

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037157**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.02.12

(51) Int. Cl. **H05H 1/24** (2006.01)
C01B 21/20 (2006.01)

(21) Номер заявки
201900234

(22) Дата подачи заявки
2019.05.17

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА**

(43) **2020.11.30**

(56) BY-C1-22302
US-A1-20190135633
US-A-4287040
RU-C2-2397948
RU-C2-2333619
GB-A-2344212

(96) **2019/EA/0053 (BY) 2019.05.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ "ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ"
БЕЛОРУССКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА (BY)**

(72) Изобретатель:
**Мартынюк Виктор Иванович,
Зеленин Виктор Алексеевич, Сенько
Сергей Федорович, Быченко Дмитрий
Сергеевич, Савицкий Александр
Александрович, Любимов Александр
Геннадьевич (BY)**

(57) Изобретение относится к области машиностроения, в частности к газоразрядным устройствам, и может быть использовано в системах конверсии углеводородного сырья, плазмохимии, лазерной техники, модификации порошковых материалов и др. Задачей заявляемого технического решения является повышение КПД устройства за счет повышения плотности плазмы. Поставленная задача решается тем, что устройство для получения плазмы тлеющего разряда, содержащее вертикально установленную рабочую камеру, анодный узел, расположенный в ее верхней части, и катодный узел, расположенный в ее нижней части и выполненный в виде мелкоячеистой решетки со слоем электропроводного порошка на ней, систему подачи и отвода газов и систему электропитания, дополнительно содержит электромагнитную систему, охватывающую полюсами рабочую камеру так, что вектор индукции магнитного поля перпендикулярен направлению потока газа, и источник ее электропитания переменным током. Сущность заявляемого технического решения заключается в увеличении количества столкновений между частицами за счет увеличения длины их траектории. Увеличение общего количества столкновений приводит к увеличению числа результативных столкновений и обеспечивает повышение КПД.

037157
B1

037157
B1

Изобретение относится к области машиностроения, в частности к газоразрядным устройствам, и может быть использовано в системах конверсии углеводородного сырья, плазмохимии, лазерной технике, модификации порошковых материалов и др.

Известно устройство для получения плазмы при атмосферном давлении, содержащее камеру, анодный узел, катодный узел с диэлектриком и капиллярами, систему подачи газа, источник питания. Расстояние между электродами составляет не более 1 см, а плазма зажигается в каналах капилляров, выполненных из диэлектрика.

Недостатком аналога является слишком малый объем генерируемой плазмы, что накладывает существенные ограничения на область его использования. Увеличение межэлектродного расстояния требует подачи высоких напряжений для получения газового разряда и, соответственно, достаточно сложного электронного оборудования. Малый объем получаемой плазмы предопределяет чрезвычайно низкую производительность аналога, например, при конверсии углеводородов, и низкий коэффициент полезного действия (КПД) устройства.

Известно также устройство для получения плазмы тлеющего разряда при атмосферном давлении, содержащее рабочую камеру, анодный и катодный узлы, систему охлаждения катода, систему подачи и отвода газов и систему электропитания. Как следует из его описания, плазма зажигается посредством соприкосновения электродов. После зажигания плазмы электроды разводятся на требуемое расстояние, при этом потребляемая мощность устройства может достигать 5 кВт.

Недостатком рассматриваемого аналога также является его низкий КПД, обусловленный малым объемом генерируемой плазмы при большой потребляемой мощности. В корне данных недостатков лежат особенности электрического разряда в газах. Объем генерируемой плазмы определяется расстоянием между электродами и поперечным сечением разряда. Поскольку для пробоя газового промежутка длиной 1 см при атмосферном давлении требуется напряжение порядка ~10 кВ, что налагает существенные ограничения на конструкцию источника электропитания по электроизоляции, то на практике используют небольшие межэлектродные расстояния. Для получения требуемой эффективности плазмы повышают рабочие токи, что, в свою очередь, приводит к ее неконтролируемому разогреву и контракции газового разряда, т.е. шнурованию тока и последующему возникновению электрической дуги. Использование системы охлаждения отчасти решает данную проблему, однако это еще больше снижает КПД устройства, т.к. большая часть его мощности расходуется на нагрев деталей.

Наиболее близким к заявляемому техническому решению, его прототипом является устройство для получения плазмы тлеющего разряда, содержащее рабочую камеру, размещенные в ней анодный и катодный узлы, систему подачи и отвода газов и систему электропитания, при этом рабочая камера установлена вертикально, катодный узел расположен в ее нижней части и выполнен в виде мелкоячеистой решетки с расположенным на ней слоем электропроводного порошка.

