

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 068 778 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

29.01.2003 Patentblatt 2003/05

(51) Int Cl.7: **H05H 1/30**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP99/02413

(21) Anmeldenummer: **99920621.2**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

(22) Anmeldetag: **01.04.1999**

WO 99/052332 (14.10.1999 Gazette 1999/41)

(54) **PLASMA BRENNER MIT EINEM MIKROWELLESENDER**

PLASMA TORCH WITH A MICROWAVE TRANSMITTER

CHALUMEAU A PLASMA AVEC EMETTEUR HYPERFREQUENCE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH CY DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**

• **HOFMANN, Uwe**
D-07749 Jena (DE)

(30) Priorität: **02.04.1998 DE 19814812**

(74) Vertreter: **Pfeiffer, Rolf-Gerd, Dipl.-Phys. et al**
Patentanwaltsbüro Pfeiffer & Partner
Winzerlaer Strasse 10
07745 Jena (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.01.2001 Patentblatt 2001/03

(56) Entgegenhaltungen:

(73) Patentinhaber: **Blüm, Heinz-Jürgen**
07749 Jena (DE)

EP-A- 0 104 109

EP-A- 0 296 921

US-A- 3 353 060

(72) Erfinder:

• **BLÜM, Heinz-Jürgen**
D-07749 Jena (DE)

EP 1 068 778 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Plasmabrenner mit einem Mikrowellensender gemäß der Gattung der Patentansprüche, der bspw. zur Beschichtung von Oberflächen und zur Erzeugung von Radikalen bestimmt ist.

[0002] Bekannte Magnetron-Ionenquellen arbeiten mit einem Magnetron zur Erzeugung eines elektrischen Wechselfeldes, siehe DE 37 38 352 A1. Nachteil ist, daß dabei ein Quarzdom und äußere Magnetfelder erforderlich sind, um das Gasplasma zu erzeugen. Das intensive Magnetfeld im Entladungsraum dient zur Anpassung der Zyklotronfrequenz an die des Mikrowellengenerators. Es wird mit einer elektrodenlosen Mikrowellengasentladung gearbeitet. Beim Betreiben ist eine Kühlung des Gerätes erforderlich. Diese Plasmageneratoren besitzen eine komplexe Struktur und sind in ihren Abmessungen begrenzt. Der technische Aufwand für Mikrowellenentladungssysteme ist hoch. Es können keine großen Leistungen übertragen werden, und es ist nicht ersichtlich, daß Plasmen hoher Dichte im Falle großer Leistungen stabil sind.

[0003] Vorrichtungen zur Erzeugung eines Plasmas durch Mikrowellen, wie sie bspw. aus DE 3905303 C2, DE 3915477 C2, US 5349154 A bekannt sind, arbeiten mit Quarzrohren. Ein Magnetron (Mikrowellensendeinheit) ist an einem Ende eines Rechteckhohlleiters befestigt. Die erzeugten Mikrowellen laufen durch den Hohlleiter und treffen an seinem anderen Ende auf einen Quarzglaseinsatz, durch den ein spezielles Gas strömt. Die Strömung kommt durch einen im Rezipienten aufrecht erhalten Unterdruck zustande. Im Quarzglaseinsatz entsteht durch die Mikrowellenenergie ein Plasma, das durch den Quarzglaseinsatz in den Rezipienten strömt. Das Verfahren ist dadurch charakterisiert, daß es keine Elektroden besitzt.

Diese Vorrichtungen haben folgende Nachteile:

- Die heißeste Stelle und das Zentrum des Plasmas befinden sich in dem Teil des Quarzglaseinsatzes, das im Rechteckhohlleiter angeordnet ist. Dadurch wird die Energie nicht im Rezipienten, sondern davor umgesetzt, und es stehen bei einer entsprechenden Anwendung zu wenige Radikale für den Arbeitsprozeß zur Verfügung.
- Es tritt ein hoher Anteil von Wandeckeffekten im Quarzglas auf.
- Der Massendurchsatz und die Arbeitsdrücke von 500 Pa bis 3 kPa sind zu gering.
- Der Quarzglaseinsatz ist nicht für einen großtechnischen Dauerbetrieb geeignet. Durch die ungewollt hohen Temperaturen treten an ihm Schmelzerscheinungen auf, oder es müssen aufwendige Kühlvorrichtungen zusätzlich vorgesehen werden.
- Die Effizienz der Energieausnutzung ist gering.
- Die Vakuumdichtheit ist an den Dichtflächen schwer einzuhalten.

