РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 504 042** (13) **C2**

(51) МПК
H01J 37/32 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2010119461/07, 09.10.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.10.2008

Приоритет(ы):
(30) Конвенционный приоритет:
16.10.2007 FR 0758368

(43) Дата публикации заявки: **27.11.2011** Бюл. № 33

(45) Опубликовано: **10.01.2014** Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 55378284 A, 03.01.1995. FR 2895208 A, 22.06.2007. FR 2797372 A, 09.02.2007. WO 2007/023350 A, 01.03.2007. US 2005001554 A1, 06.01.2005. RU 2074534 C1, 27.02.1997.**

(85) Дата начала рассмотрения заявки PCT на национальной фазе: **17.05.2010**

(86) Заявка PCT:
FR 2008/051824 (09.10.2008)

(87) Публикация заявки PCT:
WO 2009/053614 (30.04.2009)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):
ШМИДТ Беат (FR),
О Кристоф (FR),
МОРЭН-ПЕРРЬЕ Филипп (FR)

(73) Патентообладатель(и):
Х.Е.Ф. (FR)

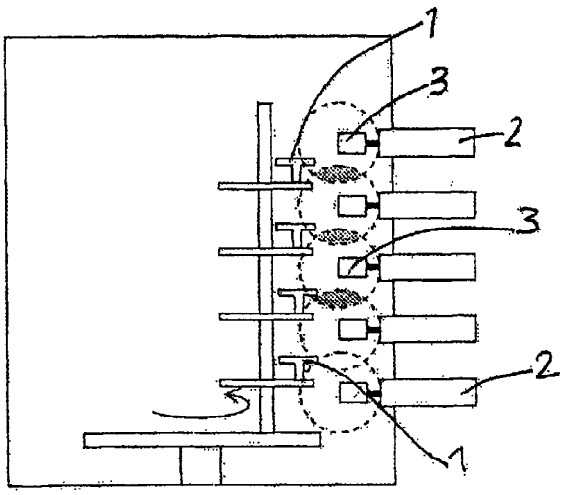
(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ, ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ, ОДНОГО КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПЛАЗМЫ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ЦИКЛОТРОННОГО РЕЗОНАНСА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области плазменной обработки поверхности. Способ заключается в том, что придают конструктивному элементу или конструктивным элементам (1), по меньшей мере, одно вращательное движение относительно, по меньшей мере, одного ряда неподвижно расположенных в линию элементарных источников (2), причем ряд или ряды расположенных в линию элементарных источников (2) размещают параллельно оси конструктивного элемента или осям вращения конструктивных элементов. Технический результат - повышение однородности обработки на множестве поверхностей конструктивных элементов. 2 н. и 9 з.п. ф-лы, 7 ил.

RU 2504042 C2

RU 2504042 C2



ФИГ. 1

RU 2504042 C2

RU 2504042 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 504 042** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
H01J 37/32 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010119461/07, 09.10.2008**

(24) Effective date for property rights:
09.10.2008

Priority:
(30) Convention priority:
16.10.2007 FR 0758368

(43) Application published: **27.11.2011** Bull. 33

(45) Date of publication: **10.01.2014 Bull. 1**

(85) Commencement of national phase: **17.05.2010**

(86) PCT application:
FR 2008/051824 (09.10.2008)

(87) PCT publication:
WO 2009/053614 (30.04.2009)

Mail address:
129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):
ShMIDT Beat (FR),
O Kristof (FR),
MOREhN-PERR'E Filipp (FR)

(73) Proprietor(s):
Kh.E.F. (FR)

RU 2504042 C2

(54) METHOD TO PROCESS SURFACE OF AT LEAST ONE STRUCTURAL ELEMENT BY MEANS OF ELEMENTARY SOURCES OF PLASMA BY ELECTRONIC CYCLOTRON RESONANCE

