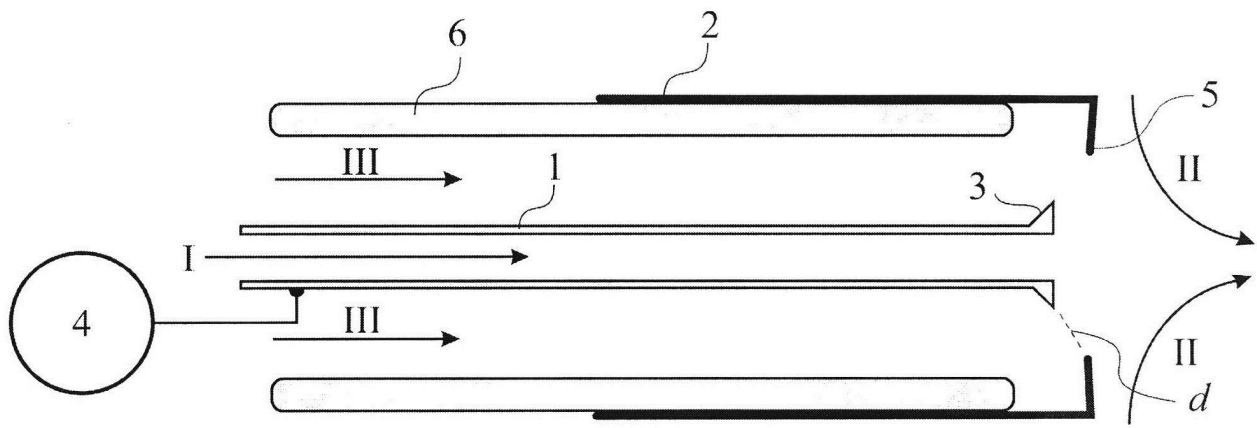
(57) Реферат:

Изобретение относится к газоразрядной плазменной технике и технологии, в частности к источникам плазменных струй атмосферного давления, где исходным газом воздух или его смеси с другими газами. Технический результат - увеличение зоны плазменной обработки, повышение устойчивости плазменной струи к резким колебаниям воздуха в окружающей среде и обеспечение произвольной ориентации плазменных струй. Устройство включает высоковольтный источник питания, разрядный промежуток образован соосно расположенными внутренним высоковольтным полым

цилиндрическим электродом 1 с заостренной внешней кромкой 3, обращенной к разрядному промежутку d, и свободными электродами в количестве не менее двух, размещенными на внешней поверхности диэлектрического вкладыша 6 в форме пластин 2 с остриями 5, обращенными к разрядному промежутку d, и распределенными на равных расстояниях друг от друга, не превышающих межэлектродное расстояние. Полый высоковольтный электрод 1 является соплом для подачи воздуха с расходом до 1,5 л/мин. 2 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 764 165 C1

RU 2 764 165 C1



Фиг. 1

RU 2764165 C1

RU 2764165 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01H 1/24 (2006.01)
B23K 10/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H05H 1/24 (2021.08)

(21)(22) Application: **2021115632, 31.05.2021**

(24) Effective date for property rights:
31.05.2021

Registration date:
13.01.2022

Priority:

(22) Date of filing: **31.05.2021**

(45) Date of publication: **13.01.2022 Bull. № 2**

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):

**Skakun Viktor Semenovich (RU),
Panarin Viktor Aleksandrovich (RU),
Sorokin Dmitrij Alekseevich (RU),
Sosnin Eduard Anatolevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **DEVICE FOR OBTAINING A PLASMA JET**

(57) Abstract:

FIELD: gas-discharge plasma technology.