- Bei der Montage bzw. Demontage und durch die Wärmeausdehnung der Metallbauteile kann es zur Zerstörung des Glases kommen.

[0004] Ferner sind Anordnungen bekannt, bei denen eine Kreuzkopplung eines Rechteckhohlleiters mit einem Koaxialleiter besteht. Auch in diesem Fall ist eine Mikrowellenerzeugungs- bzw. -sendeeinrichtung, das Magnetron, an einem Ende des Hohlleiters befestigt. Die erzeugten Mikrowellen laufen durch den Hohlleiter und treffen auf eine leitende längliche Düse. Der Hohlleiter ist mit einem Kurzschlußschieber abgeschlossen. Dadurch ist die entstehende elektromagnetische Welle abstimmbare. Eine solche bekannte Anordnung kann mit Quarzrohr (DE 195 11 915 C2) oder ohne Quarzrohr (US 4,611,108 A) ausgeführt werden. Die letztgenannte Ausführungsform (siehe auch EP 0 104 109 A1) enthält weder eine thermische Isolierung noch eine Gasisolierung des Entladungsraumes von der Auskopplung. Abgesehen davon, daß bei der Verwendung von Quarzrohren die dafür spezifischen, oben genannten Nachteile auftreten, sind dieser Kreuzkopplung folgende Nachteile zu eigen:

- Die Ausnutzung der Mikrowellenleistung ist wenig effizient.
- Es treten Energieverluste an der Kreuzkopplung von Rechteckhohlleiter und Koaxialleiter auf.
- Der gesamte Aufbau ist kompliziert.
- Der maximale Betriebsdruck und Massendurchsatz sind zu gering.

[0005] Aus der US 4,473,736 A ist ein Plasmagenerator bekannt, bei dem ein Hohlraum und ein Koaxialleiter kapazitiv gekoppelt sind. Dabei sind isolierende, die Elektrode haltende, dünne Scheiben über den gesamten Querschnitt von Hohlraum und Koaxialleiter angeordnet. Abgesehen davon, daß es sich hierbei nicht um Hohlwellenleiter handelt, ist diese Anordnung nicht zur Impedanzanpassung und zur Erreichung einer reflexarmen Hohlwellenleitung geeignet.

Bekannt ist auch ein Brenner für ein Mikrowellenplasma, eine Vorrichtung, die diesen Brenner beinhaltet, und Verfahren zu ihrer Verwendung bei der Herstellung von Puder (EP 0296921 A1). Diese Vorrichtung verwendet ein Koppelstück zur Auskopplung der Mikrowelle aus einem Rechteckhohlleiter in einen Koaxialleiter, dessen Innenleiter als Gasdüse ausgebildet ist und an dessen einem Ende eine bei Atmosphärendruck brennende Plasmaflamme anzündbar sein soll. Somit ist eine gasdichte oder thermische Isolierung und eine Vermeidung von parasitären Entladungen nicht gewährleistet. Die vorhandene Gasabschirmung steht in keinem direkten Zusammenhang zur Plasmaflamme und zum Koppelstück.