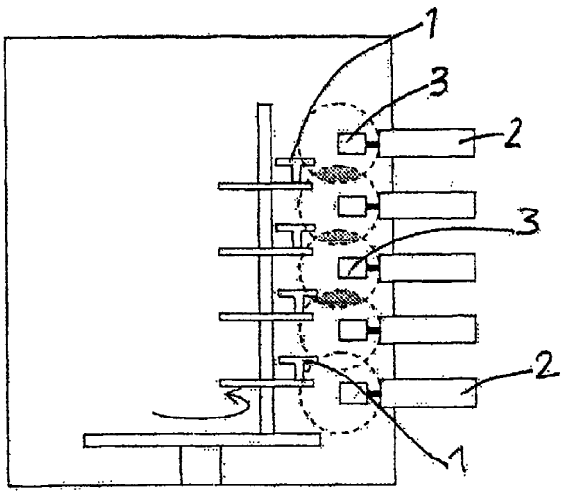
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: at least one rotary motion is given to a structural element or structural elements (1) relative to at least one row of fixed elementary sources (2) arranged as fixed into a line. The row or rows of elementary sources (2) arranged within a line are placed in parallel to the axis of the structural element or axes of rotation of structural elements.

EFFECT: higher homogeneity of treatment on multiple surfaces of structural elements.

11 cl, 7 dwg



ФИГ. 1

RU 2504042 C2

Область техники

Настоящее изобретение относится к технической сфере генерирования плазмы путем электронного циклотронного резонанса (RCE) из газообразной среды и относится, в частности, к обработке поверхности.

Предшествующий уровень техники

Как хорошо известно специалистам в данной области техники, плазма, образованная путем электронного циклотронного резонанса, может задействоваться при обработке поверхности металлических или неметаллических конструктивных элементов, такой как очистка конструктивных элементов путем ионного травления, ионная поддержка при осуществлении способа осаждения газотермическим напылением (PVD), активация газообразных веществ для осуществления покрытий методом химического осаждения паров или газов в плазменной среде (PACVD). Эти способы обработки поверхности плазмой могут быть использованы, кроме того, в области механики, оптики, антикоррозийной защиты или обработки поверхности для выработки энергии.

Изобретение находит наиболее предпочтительное применение в сфере обработки одного или нескольких конструктивных элементов, имеющих множество предназначенных для обработки сторон или имеющих так называемые сложные формы.

Известно, что для осуществления обработки плазмой конструктивных элементов со сложной формой, производится поляризация конструктивных элементов, которая может осуществляться непрерывно, импульсно или на радиочастоте для образования плазмы непосредственно на поверхности обрабатываемых конструктивных элементов. Недостатком такого решения является то, что образование плазмы и бомбардировка поверхности ионами плазмы не являются независимыми, а именно, рабочее напряжение определяет одновременно и плотность плазмы, и энергию ионов, которые попадают на поверхность. Наблюдается также, что такая поляризация является эффективной исключительно при значениях давлений приблизительно от 1 до 10 Па. Кроме того, такое давление, которое является относительно высоким для обработки плазмой, соответствует небольшому среднему свободному пробегу, что делает перемещение вещества от или к обрабатываемым конструктивным элементам особенно трудным и способствует формированию полых катодов между конструктивными элементами, в результате чего получаемая обработка не является однородной. Для исключения образования полых катодов необходимо обращать особое внимание на расстояния между обрабатываемыми конструктивными элементами.

Даже когда рабочее давление снижено путем использования внешнего источника для образования плазмы, например, радиочастотных волн или микроволн, сохраняется проблема обеспечения однородной обработки конструктивных элементов.

В связи с этим было предложено множество технических решений для образования однородной плазмы на поверхности обрабатываемого/обрабатываемых конструктивного элемента/элементов.

В патенте FR 2658025 раскрыто получение однородной плазмы путем применения однородного магнитного поля в объеме. Таким образом, однородная обработка конструктивного элемента является результатом однородности плазмы. Кроме того, данный тип конструкции имеет крайне ограниченный характер, принимая во внимание, что конструктивные элементы ферромагнитного типа обязательно изменяют однородность магнитного поля и, как следствие, однородность обработки.