SUBSTANCE: invention relates to gas-discharge plasma technology and technology, in particular to sources of plasma jets of atmospheric pressure, where the source gas is air or its mixture with other gases. The device includes a high-voltage power source, the discharge gap is formed by coaxially located inner high-voltage hollow cylindrical electrode 1 with a sharpened outer edge 3 facing the discharge gap d, and free electrodes in an amount of at least two placed on the outer surface of the dielectric insert 6 in the form of

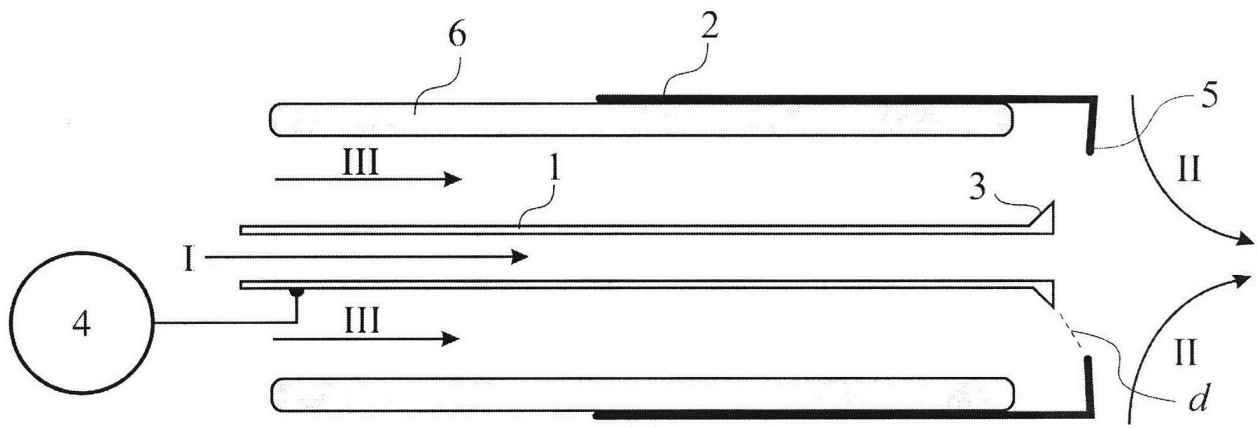
plates 2 with tips 5, facing the discharge gap d, and distributed at equal distances from each other, not exceeding the interelectrode distance. The high-voltage hollow electrode 1 is a nozzle for supplying air with a flow rate of up to 1.5 l/min.

EFFECT: increasing the plasma treatment zone, increasing the stability of the plasma jet to sharp fluctuations in the air in the environment and ensuring the arbitrary orientation of the plasma jets.

3 cl, 4 dwg

RU 2 764 165 C1

RU 2 764 165 C1



Фиг. 1

RU 2764165 C1

RU 2764165 C1

Предлагаемое устройство относится к плазменной технике, в частности к источникам получения и управления потоком плазмы атмосферного давления, исходным газом для которой служит воздух или его смеси с другими газами. Устройство может быть использовано для получения зон плазменной обработки в процессах очистки и модификации поверхностей, свертывания крови, биологического обеззараживания материалов, плазмохимического синтеза веществ.

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 т.н. плазменную струю. В частности, в устройствах, основанных на радиочастотном возбуждении, в цилиндрической полости из диэлектрика соосно располагают игольчатый электрод, на который подается напряжение [2]. Здесь 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 [3]. Недостатком указанных устройств 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.

Известно 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 [4]. Техническое решение позволяет использовать для формирования ПСАД дешевый и доступный воздух, но требует большого расхода газа.

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 [5]. Часто высоковольтный электрод выполнен в форме стержня с заостренным концом и расположен внутри цилиндрической трубки, соосно ей [6]. 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. А в ряде случаев даже это не позволяет сформировать плазменную струю.

Из известных устройств для получения плазменной струи атмосферного давления наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является

способ и устройство для получения плазменной струи, которое содержит два острых электродов, образующих разрядный промежуток величиной от 5 до 20 мм, один электрод является свободным, высоковольтный источник питания, характеризующееся тем, что электроды расположены под углом $0 < \alpha < 160^\circ$, второй электрод является

5 высоковольтным и имеет положительную полярность напряжения с указанным фронтом нарастания $0.1 < \tau < 10$ мкс [7].