Подача рабочего газа приводит к "закипанию" слоя электропроводного порошка на катоде, что позволяет существенно снизить рабочее напряжение и многократно увеличить объем генерируемой плазмы. Использование "кипящего" катода позволяет значительно увеличить КПД устройства по сравнению с приведенными выше аналогами и за счет этого значительно расширить его технические возможности.

Недостатком прототипа является недостаточно высокий КПД устройства, связанный с особенностями траектории движения заряженных частиц в межэлектродном пространстве. КПД, например, процесса конверсии газов определяется долей "результативных" столкновений атомов, т.е. таких столкновений, которые приводят к возникновению их химического взаимодействия с образованием продукта конверсии. В общем случае доля "результативных" столкновений зависит от энергии ионов, определяемой напряжением между электродами, и возрастает при повышении напряжения. Однако повышение напряжения между электродами приводит к контракции разряда, разогреву плазмы и снижению КПД за счет уменьшения объема плазмы и протекания обратной химической реакции. Общее количество столкновений зависит от длины траектории ионов в межэлектродном пространстве. Перемешивание кипящего слоя восходящим потоком газа заметно увеличивает эту длину за счет турбулентности, что дает преимущества прототипу перед аналогами. Однако постоянное напряжение между электродами в процессе работы устройства приводит к минимизации длины пути заряженных частиц при их движении от катода к аноду, ионы стремятся преодолеть это расстояние по прямой. Плотность плазмы, определяемая количеством заряженных частиц на единицу ее объема, оказывается ниже реально возможной, что не позволяет достичь максимального КПД.

Таким образом, особенности траектории заряженных частиц в процессе работы прототипа не позволяют достичь максимальной эффективности горения плазмы и приводят к снижению КПД.

Задачей заявляемого технического решения является повышение КПД устройства за счет повышения плотности плазмы.

Поставленная задача решается тем, что устройство для получения плазмы тлеющего разряда, содержащее вертикально установленную рабочую камеру, анодный узел, расположенный в ее верхней части, и катодный узел, расположенный в ее нижней части и выполненный в виде мелкоячеистой решетки со слоем электропроводного порошка на ней, систему подачи и отвода газов и систему электропитания, дополнительно содержит электромагнитную систему, охватывающую полюсами рабочую камеру так,

что вектор индукции магнитного поля перпендикулярен направлению потока газа, и источник ее электропитания переменным током.

Сущность заявляемого технического решения заключается в увеличении количества столкновений между частицами за счет увеличения длины их траектории. Увеличение общего количества столкновений приводит к увеличению числа результативных столкновений и обеспечивает повышение КПД.

Оснащение рабочей камеры электромагнитной системой с вектором индукции магнитного поля, перпендикулярным направлению потока газа, приводит к возникновению дополнительного воздействия на движущиеся заряженные частицы плазмы рабочего газа. Траектория их движения в переменном магнитном поле становится спиралеобразной и за счет этого удлиняется. Это приводит к увеличению количества столкновений между отдельными ионами и радикалами, количества элементарных актов взаимодействия и, соответственно, к повышению плотности плазмы. В результате этого КПД устройства возрастает. Дополнительным преимуществом заявляемого устройства является повышение стойкости разряда к контракции, что позволяет использовать более высокие плотности тока и тем самым повысить производительность процесса конверсии.

Конкретные характеристики переменного магнитного поля задаются на основании размеров рабочей камеры, вида и состава рабочего газа, а также в зависимости от материала (магнитных свойств) и дисперсности частиц порошка. Положительный эффект достигается уже при значениях напряженности магнитного поля $H \approx 0,5 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$. С увеличением H положительный эффект усиливается. Верхняя граница значений H ограничивается лишь конструктивными особенностями электромагнитов, совместимых с конкретными рабочими камерами. Частота магнитного поля также особой роли не играет, поскольку положительный эффект наблюдается уже на достаточно низких частотах (порядка нескольких десятков Гц). Высокие частоты, требующие специальных источников питания, могут быть использованы в особых случаях формирования плазмы. Магнитная система при этом может содержать один и более электромагнитов, как снабженных магнитопроводами (полюсными наконечниками), так и без них.

С практической точки зрения наиболее удобны электромагниты, питающиеся от стандартной сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц через понижающий трансформатор. В подавляющем большинстве случаев это позволяет создавать простые и достаточно эффективные устройства для получения стабильной плазмы тлеющего разряда при атмосферном давлении.

Таким образом, переменное магнитное поле, создаваемое электромагнитной системой, увеличивает длину траектории заряженных частиц в межэлектродном пространстве и увеличивает количество столкновений между ними, приводящими к увеличению выхода продукта конверсии, т.е. к повышению КПД.