В патенте FR 2838020 предлагается распределение источников по периферии реактора для обеспечения удержания плазмы с целью обеспечения ее однородности в объеме для получения однородной обработки. Согласно данному решению, магнитные или немагнитные свойства конструктивных элементов не является важными, однако на однородность плазмы в обязательном порядке оказывает влияние присутствие конструктивных элементов. Действительно, получение однородной в объеме плазмы является результатом суммы привлекаемых элементарных источников, распределенных по стенке системы обработки. Размещение объекта в плазме обязательно приводит к оттенению источников, которое ухудшает однородность плазмы и обработки.

Техническое решение для обработки предметов, имеющих ровную геометрическую форму или геометрическую форму со слегка изогнутой поверхностью, раскрыто в описании патента FR 2797372. Согласно описанию, источники плазмы располагаются на постоянном расстоянии от поверхности обрабатываемых конструктивных элементов для того, чтобы плазма была однородной на этой поверхности. Однако, как указывается, такое техническое решение является специфическим для определенной геометрической формы конструктивных элементов. Для каждой новой геометрической формы необходимо модифицировать реактор, в частности, положение источников плазмы.

Другое техническое решение для обработки объектов, имеющих ровную геометрическую форму, вытекает из публикации WO2007/023350. В устройстве используется необычное условие резонанса при магнитной индукции $B=\pi mf/e$, где f - частота электромагнитной волны, m и e - масса и заряд электрона. Согласно описанию, однородная зона обработки достигается путем достаточного сближения элементарных источников для получения изолированной поверхности с общей индукцией B, которая выполняет вышеуказанное условие резонанса. При обычно используемой частоте, которая составляет 2,45 Ггц, это условие выполняется для поля, равного приблизительно 437 гаусс. Это решение требует, таким образом, сохранять достаточно небольшие расстояния между элементарными источниками, меньше 5 см, независимо от давления. Таким образом, необходимо иметь большое количество отдельных источников, что увеличивает стоимость обработки. Также магнитное поле перед источниками оказывается усиленным, что может принести вред, при желании произвести обработку магнитных конструктивных элементов.

Другое техническое решение раскрыто в описании патента FR 2826506 5, который относится к устройству усиления тока анормального электрического разряда. Устройство усиливает существующую плазму и для функционирования нуждается в объединении с другим электродом, таким как магнетронный катод. Плазма усиливается в результате приложения положительного напряжения. Кроме того, потенциальным недостатком очень положительной плазмы является напыление на стенки реактора и, как следствие, загрязнение обрабатываемых конструктивных элементов.

Краткое изложение существа изобретения

Задачей настоящего изобретения является устранение указанных недостатков простым, надежным, эффективным и рациональным образом.

Задача, которую предлагается решить в изобретении, состоит в получении возможности осуществлять обработку поверхности, позволяющую производить однородную обработку конструктивных элементов, обладающих сложными геометрическими формами, другими словами, обеспечить однородную в объеме

обработку, хотя собственно плазма не будет однородной в объеме, что ограничивает количество отдельных источников и уменьшает стоимость обработки.

Для решения такой проблемы были задуманы и разработаны способ и устройство обработки поверхности, по меньшей мере, одного конструктивного элемента посредством элементарных источников плазмы путем электронного циклотронного резонанса.

Способ заключается в том, что конструктивному элементу или конструктивным элементам придают, по меньшей мере, одно движение относительно, по меньшей мере, одного неподвижно расположенного в линию ряда элементарных источников.

Устройство содержит, по меньшей мере, один ряд неподвижно расположенных в линию элементарных источников, установленных против конструктивного элемента или конструктивных элементов, прикрепленных к средствам для придания, по меньшей мере, одного вращательного движения.

Для обеспечения наложения плазм элементарных источников и предоставления места для однородной обработки вдоль ряда элементарных источников, указанный ряд/ряды расположенных в линию элементарных источников размещается/размещаются параллельно оси вращения конструктивного элемента/элементов.