Schließlich ist aus der US 3 353 060 A ein Hochfrequenzentladungsgenerator mit Hilfelektrode bekannt, welche die aus der Hochfrequenzquelle kommenden Wel-

len über einen Rechteckhohlleiter in einen Koaxialleiter einkoppelt (E-Kopplung), an dessen offenem Ende der Innenleiter als Elektrode dient und eine frei brennende Plasmaflamme erzeugen soll. Die Gasversorgung erfolgt dabei am anderen, geschlossenen Ende des Koaxialleiters. Eine gasdichte oder thermisch isolierende Trennung des Entladungsgebietes vom Auskoppellement ist ebensowenig vorgesehen, wie die Ausbildung einer stehenden Welle im Entladungsgebiet. Außerdem ist die Gaszuführung kaum auf die Plasmaflamme abstimmbar.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Plasmabrenner zu erstellen, der mit hohen Dichten ein Plasma im normaldrucknahen Bereich erzeugt. Dabei sollen hohe Leistungen übertragen werden können. Der Plasmabrenner soll eine stabile Entladung in einer definierten Entladungszone unter effizienter Nutzung der Mikrowellenleistung ermöglichen. Anfällige Quarzrohre oder Quarzdome zum Erzeugen des Plasmas sind zu vermeiden. Es soll ein im Aufbau insgesamt einfacher Plasmabrenner entstehen, welcher die Mikrowellen effizient aus einem Wellenleiter aus- und in das Plasma einkoppelt.

[0006] Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Dabei ist es zunächst unerheblich, ob der Koaxialleiter in einer Kreuzkopplung quer oder in einer Axialkopplung parallel zum Hohlleiter gerichtet ist, ob also ihre Längsachsen einen vorzugsweise rechten Winkel miteinander einschließen oder ob ihre Längsachsen miteinander im wesentlichen koinzidieren. Der Plasmabrenner (Plasmagenerator) enthält eine Vakuumkammer und ein Magnetron, das selbst innerhalb der Vakuumkammer eine zur Plasmabildung ausreichende Feldstärke erzeugt. Ein sich an den Koaxialleiter anschließender Rezipient steht unter einem Druck von 100 Pa bis 10 kPa, der zur Ausbildung des Plasmas geeignet ist. Unabhängig von der Kopplungsart wird ein hoher Wirkungsgrad erzielt. Durch seinen einfachen axialen Aufbau mittels Antenne als Elektrode kommt der erfindungsgemäße Plasmabrenner ohne Kühlung und Magnetspulen aus. Der Vorteil der Verwendung eines Rundhohlleiters anstatt eines Wellenleiters liegt darin, daß die Mikrowellenleistung nicht nur in der Umgebung der Düse in das Plasma eingekoppelt wird, wo die größten Feldstärken auftreten, sondern über die Hohlraumwellen entlang der gesamten Hohlleiterachse. Diese Gestaltung ermöglicht eine quasi-elektrodenlose Einkopplung, welche die thermische Belastung der Düse verringert.

Vorteilhaft ist die Hohlelektrode als Kegelstumpf ausgebildet und am nichtleitenden Zwischenstück befestigt, das über einen vorzugsweise scheibenförmigen Halter mit dem Koaxialleiter verbunden ist. Durch das Zwischenstück ist die Düse mit einem Gasanschluß verbunden. Die Haltescheibe ist an den Koaxialleiter und den Hohlleiter angeflanscht. Die Hohlelektrode ist vorteilhaft als Kegelstumpf ausgebildet, dessen Deckflä-