Достоинством способа является простота конструкции и возможность получения плазменной струи атмосферного давления, исходным газом для которой служит воздух или его смеси с другими газами. Устройство имеет несколько недостатков. Высокая

10 температура конца плазменной струи (около 100°C) не позволяет подвергать плазменной обработке биологические и синтетические материалы, чувствительные к перегреву. Одиночная плазменная струя имеет ограниченную зону плазменной обработки, что неудобно при обработке протяженных объектов. Чувствительность разряда к резким колебаниям воздуха в окружающей среде может вызвать неустойчивость горения

15 разряда вплоть до его потухания. Кроме того, ориентация плазменной струи должна быть близка к вертикальной, с распространением снизу-вверх, что также ограничивает область применения устройства.

Таким образом, среди существующих устройств для получения плазменных струй атмосферного давления трудно одновременно обеспечивать формирование протяженной

20 плазменной струи в средах, содержащих воздух, азот или электроотрицательный газ, и одновременно сохранять простоту конструкции и применяемого источника питания, либо умеренную температуру плазменной струи и устойчивость разряда.

Техническим результатом изобретения является снижение температуры протяженной плазменной струи в воздухе или в средах, содержащих смеси легкоионизируемых газов с

25 электроотрицательными газами, увеличение зоны плазменной обработки, обеспечение устойчивости плазменной струи к резким колебаниям воздуха в окружающей среде, обеспечение произвольной ориентации плазменных струй.

Указанный технический результат достигается тем, что в известном устройстве, содержащем высоковольтный источник питания, острые электроды, образующие

30 разрядный промежуток от 5 до 20 мм, один электрод является высоковольтным и имеет положительную полярность напряжения с фронтом нарастания от 0.1 до 10 мкс, другой электрод является свободным, согласно изобретению, разрядный промежуток образован соосно-расположенными внутренним высоковольтным полым цилиндрическим

35 электродом с заостренной внешней кромкой, обращенной к разрядному промежутку, и свободными электродами в количестве не менее двух, размещенными на внешней поверхности диэлектрического вкладыша в форме пластин с остриями, обращенными к разрядному промежутку, и распределенными на равных расстояниях друг от друга, не превышающих межэлектродное расстояние, при этом полый высоковольтный электрод является соплом для подачи воздуха с расходом до 1.5 л/мин.

40 Кроме того, особенность устройства заключается в том, что проток воздуха в межэлектродном промежутке осуществляется через промежуток между диэлектрическим вкладышем и высоковольтным электродом с расходом до 1.5 л/мин.

Кроме того, особенность устройства заключается в том, что в промежуток между диэлектрическим цилиндром и высоковольтным электродом подается азот, гелий, аргон

45 или их смеси между собой, включая добавки кислорода, углеводородов, легкоионизируемых молекулярных газов.

На фиг. 1 и 2 приведена схема предлагаемого устройства - продольное и поперечное сечение, соответственно. Оно содержит острые электроды 1 и 2, образующие

разрядный промежуток величиной d . Высоковольтный полый цилиндрический электрод 1 с заостренной внешней кромкой 3 подключен к высоковольтному источнику питания 4. Свободные электроды 2 в количестве не менее двух имеют форму пластин с остриями 5, обращенными к разрядному промежутку. Они размещены на поверхности диэлектрического вкладыша 6 на одинаковых расстояниях друг от друга x , причем $x > d$. Внутренний высоковольтный полый цилиндрический электрод 1 размещен соосно свободным электродам 2.