В случае использования нескольких рядов, расположенных в линию эти ряды размещаются таким образом, чтобы они в магнитном плане взаимно не противодействовали друг другу.

Согласно этим отличительным признакам, элементарные источники плазмы образуют ограниченную зону обработки таким образом, что расширение масштабов становится крайне простым.

Предпочтительно, вращательное движение происходит в виде простого вращения или в виде простого или двойного планетарного движения.

Для осуществления условия электронного циклотронного резонанса элементарные источники могут состоять из коаксиального волновода и насадки, содержащей магнит, который предназначен для обеспечения электронного циклотронного резонанса, приспособленного под частоту генератора/генераторов, питающего/питающих источники, как это описано в патенте FR 2797372.

Для сохранения симметрии вращения волновода и обеспечения смыкания траекторий электронов на них самих, ось намагничивания магнита расположена на одной линии с осью волновода.

Согласно другому отличительному признаку, элементарные источники могут быть обеспечены питанием посредством единого генератора, мощность которого разделена на равные части между источниками, как это следует из патента FR 2798552. Элементарные источники могут быть обеспечены питанием посредством генераторов, мощность которых скорректирована для осуществления однородной обработки вдоль ряда источников.

Минимальное расстояние, разделяющее два источника, обусловлено их магнитным взаимодействием. Оно составляет около двух диаметров магнита элементарного источника. При меньшем расстоянии, взаимодействие между магнитами смещает зону электронного циклотронного резонанса (RCE). В случае противоположных полярностей между двумя магнитами зона очень близко приближается к поверхности источника, в другом случае она очень сильно удаляется от нее.

С поверхности источника плазма распространяется на расстояние $Rmax_0$, составляющееоколо5 см при давлении P_0 - $2 \cdot 10^{-3}$ мбар.

Максимальное расстояние Dmax между двумя источниками, таким образом, ограничено двукратным расстоянием (около 10 см). При более слабом давлении максимальное расстояние может быть более большим, а при более высоком давлении - оно будет более маленьким. Таким образом, это расстояние обратно пропорционально давлению:

$$Dmax = 2Rmax_0 \frac{P_0}{P}$$

Краткое описание чертежей

В дальнейшем изобретение поясняется описанием предпочтительных вариантов воплощения со ссылками на сопроводительные чертежи, на которых:

фиг.1 изображает схему (вид спереди) упрощенного варианта осуществления устройства обработки согласно изобретению;

фиг.2 - вид сверху, соответствующий фиг.1, в случае, когда движение представляет собой вращение, имеющее форму простого вращения;

фиг.3 - вид, аналогичный показанному на фиг.2, в случае, когда движение представляет собой вращение, имеющее форму простого планетарного движения;

фиг.4 - вид, аналогичный показанному на фиг.3, в случае, когда движение представляет собой вращение, имеющее форму двойного планетарного движения;

фиг.5 и 6 - два расположения элементарных источников, имеющих питание с различными полярностями (фиг.5) или, предпочтительно, с одинаковыми полярностями (фиг.6);

фиг.7 - общий вид примера реализации элементарного источника.

Описание предпочтительных вариантов воплощения изобретения

На фиг.1 изображена схема устройства обработки поверхности, по меньшей мере, одного конструктивного элемента (1) посредством элементарных источников (2) плазмы путем электронного циклотронного резонанса.

Согласно изобретению, устройство содержит, по меньшей мере, один ряд неподвижно расположенных в линию элементарных источников (2), размещенных против конструктивного элемента или конструктивных элементов (1).

Важно, что конструктивный элемент или конструктивные элементы (1) прикреплен к любому типу известного средства и предназначен для того, чтобы приводиться, по меньшей мере, в одно движение, в частности, во вращательное движение.

Такое сочетание вращательного движения конструктивных элементов с линейными расположениями элементарных источников плазмы путем электронного циклотронного резонанса позволяет производить однородную обработку трехмерных поверхностей сложных конструктивных элементов.