che dem Rezipienten zugewandt ist. Sie weist an dieser Seite die in ihren Hohlraum eingeführte, vorzugsweise eingeschraubte und auswechselbare Düse auf, die vier in regelmäßigen Abständen auf einem Kreis um das Zentrum der Austrittsebene und in der Austrittsebene liegende Austrittsöffnungen für das Prozeßgas hat. Dadurch erfolgt eine optimale Leitung der Mikrowelle zur Austrittsebene (Düsenspitze) und ein günstiger Energieeintrag in die Plasmaflamme. Eine für hohe Temperaturen geeignete Düse besteht vorteilhaft aus einer metallischkeramischen Legierung. Ein elektrisch nicht leitender Isolator isoliert den Raum der Plasmaflamme thermisch von der Ankopplung des Koaxialleiters an den Hohlleiter. Eine für den Betrieb des Plasmabrenners günstige Lösung ergibt sich, wenn die Elektrode axial und ggf. radial verstellbar ist. Bei der Kreuzkopplung verbinden ein Messingteil und ein Verbindungsstück die Düse und das Zwischenstück vorteilhaft mit einem Gasanschluß. Das Messingteil gewährleistet in jedem Fall die elektromagnetische Kopplung von Hohlleiter und Koaxialleiter. Zur Abstimmung der elektromagnetischen Welle auf die Kopplung ist der Hohlleiter, vorzugsweise Rechteckhohlleiter, der Kreuzkopplung mit zwei Schrauben versehen. Beim Hohlleiter, vorzugsweise Rundhohlleiter, der Axialkopplung wird die Abstimmung günstigerweise dadurch vorgenommen, das seine Länge veränderbar ist. Hierzu besteht er bspw. aus zwei, auch während des Prozesses, teleskopartig ineinanderschließbaren Teilen. Eines der Rohre kann mit Längsschlitzes und zwischen ihnen stehen gebliebenen federnden Lappen versehen sein. In einem zwischen den Rohren im Überlappungsbereich befindlichen Ringspalt ist günstigerweise eine Mikrowellen-dichtung vorgesehen. Zum Übergang vom Koaxialleiter in den Rezipienten ist eine Vakuumdurchführung der Elektrode und des Prozeßgases vorgesehen; eine effiziente Kopplung der elektromagnetischen Welle wird so ermöglicht.

[0007] Die Erfindung wird nachstehend an Hand der schematischen Zeichnung zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Kreuzkopplung eines Rechteckhohlleiters mit einem Koaxialleiter im Längsschnitt,
- Fig. 2 eine Axialkopplung eines Rundhohlleiters mit einem Koaxialleiter im Längsschnitt und
- Fig. 3 eine vergrößerte Darstellung der Vorderansicht der Düse.

[0008] In Fig. 1 ist an einen Rechteckhohlleiter 1 mit einer Längsachse X-X ein zylindrischer Koaxialleiter 2 mit einer Längsachse Y-Y über ein Koppelstück 3 in der Nähe eines seiner Enden so angekoppelt, daß die Längsachsen X-X und Y-Y rechtwinklig zueinander gerichtet sind.

Das Koppelstück 3 ist schüsselartig mit einer zentralen Öffnung 4 und einem peripheren Flansch 5 gestaltet und enthält eine Aufnahmescheibe 6 für ein Zwischenstück

7 aus Isoliermaterial. Die Scheibe 6 ist mit Hilfe eines mit dem peripheren Flansch 5 verschraubten Ringes 8 starr und dicht mit dem Koppelstück 3 verbunden. Der zentralen Öffnung 4 im Koppelstück 3 entspricht eine gleiche Öffnung 9 im Rechteckhohlleiter 1, die ebenfalls von einem Flansch 10 umgeben ist, an dem das Koppelstück 3 festgeschraubt ist. Der Ring 8 ist Endteil eines Hohlleiters 20, der einen Isolator 11 enthält und an dessen anderem Ende sich ein Rezipient 12 befindet. Aufnahmescheibe 6, Zwischenstück 7 und Isolator 11 sind hinreichend massiv ausgeführt und bilden zusammen einen gasdichten, thermisch isolierenden, jedoch für Mikrowellen durchlässigen Übergang zwischen dem Rechteckhohlleiter 1 und dem Hohlleiter 20. Darüber hinaus muß das Zwischenstück 7 dielektrische Eigenschaften aufweisen, die eine reflexarme Wellenleitung am Übergang gewährleisten.