Сущность заявляемого технического решения поясняется чертежами фиг. 1 и 2, где приведено схематическое изображение устройства (вид сбоку и сверху, соответственно). На чертежах приняты следующие обозначения:

- 1 - рабочая камера;
- 2 - решетка;
- 3 - порошок;
- 4 - анод;
- 5 - источник электропитания;
- 6 - штуцер подачи газа;
- 7 - штуцер отвода газа;
- 8 - основание;
- 9 - полюсный наконечник;
- 10 - электромагнит;
- 11 - источник питания электромагнита;
- 12 - магнитопровод.

Как видно из чертежей, заявляемое устройство состоит из установленной вертикально рабочей камеры 1, в нижней части которой смонтированы решетка 2 с расположенным на ней порошком 3 и совместно образующие катод, а в верхней части расположен анод 4. Анод 4 с учетом конкретного применения может быть выполнен как сплошным, так и в виде решетки. В случае сплошного анода между ним и стенками рабочей камеры оставляют канал для выхода газов. На решетку 2 и анод 4 подается напряжение от источника электропитания 5. Рабочий газ подается через штуцер подачи газа 6, расположенный в нижней части рабочей камеры 1. После обработки газ удаляется из рабочей камеры 1 через штуцер отвода газа 7, расположенный за анодом 4. Во избежание перегрева тонкой решетки 2 в процессе работы она снабжена массивным металлическим основанием 8, служащим теплоотводом. Рабочая камера 1 установлена между полюсными наконечниками 9 электромагнитов 10, на которые подается переменное напряжение от источника питания электромагнита 11. Полюсные наконечники 9 соединены магнитопроводом 12 (на фиг. 1 не показан во избежание загромождения) для формирования замкнутой магнитной системы.

Устройство работает следующим образом. Решетка 2 присоединяется к отрицательному электроду источника электропитания, а анод 4 - к положительному. В первом варианте включением источника электропитания 5 на электроды подается рабочее напряжение, порошок 3 при этом заряжается отрицательно. Поскольку расстояние между решеткой 2 со слоем порошка 3 и анодом 4 в данный момент вели-

ко, ток через устройство не протекает. Затем через штуцер подачи газа 6 в рабочую камеру 1 подается газ (газовая смесь). Под действием потока газа порошок 3 "закипает", расстояние между порошком 3, несущим отрицательный заряд, и анодом 4, заряженным положительно, значительно сокращается, и возникает электрический пробой, который ионизирует обрабатываемый газ. В следующий момент времени вследствие лавинной ионизации газа в межэлектродном пространстве рабочей камеры 1 загорается плазма. Во втором варианте вначале через штуцер подачи газа 6 в рабочую камеру 1 подается газовая смесь, а после "закипания" порошка 3 на электроды подается импульс высокого напряжения, обеспечивающий пробой газового промежутка. Возникший разряд за счет наличия "кипящего слоя" приводит к последующей ионизации всего межэлектродного пространства и зажиганию плазмы. После этого напряжение на электродах падает до стационарного значения. Режим горения плазмы задается в соответствии с требованиями техпроцесса и регулируется расходом газа, напряжением между электродами и силой протекающего тока. После прохождения анода продукты реакции через штуцер отвода газа 7 выбрасываются в атмосферу (например, в случае дожигания выхлопных газов), либо подаются в рабочую зону другого техпроцесса (например, при озонировании), либо собираются в специальную емкость (на чертеже не показана) для дальнейшего использования. Выделяемое тепло утилизируется за счет протока газовой смеси и нагрева основания 8, что предупреждает выгорание решетки 2. Переменное магнитное поле, создаваемое в объеме рабочей камеры 1 между полюсными наконечниками 9 электромагнитами 10, приводит к увеличению длины траектории заряженных частиц в межэлектродном пространстве. На электрические заряды, например электроны e , расположенные в объеме рабочей камеры 1, действует вектор постоянного электрического поля E , определяемый рабочим напряжением и направленный от анода к катоду, и вектор переменной магнитной индукции B , определяемый частотой рабочего напряжения электромагнитов 10 и направленный перпендикулярно E от южного полюсного наконечника к северному. Это приводит к изменению траектории электронов из прямолинейной в спиралевидную, повышению плотности плазмы и стабилизации ее горения в течение всего технологического цикла. Управление характеристиками переменного магнитного поля осуществляется при помощи источника питания электромагнита 11. В простейшем случае в качестве этого источника может быть использован понижающий лабораторный трансформатор (ЛАТР), снабженный вольтметром и амперметром.