Движение приведено в соответствие с размером и геометрической формой обрабатываемых конструктивных элементов и заполнением пустого пространства. Для конструктивного элемента большого размера (фиг.2) это движение может быть представлено в виде простого вращения.

Для конструктивных элементов более маленьких размеров движение может быть типа простого планетарного (фиг.3) или двойного планетарного (фиг.4).

Согласно варианту практической реализации, каждый элементарный источник (2) состоит из коаксиального волновода (2a) и насадки (2b), содержащей достаточно мощный магнит (3) для осуществления электронного циклотронного резонанса. Ось намагничивания магнита расположена на одной линии с осью коаксиального волновода (2a). Такие расположения позволяют сохранить симметрию вращения волновода и гарантировать, что траектории электронов сомкнутся на них самих.

Намагничивание различных источников (2) может быть свободно определено таким образом, что соседние источники способны иметь одну и ту же полярность (фиг.6) или разные полярности (фиг.5).

В том случае, если полярности двух соседних магнитов являются противоположными, силовые линии поля проходят от полюса одного магнита к противоположному полюсу другого магнита. Таким образом, «горячие» электроны будут задерживаться на силовых линиях и совершать возвратно-поступательные движения между двумя магнитами. Такая локализация электронов находится в пространстве перед и между двумя источниками и обеспечивает формирование более сильной плазмы в этой области. Из этого вытекает более высокая скорость осаждения между двумя магнитами. В том случае, если поляризация источников одинаковая, то силовые линии поля двух соседних магнитов отталкиваются, и никакая силовая линия не соединяет два магнита. Таким образом, локализация «горячих» электронов в пространстве перед и между источниками не обнаруживается, а осаждение является более однородным. Для обнаружения эквивалентной однородности со знакопеременными поляризациями можно увеличить расстояние между источниками и подложкой на несколько сантиметров, но в этом случае происходит потеря скорости осаждения. По этим причинам в предпочтительном расположении магнитов полярность повсюду является одной и той же.

Пример 1, несогласованный: Статическое осаждение углерода путем химического осаждения паров или газов в плазменной среде (PACVD).

Были использованы две конфигурации полярностей магнитов: шесть насадок с одинаковой полярностью и шесть насадок со знакопеременной полярностью. Подложки располагаются против источников и остаются неподвижными во время обработки.

Измерения толщины показывают, что статическое осаждение не является однородным. Конфигурация со знакопеременной полярностью дает немного более хороший результат, но содержит вместе с тем изменения толщины от 30 до 40%.

1. Толщина (нм)	2. Магниты с одинаковой полярностью
	3. Положение (см)

1. Толщина (нм)	2. Магниты со знакопеременной полярностью
	3. Положение (см)

Пример 2, согласованный: Осаждение углерода путем химического осаждения паров или газов в плазменной среде (PACVD).

Такое осаждение осуществляется из углеводорода как предшествующего газа. Были использованы две конфигурации полярностей магнитов: шесть насадок с одинаковой полярностью и шесть насадок со знакопеременной полярностью.

Измерения толщины осаждения указывают на два момента:

- средняя скорость осаждения выше в конфигурации, в которой применяются магниты со знакопеременной полярностью;
- однородность осаждения лучше в конфигурации, в которой применяются магниты с одной и той же полярностью.

1. Толщина (нм)	2. Магниты со знакопеременной полярностью
	3. Положение (см)
1. Толщина (нм)	2. Магниты с одинаковой полярностью
	3. Положение (см)

В этих примерах показано, что сочетание ряда источников с движением вокруг оси, параллельной этому ряду источников, обеспечивает однородную обработку даже в том случае, если статическая обработка дает очень неоднородную обработку.

Питание элементарных источников (2) обеспечивается от одного генератора, мощность которого разделена на равные части между источниками. Или также снабжение питанием элементарных источников (2) обеспечивается генераторами, мощность которых корректируется для увеличения степени однородности обработки. Генератор или генераторы являются, например, микроволнового типа, как правило, 2,45 ГГц.