Am Zwischenstück 7 ist auf seiner dem Rezipienten 12 zugewandten Seite eine aus einer Metall-Keramik-Legierung bestehende, kegelförmige Elektrode 13 befestigt, die ebenso wie das Zwischenstück 7 eine axiale Durchführung 14 aufweist, in die am freien Ende der Elektrode 13 eine Düse 22 fest oder auswechselbar eingesetzt, vorzugsweise eingeschraubt ist. Die Längsachse der Elektrode 13 koinzidiert mit der Achse Y-Y. Auf der anderen Seite des Zwischenstücks 7 schließt sich an die Durchführung 14 ein mit einer Axialbohrung 15 versehenes Messingteil 16 mit einem isolierenden, die Axialbohrung 15 fortsetzenden Verbindungsstück 17 an, das zu einem Gasanschluß 18 führt. Gehaltert wird das Verbindungsstück 17 durch einen mit dem Rechteckhohlleiter 1 dicht verschraubten flachen Träger 19. Der zylindrische Hohlleiter 20 und die Elektrode 13 bilden zusammen einen Koaxialleiter 2. Die kegelförmige Elektrode 13 befindet sich in einer entsprechenden Ausnehmung 21 des Isolators 11 so, daß die Düse 22 den Isolator 11 rezipientenseitig überragt.

Der Rechteckhohlleiter 1 ist am anderen Ende mit einem Magnetron 23 versehen, von dem Mikrowellen erzeugt und durch den Leiter 1 gesendet werden. Zwei Schrauben (Stepps) 24 dienen zur Beeinflussung der Mikrowellen auf die Kopplung.

Die vom Magnetron 23 erzeugten Mikrowellen laufen durch den Leiter 1 und werden von den Schrauben 24 auf die Kopplung abgestimmt. Durch die Kreuzkopplung erfolgt eine Auskopplung einer longitudinalen Welle in den Koaxialleiter 2, und es entsteht ein axiales elektromagnetisches Feld. Die Kreuzkopplung besteht aus einem Koppelstift, der im wesentlichen mit der Elektrode 13 identisch ist, mit der dieser in den Rundhohlleiter 20 hineinragt und mit diesem die Koaxialleitung bildet. Der Koppelstift 13 hat die Aufgabe das Prozeßgas zu führen und ein Plasma bzw. eine Plasmaflamme 25 an der Öffnung der Düse 22 entstehen zu lassen. Die Gaszuführung in den Koppelstift erfolgt vom äußeren Gasanschluß 18 über die Bohrungen 15 im aus Teflon bestehenden Verbindungsstück 17 und im Messingteil 16 sowie die Durchführung 14 im ebenfalls aus Teflon beste-

henden Zwischenstück 7. Das Messingteil 16 gewährleistet auch eine gute Ankopplung der Mikrowelle. Die Elektrode 13 ist durch das Verbindungsstück 7 isoliert im Koaxialleiter 2 befestigt. Die Geometrie der Elektrode 13 ist optimal auf die Verfahrensanforderungen abgestimmt. Sie gewährleistet eine maximale Durchschlagfestigkeit. Wichtig für den Betrieb ist ihre günstige Länge, die durch die mittels Gewinde in der Elektrode 13 verstellbare Durchführung 14 veränderbar ist. Ihr Querschnitt ist so gewählt, daß der Koaxialleiter 2 eine optimale Leitung der elektromagnetischen Welle gewährleistet und an der Düsen Spitze die höchste Feldstärke auftritt. Dies ist sehr wichtig, da an der Stelle der größten Feldstärke das Plasma zündet. Die Düse 22 ist aus einem speziellen Material gefertigt. Sie besteht aus einem Verbundmaterial, welches keramische Anteile besitzt und metallisch leitend ist. Die Keramik erfüllt die Aufgabe, der thermischen Isolierung der Plasmawolke zur Elektrode 13. Ein Betreiben des Plasmas ist bis zu einem Druck von 35 kPa möglich. Damit ist ein erheblich größerer Massendurchsatz erreichbar. Dies ist ein großer Vorteil, um sehr viel mehr Reaktionspartner in einem entsprechenden Prozeß erzeugen zu können. Dadurch ist es möglich, die Prozeßzeiten durch den erheblich erhöhten Massendurchsatz stark zu senken. Ein weiterer Vorteil dieses Brenners ist, daß diese Parameter mit Luft als Prozeßgas ebenfalls erreicht werden. Dadurch entfallen alle teuren Zusatzgase, wie zum Beispiel Edelgase (Argon).