Заявляемое устройство изготавливали и испытывали следующим образом. В нижней части полового кварцевого цилиндра внутренним диаметром 29 мм впаивали основание катода, выполненное из нержавеющей стали, на котором была смонтирована решетка, изготовленная из ниобия. Решетка содержала 35×35 рядов отверстий размером 50×50 мкм. Затем припаивали воронку также из кварцевого стекла со штуцером для подачи газа. В верхней части цилиндра впаивали решетку из ниобия, служащую анодом, с размером ячеек 1×1 мм. Размер ячеек этой решетки выбран с тем условием, чтобы через нее была возможность беспрепятственного заполнения рабочей камеры электропроводным порошком. Расстояние между верхней и нижней решетками составило 50 мм. Затем поверх решетки в верхней части цилиндра припаивали штуцер отвода газа. Электрические выводы решеток выведены на внешнюю поверхность кварцевого цилиндра. Через штуцер отвода газа полученную рабочую камеру заполняли порошком никеля марки ПНЭ ГОСТ 9722-79 на высоту слоя, равную 25 мм. Нижняя решетка со слоем порошка никеля и металлическим основанием при этом образовали катодный узел. К электрическим выводам решеток присоединены электроды источника электропитания соответствующей полярности. Максимальное напряжение источника питания составило 15000 В, максимальный ток 0,1 А. В качестве электромагнитов использовали катушки, содержащие по 2000 витков провода ПЭВ 0,2, намотанных на каркас из диэлектрического материала. Магнитопровод изготавливали наборным из листовой электротехнической стали марки 2212 толщиной 0,5 мм. Выводы катушек присоединяли к выводам ЛАТРа, снабженного вольтметром и амперметром. ЛАТР подключали к сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Через входной штуцер с помощью компрессора подавали атмосферный воздух с расходом 1,5-10 л/мин. После образования "кипящего слоя" высотой от 30 до 48 мм для зажигания плазмы на электроды устройства подавали кратковременный импульс напряжением 12000 В и "подхватывающее" напряжение 1000 В. После этого добивались максимальной яркости горения плазмы, регулируя скорость подачи газа и силу тока, который составил 0,07 А. Потребляемая мощность, таким образом, составила 70 Вт. Объем светящейся области составил ~33 см³. На выводы электромагнитов подавали напряжение от ЛАТРа и выбирали такое его значение, при превышении которого яркость свечения плазмы не увеличивалась. В этом случае достигалась максимально возможная плотность плазмы, обеспечивающая максимальный КПД устройства.

Конвертируемую газовую смесь с полученным оксидом азота далее подавали в абсорбер и пропускали через барботер с эталонным объемом водного раствора гидроксида натрия с добавкой фенолфталеина в качестве индикатора pH. КПД устройства оценивали по скорости нейтрализации эталонного раствора оксидами азота и определяли по времени его обесцвечивания (при взаимодействии оксидов азота с гидроксидом натрия образуется натриевая селитра, что приводит к обесцвечиванию малинового раствора щелочи). Время обесцвечивания эталонного объема раствора щелочи составило 0,50-0,55 мин при использовании прототипа и 0,35-0,40 мин при использовании заявляемого технического решения.

Таким образом, заявляемое техническое решение по сравнению с прототипом позволяет существенно повысить КПД устройства за счет увеличения плотности плазмы.

Источники информации:

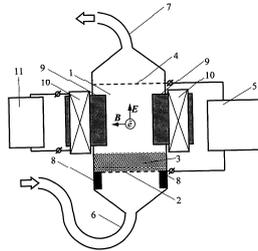
1. Kunhardt E.E. Generation of Large Volume, Atmospheric Pressure, Nonequilibrium Plasmas//IEEE Transactions on Plasma Science. - V. 28. No 1. February 2000.

2. Архипенко В.И., Згировский С.М., Симончик Л.В. Устройство для получения неравновесной плазмы тлеющего разряда при атмосферном явлении. Патент РБ 10597. Опубл. 30.04.2008.

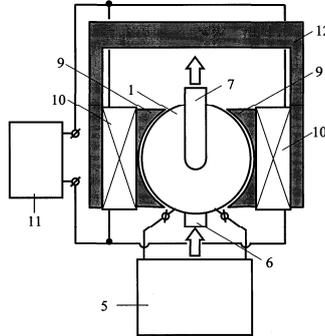
3. Мартынюк В.И., Зеленин В.А., Сенько С.Ф., Яковлева М.А. Устройство для получения плазмы тлеющего разряда. Патент РБ 22302. Опубл. 30.12.2018.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Устройство для получения плазмы тлеющего разряда, содержащее вертикально установленную рабочую камеру, анодный узел, расположенный в ее верхней части, и катодный узел, расположенный в ее нижней части и выполненный в виде мелкоячеистой решетки со слоем электропроводного порошка на ней, систему подачи и отвода газов и систему электропитания, отличающееся тем, что дополнительно содержит электромагнитную систему, охватывающую полюсами рабочую камеру так, что вектор индукции магнитного поля перпендикулярен направлению потока газа, и источник ее электропитания переменным током.



Фиг. 1



Фиг. 2