Согласно изобретению, как это показано на (фиг.1), множество источников (2) расположены в ряд вдоль линии, параллельной оси (X-X') вращения конструктивных элементов. Из этого следует, что зоны плазмы элементарных источников (2) накладываются, позволяя добиться однородной обработки вдоль ряда элементарных источников.

Минимальное расстояние Dmin, разделяющее два источника, обусловлено их магнитным взаимодействием. Оно составляет порядка двух диаметров магнита элементарного источника. При меньшем расстоянии, взаимодействие между магнитами смещает зону электронного циклотронного резонанса (RCE). В случае противоположных полярностей двух магнитов зона очень близко приближается к поверхности источника, в другом случае она очень сильно удаляется от нее.

С поверхности источника плазма проходит на расстояние $Rmax_0$, составляющееоколо5 см при давлении P_0 - $2 \cdot 10^{-3}$ мбар. Максимальное расстояние Dmax между двумя источниками, таким образом, ограничено двукратным таким расстоянием (около 10 см). При более слабом давлении максимальное расстояние может быть бóльшим, а при более высоком давлении - оно будет меньшим. Таким образом, это расстояние обратно пропорционально давлению:

$$Dmax = 2\, Rmax_0 \frac{P_0}{P}$$

Таким образом, для однородной обработки по высоте реактора, относительное положение различных источников, должно находиться между Dmin и Dmax.

Согласно примеру практической реализации, обрабатываемые конструктивные элементы могут быть расположены на подложкодержателе, который обладает способностью вращаться в одном или в нескольких направлениях и относится к типу, аналогичному тем, которые использовались в области осаждения газотермическим напылением (PVD), как магнетронное напыление. Минимальное расстояние конструктивных элементов относительно источников определено как расстояние, считающееся наиболее близким во время движения. Можно констатировать, что минимальное расстояние, составляющее приблизительно 40-160 мм, дает качество обработки, адекватное уровню требуемой однородности.

1. Скорость относительного осаждения	2. Статическая 3. Планетарная
	4. Расстояние между источниками и подложкой (см)

В данном примере рассматривается однородность толщины осаждения, осуществляемого посредством микроволновых источников электронного циклотронного резонанса (RCE), используя в качестве газообразной первичной частицы углеводород. Образцы расположены на различных минимальных

расстояниях от источников напротив последних. Осуществляется сравнение статической обработки, т.е. с подложками, которые остаются неподвижными, и обработки с планетарным движением. На чертеже показано снижение скорости осаждения, когда расстояние до ряда источников увеличивается. В случае планетарного движения расстояние между источниками и подложкой соответствует минимальному расстоянию от подложки до источников во время движения. Отчетливо видно, что движение позволяет ослабить падение скорости осаждения.

Изобретение находит предпочтительное применение для обработки поверхности на различных уровнях (являются рекомендательными и не носят исключительно ограничительного характера), таких как очистка конструктивных элементов путем ионного травления, ионная поддержка при осуществлении способа нанесения слоя газотермическим напылением (PVD), активация газообразных веществ для осуществления покрытий методом химического осаждения паров или газов в плазменной среде (PACVD). Как отмечалось во вступительной части, эти технологии обработки плазмой применяются во многих областях, таких как механика, оптика, антикоррозийная защита или обработка поверхности для выработки энергии.

Преимущества хорошо видны из описания. В частности, подчеркивается и напоминается, что способ и устройство обработки посредством элементарных источников плазмы путем электронного циклотронного резонанса позволяет:

- осуществлять обработку металлических или неметаллических конструктивных элементов, имеющих изменяемую геометрическую форму, а также любых других, используя единую конфигурацию оборудования;
- добиваться однородной обработки на сложных и изменяемых поверхностях без необходимости в то же время изменять геометрическую форму оборудования в зависимости от геометрической формы конструктивных элементов.