[0009] In Fig. 2 ist ein mit einem Steuergerät 26 verbundenes, luftgekühltes Magnetron 23 mit einem Lüfter 27, einem Temperaturwächter 28 und einem Heiztrafo 29 auf einer Grundplatte 30 befestigt. Das Magnetron 23 zur Erzeugung der Mikrowellen hat 2 kW Leistung und strahlt elektromagnetische Wellen mit einer festen Frequenz von 2,45 GHz und einer Wellenlänge von 12,24 cm ab. Seine Leistung ist durch das Steuergerät 26 linear zwischen 10% und 100% der maximalen Leistung regelbar. Mit dem Resonator des Magnetrons 23 steht der Temperaturwächter mit Thermo-Schalter in Verbindung. Bei einer Temperatur von 120°C schaltet er das Magnetron aus Sicherheitsgründen ab.

Die Grundplatte 30 ist an einem Rundhohlleiter 31 befestigt, der ein inneres Rohr 32 mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Wandstärke von 2 mm und ein äußeres Rohr 33 mit einem Durchmesser von 104 mm und einer Wandstärke von 2 mm aufweist. Die Rohre 32, 33 sind sehr gut ineinander gepaßt und teleskopartig gegeneinander verschiebbar. Mit einer Klemmschraube 34 sind sie zueinander fixierbar. Das äußere Rohr 33 ist zur Erzeugung einer gewissen Pressung beim Verschieben mit Längsschlitz 35 versehen, von denen nur einer erkennbar ist, so daß am Außenrohr 33 zwischen den Schlitz 35 federnde, leicht gegen das Innenrohr drückende Lappen entstehen, die ein ungewolltes Verschieben beider Rohre 32, 33 gegeneinander auch bei gelöster Klemmung weitestgehend verhindern. Gleichzeitig wird dadurch der elektrische Kontakt zwi-

schen den Rohren 32, 33 verbessert, und es werden Überschlüge zwischen den Rohren vermieden. Um eine Mikrowellendichtheit des Rundhohlleiters 31 zu gewährleisten, kann in den Ringspalt zwischen beiden Rohren 32, 33 eine Mikrowellendichtung 36, bspw. in Form einer Metallgaze, eingeschoben sein. Das Außenrohr 33 ist an seinem dem Magnetron 23 abgewandten Ende mit einem Flansch 37 versehen, über den die axiale Kopplung mit einem sich anschließenden Koaxialleiter 2 erfolgt, der mit dem Rundhohlleiter 31 eine gemeinsame Längsachse X-Y hat. Durch diese Kopplung wird eine longitudinale Welle in den Koaxialleiter 2 eingekoppelt, und es entsteht ein axiales elektrisches Feld. Der Koaxialleiter 2 wie auch ein sich daran anschließender Rezipient 12 haben denselben Durchmesser bzw. Querschnitt wie das äußere Rohr 33. Dadurch erfüllt der Rezipient 12 gleichzeitig die Aufgabe eines Hohlleiters, der die seitliche Ausbreitung der Wellen verhindert und auf diese Weise Mikrowellenleistung über einen beträchtlichen Weg hinter der Düse 22 entlang der Achse X-Y (ebenso der Achse Y-Y in Fig. 1) in das Plasma 25 einkoppelt. Der Koaxialleiter 2 hat an seinem dem Rundhohlleiter 31 zugewandten Ende ebenfalls einen Flansch 38, der dem Flansch 37 angepaßt, mit diesem verschraubt ist und mit diesem im wesentlichen ein Koppelstück bildet, das dem Koppelstück 3 der Fig. 1. entspricht. Beide Flansche 37, 38 umgreifen die Peripherie einer Aufnahmescheibe 6 aus beliebigem Material (Aluminium, Quarzglas) und halten diese vakuumdicht und fest. In dieser Scheibe 6 ist über ein Zwischenstück 7 aus PIFE der Innenleiter 39 der Koaxialleitung 2 elektrisch isoliert aufgehängt. Die Verwendung von Teflon hat den Vorteil, daß es einfach bearbeitbar ist und eine dauerhafte Vakuumdichtheit garantiert. Diese Vakuumdurchführung erfüllt weiterhin die Aufgabe der Mikrowellendurchführung in den Rezipienten 12 und der thermischen Isolierung des Hohlleiters 32 vom heißen Plasma 25. Der Innenleiter 39 dient der Ankopplung von Rundhohlleiter und Rezipient, der Gaszufuhr und der Expansion des Gases über eine in eine Elektrode 13 eingeschraubte Düse 22 in den Rezipienten 12. Seine Position im Koaxialleiter 2 und seine Länge sind zur Abstimmung der Mikrowelle verstellbar. Die Elektrode 13 ist am Zwischenstück 7 befestigt und besitzt wie dieses eine Durchführung 14 zur Gaszufuhr. An diese Durchführung 14 kann ein Druckluftschlauch 40 aus PE (Polyäthylen) über ein Messingteil (ähnlich wie in Fig. 1) angeschlossen sein. Zwischenstück 7, Elektrode 13 und Düse 22 bilden eine Antenne, deren Außendurchmesser 20 mm beträgt. Ihre Längsachse fällt mit der Achse X-Y zusammen. An der am Ende der Antenne eingeschraubten Düse 22 entzündet sich das Plasma 25. Eine lösbare Verbindung zwischen Elektrode 13 und Düse 22 ist wichtig, um die Düse 22 austauschen oder erneuern zu können. Da die Düse 22 sehr hohen thermischen Belastungen ausgesetzt ist, ist sie aus hochtemperaturbeständigem Stahl gefertigt; bspw. wird eine metallische Legierung mit einer maximalen Betriebstemperatur von 1425 °C