Устройство работает следующим образом. Полый высоковольтный электрод 1 одновременно является соплом для подачи воздуха с расходом до 1.5 л/мин. На электрод 1 от высоковольтного источника питания 4 подают импульсы напряжения положительной полярности с фронтом от 0.1 до 10 мкс, электрод 2 оставляют под плавающим потенциалом, либо через емкость соединяют с землей (этот вариант на фиг. 1 не показан). В результате в разрядном промежутке между заостренной кромкой 3 электрода 1 и остриями 5 электродов 2 зажигаются искровые разряды. За 1-3 секунды каналы разряда разогреваются, изгибаются и в месте изгибов формируются светящиеся плазменные струи, форма которых может быть игловидной, а может быть конической. Количество струй зависит от числа свободных электродов 5.

На фиг. 3 изображен результат формирования плазменных струй атмосферного давления на воздухе в устройстве, имеющем три свободных электрода, что отвечает поперечному сечению устройства, показанному на Фиг. 2.

Количество плазменных струй определяется числом свободных электродов. На фиг. 4 показан вариант исполнения с четырьмя свободными электродами.

По сравнению с прототипом устройство с описанным конструктивным исполнением обеспечивает формирование нескольких плазменных струй одновременно, что увеличивает зону плазменной обработки. Количество плазменных струй ограничивается условием $x > d$ при котором реализуется электрический пробой межэлектродного промежутка d .

Непосредственное введение в область формирования плазменных струй холодного воздуха (стрелка I на фиг. 1) через полый электрод 1, обеспечивает сразу несколько технических результатов.

Во-первых, происходит снижение температуры на концах плазменных струй в воздухе или в средах, содержащих смеси легкоионизируемых газов с электроотрицательными газами. Снижение температуры усиливается за счет холодного воздуха, вовлекаемого в зону формирования плазмы окружающего воздуха (стрелки II на фиг. 1). Это обеспечивает суммарное снижение температуры воздуха на концах плазменных струй на 25-40%.

Во-вторых, продувка воздуха через электрод 1 увеличивает устойчивость плазменных струй к резким колебаниям воздуха в окружающей среде: они не гаснут даже при форсированном внешнем обдуве устройства.

В-третьих, ориентация плазменных струй может быть любой (вертикальной и горизонтальной, включая переворот на 180 градусов) (см., например, фиг. 3).

Увеличение скорости продувки воздуха через полый электрод 1 приводит к снижению температуры концов плазменных струй лишь до определенного предела.

Экспериментально доказано, что при потребляемой мощности высоковольтного источника питания 30 Вт, разрядном промежутке 6 мм, в конфигурации электродов, показанной на фиг. 2, включение продувки и последующее увеличение ее скорости до 1.5 л/мин снижает температуру на 25%, что делает устройство применимым для плазменной обработки легкоплавких веществ. Последующее увеличение скорости

продувки не дает снижения температуры концов плазменных струй, поэтому дальнейшее увеличение расхода нецелесообразно, оно ведет к необоснованному расходу газа. Дополнительную стабилизацию также обеспечивает проток воздуха с расходом до 1.5 л/мин в промежуток между диэлектрическим вкладышем 3 и высоковольтным электродом 1 (стрелки III на фиг. 1). Подача в указанный промежуток азота, гелия, аргона или их смесей, включая добавки кислорода, углеводородов, легкоионизируемых молекулярных газов также позволяет расширить область применения устройства за счет расширения состава формируемой плазмы атмосферного давления.

Таким образом, предлагаемое устройство расширяет условия применения устройства для плазменной обработки, обеспечивая увеличение зоны плазменной обработки, устойчивость плазменной струи к резким колебаниям воздуха в окружающей среде, произвольную ориентацию плазменных струй в пространстве, а также снижение температуры плазменных струй расширяет ассортимент легкоплавких веществ, подвергаемых обработке.

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. 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.

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

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

5. 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.

6. 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.

7. Соснин Э.А., Панарин В.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Печеницин Д.С. Патент RU №2633705. Приоритетная дата 20.06.2016. Оpubл. 17.10.2017. Бюл. №29.