Формула изобретения

1. Способ обработки поверхности, по меньшей мере, одного конструктивного элемента, имеющего множество поверхностей, плазмой, генерируемой элементарными источниками плазмы путем распределенного электронного циклотронного резонанса, содержащий этапы, на которых

придают, по меньшей мере, одному конструктивному элементу, по меньшей мере, одно вращательное движение относительно, по меньшей мере, одного ряда неподвижно расположенных в линию разделенных элементарных источников плазмы, причем каждый источник содержит коаксиальный волновод и насадку, содержащую магнит для электронного циклотронного резонанса,

устанавливают расстояние между соседними неподвижно расположенными в линию источниками, по меньшей мере, одного ряда между минимальным расстоянием, составляющим порядка два диаметра магнита, и максимальным расстоянием Dmax, определенным формулой

$$\mathrm{Dmax} = 2\mathrm{Rmax}_0 \frac{P_0}{P},$$

где Rmax_0 составляет около 5 см; P_0 - $2 \cdot 10^{-3}$ мбар; P - рабочее давление (мбар),

причем, по меньшей мере, один ряд расположенных в линию элементарных источников плазмы расположен параллельно оси вращения, по меньшей мере, одного конструктивного элемента, и обеспечивают однородную в объеме обработку, по меньшей мере, одного конструктивного элемента, даже если собственно плазма не является однородной в объеме, тем самым выполняя однородную обработку на

множестве поверхностей конструктивных элементов без необходимости изменения геометрии оборудования в соответствии с геометрией конструктивных элементов.

2. Устройство обработки поверхности, по меньшей мере, одного конструктивного элемента, имеющего множество поверхностей, плазмой, генерируемой элементарными источниками плазмы путем распределенного электронного циклотронного резонанса, содержащее, по меньшей мере, один ряд неподвижно расположенных в линию разделенных элементарных источников плазмы, причем каждый источник содержит коаксиальный волновод и насадку, содержащую магнит для электронного циклотронного резонанса, установленные напротив, по меньшей мере, одного конструктивного элемента, с расстоянием между соседними неподвижно расположенными в линию источниками, по меньшей мере, одного ряда, находящимся между минимальным расстоянием, составляющим порядка два диаметра магнита, и максимальным расстоянием Dmax, определенным формулой

$$Dmax = 2Rmax_0 \frac{P_0}{P},$$

где $Rmax_0$ составляет около 5 см; P_0 - $2 \cdot 10^{-3}$ мбар; P - рабочее давление (мбар),

вращаемый держатель конструктивного элемента, придающий, по меньшей мере, одно вращательное движение, по меньшей мере, одному конструктивному элементу, причем, по меньшей мере, один ряд неподвижно расположенных в линию элементарных источников размещен параллельно оси вращения, по меньшей мере, одного конструктивного элемента, и обеспечивающий однородную в объеме обработку, по меньшей мере, одного конструктивного элемента, даже если собственно плазма не является однородной в объеме, тем самым выполняя однородную обработку на множестве поверхностей конструктивных элементов без необходимости изменения геометрии оборудования в соответствии с геометрией конструктивных элементов.

3. Устройство по п.2, в котором вращательное движение представляет собой простое вращение.

4. Устройство по п.2, в котором вращательное движение представляет собой простое или двойное планетарное движение.

5. Устройство по п.2, в котором соседние элементарные источники имеют одинаковую полярность.

6. Устройство по п.2, в котором ось намагничивания магнита расположена на одной линии с осью волновода, сохраняет симметрию вращения волновода и обеспечивает замыкание траекторий электронов на самих себя.

7. Устройство по п.2, в котором элементарные источники запитываются посредством одного генератора, мощность которого разделена на равные части между источниками.