verwendet. Dieses Material zeichnet sich dadurch aus, daß die Düse 22 metallisch leitend ist und unter Einfluß hoher Temperaturen eine keramische Oberfläche ausbildet, die den hohen Temperaturen standhalten kann. Da die Frequenz der benutzten Mikrowelle unterhalb der Plasmafrequenz liegt, kann sie sich im Plasma 25 nicht ausbreiten. Um also einen möglichst guten Energieeintrag in das Plasma 25 zu realisieren, muß die Oberfläche der Plasmawolke ein Maximum annehmen. Deshalb sorgt die Düse 22 für eine starke Verwirbelung des Plasmas 25. Hierfür sind gemäß Fig. 3 in die Austrittsebene 41 der Düse 22 vier außeraxial, vorzugsweise in regelmäßiger Anordnung auf einem Kreis 42 liegende Gasaustrittsöffnungen 43 mit je einem Durchmesser von 1 mm vorgesehen. Zur thermischen Isolierung der Plasmaflamme von den Flanschen 37, 38 bzw. der scheibenförmigen Aufnahme 6 ist zwischen dieser und der Plasmaflamme 25 ein thermischer Isolator 11 angeordnet, durch den die Elektrode 13 mit der Düse 22 hindurchragt.

Der Rezipient 12 besteht ebenso wie der Koaxialleiter 2 aus einem Rohr mit einem Durchmesser von 104 mm, einer Wandstärke von 2 mm und einer Länge von 300 mm. Er kann mit nicht dargestellten Mitteln zur Temperaturmessung, zum Abpumpen und zur Beobachtung der Flamme versehen sein. Als Prozeßgas kann vorteilhaft Luft verwendet werden. Der Betrieb des Plasmas 25 ist bis zu einem Druck von 100 kPa möglich. Damit kann ein noch größerer Massendurchsatz erreicht werden. Die erfindungsgemäße Axialkopplung ist besonders gut geeignet, um im Rezipienten eine möglichst hohe Energie und viele Radikale zu erzeugen. Insgesamt bietet die erfindungsgemäße Axialkopplung folgende Vorteile:

- Sie ermöglicht eine effiziente Ausnutzung der Mikrowellenleistung.
- Sie ermöglicht einen unkomplizierten Aufbau.
- Sie gewährleistet einen hohen maximalen Betriebsdruck und Massendurchsatz.
- Sie vermeidet die Energieverluste der Kreuzkopplung.