(57) Формула изобретения

1. Устройство для получения плазменной струи воздуха атмосферного давления, содержащее высоковольтный источник питания, острийные электроды, образующие разрядный промежуток от 5 до 20 мм, один электрод является высоковольтным и имеет положительную полярность напряжения с фронтом нарастания от 0,1 до 10 мкс, другой электрод является свободным, отличающееся тем, что разрядный промежуток образован соосно расположенными внутренним высоковольтным полым цилиндрическим электродом с заостренной внешней кромкой, обращенной к разрядному промежутку, и свободными электродами в количестве не менее двух, размещенными на внешней поверхности диэлектрического вкладыша в форме пластин с остриями, обращенными к разрядному промежутку, и распределенными на равных расстояниях друг от друга, не превышающих межэлектродное расстояние, при этом полый высоковольтный электрод является соплом для подачи воздуха с расходом до 1,5 л/мин.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что проток воздуха в межэлектродном промежутке осуществляется через промежуток между диэлектрическим вкладышем и высоковольтным электродом с расходом до 1,5 л/мин.

3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что в промежуток между диэлектрическим

цилиндром и высоковольтным электродом подается азот, гелий, аргон или их смеси между собой, включая добавки кислорода, углеводородов, легкоионизируемых молекулярных газов.

5

10

15

20

25

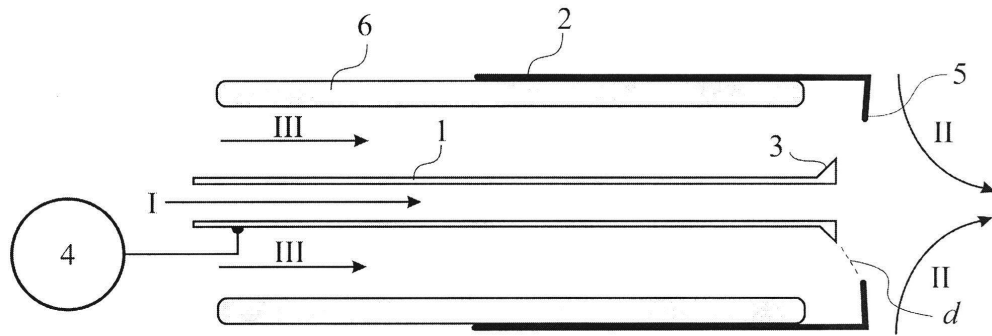
30

35

40

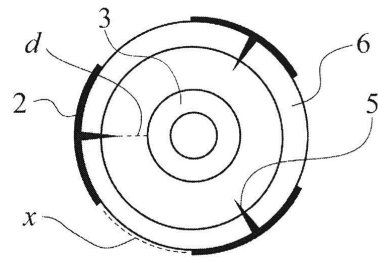
45

1

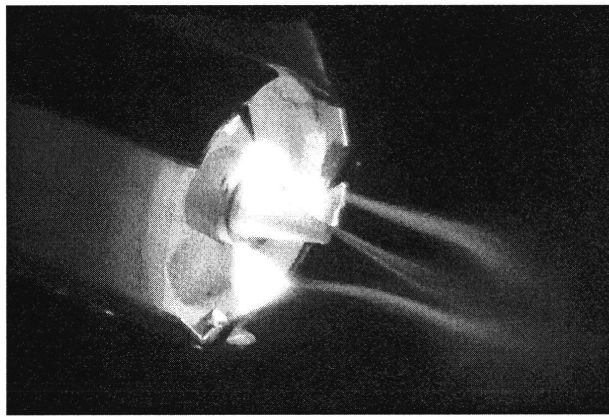


Фиг. 1

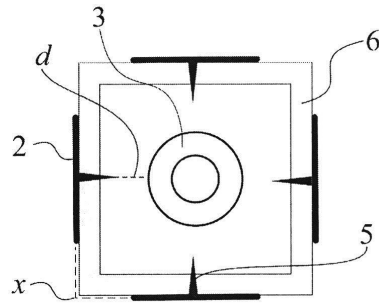
2



Фиг. 2.



Фиг. 3



Фиг. 4