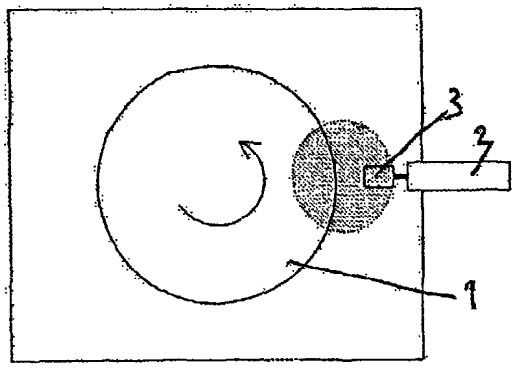
8. Устройство по п.2, в котором элементарные источники запитываются посредством генераторов, мощность которых скорректирована для получения однородной плазмы вдоль ряда источников.

9. Устройство по п.2, в котором минимальное расстояние от источников до, по меньшей мере, одного конструктивного элемента является наиболее близким расстоянием во время движения и составляет приблизительно 40-160 мм.

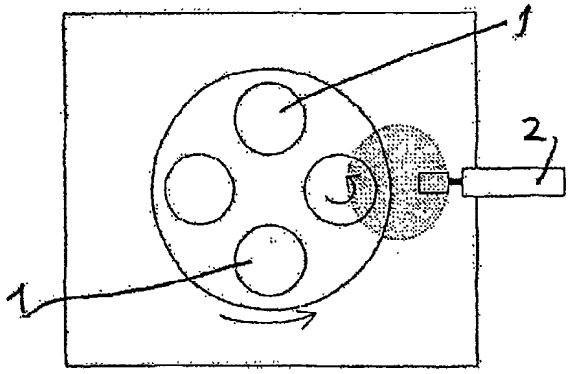
10. Устройство по п.2, в котором, по меньшей мере, один ряд неподвижно расположенных в линию разделенных элементарных источников плазмы содержит, по меньшей мере, три элементарных источника плазмы.

11. Устройство по п.2, в котором, по меньшей мере, один ряд неподвижно

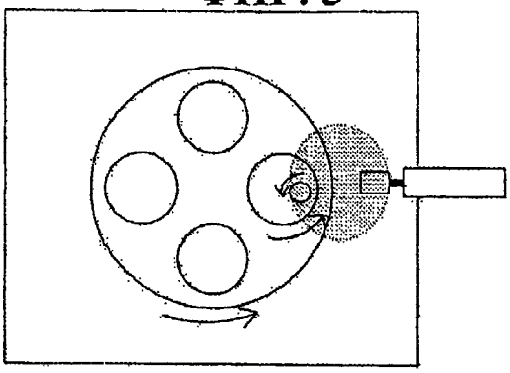
расположенных в линию разделенных элементарных источников плазмы состоит из одного ряда.



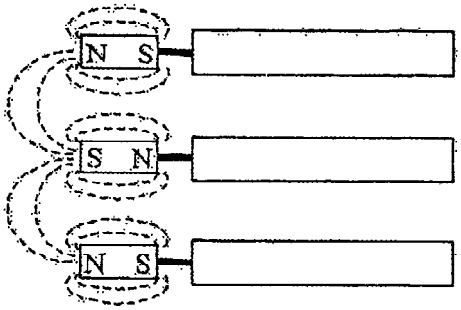
ФИГ. 2



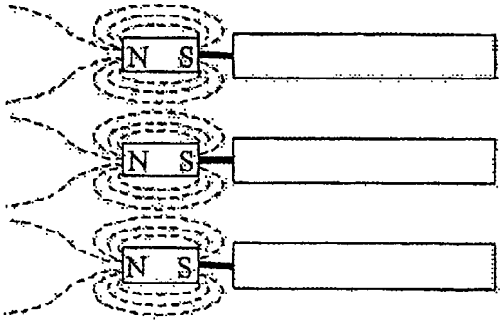
ФИГ. 3



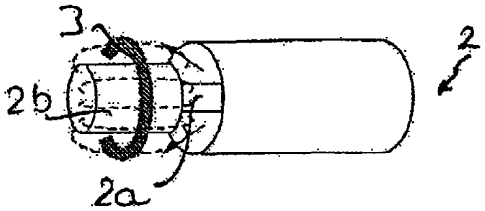
ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6



ФИГ. 7