[0010] Anstatt mit der Klemmschraube 34 kann die gegenseitige Fixierung der Rohre 32, 33 mit einer beide umgreifenden Schelle vorgenommen werden. Zur Längenveränderung des Rundhohlleiters 31 können auch ein Membranbalg und auswechselbare Rundhohlleiterstücke verwendet werden. Der schnellen, einfachen und genauen Abstimmung der Rundhohlleiterlänge ist es dienlich, den Membranbalg auch während des Betriebes der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Stufen oder stufenlos entlang einer Linearführung verstellen zu können.

Bezugszeichenliste**[0011]**

1	Rechteckhohlleiter
2	Koaxialleiter
3	Koppelstück
4,9	Öffnungen
5, 10, 37, 38.	Flansche
6	Aufnahmescheibe
7	Zwischenstück
8	Ring
11	Isolator
12	Rezipient
13	Elektrode (Koppelstift)
14	Durchführung
15	Axialbohrungen
16	Messingteil
17	Verbindungsstück
18	Gasanschluß
19	Träger
20	Hohlleiter
21	Ausnehmung
22	Düse
23	Magnetron
24	Schrauben
25	Plasma
26	Steuergerät
27	Lüfter
28	Temperaturwächter
29	Heiztrafo
30	Grundplatte
31	Rundhohlleiter
32	inneres Rohr (Innenrohr)
33	äußeres Rohr (Außenrohr)
34	Klemmschraube
35	(Längs-)Schlitze
36	Mikrowellendichtung
39	Innenleiter
40	Druckluftschlauch
41	Austrittsebene der Düse
42	Kreis
43	Gasaustrittsöffnungen
X-X, Y-Y, X-Y	(Längs-)Achsen

Patentansprüche

1. Plasmabrenner mit einem Mikrowellensender (23), einem Hohlleiter (1; 31) für die gesendeten Mikrowellen und einem Koaxialleiter (2), in dem sich eine mit einer Durchführung (14) versehene Elektrode (13) und eine am dem Hohlleiter (1;31) abgewandten Ende der Durchführung (14) vorgesehene Düse (22) im wesentlichen in axialer Anordnung befinden, wobei an der Düse (22) eine Plasmawolke (25) erzeugt wird, die in einen Rezipienten (12) gerichtet ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektrode

(13) hohlleiterseitig mit einem elektrisch und thermisch isolierenden, für Mikrowellen durchlässigen Zwischenstück (7) gasdicht verbunden ist, das wie die Elektrode (13) mit einer axialen Durchführung (14) versehen ist, und daß das Zwischenstück (7) in einer scheibenförmigen Aufnahme (6) angeordnet ist, die in einem den Hohlleiter (1; 31) und den Koaxialleiter (2) verbindenden Koppelstück (3; 37,38) befestigt ist.

2. Plasmabrenner gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektrode (13) als Kegelstumpf ausgebildet ist.

3. Plasmabrenner gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Düse (22) auswechselbar in der Durchführung (14) befestigt ist.

4. Plasmabrenner gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Düse (22) mit der Elektrode (13) parallel und rechtwinklig zur Elektrodenlängsachse verstellbar ist.

5. Plasmabrenner gemäß Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die isolierende Verbindung der Elektrode (13) mit dem Koppelstück (3; 37, 38) die Form eines in einer variablen Aufhängung befindlichen Zwischenstücks hat.

6. Plasmabrenner gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Längsachse Y-Y der Elektrode (13) quer zur Längsachse X-X des Hohlleiters (1) gerichtet ist.

7. Plasmabrenner gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Längsachse der Elektrode (13) parallel zur gemeinsamen Längsachse X-Y von Hohlleiter (31) und Koaxialleiter (2) gerichtet ist.

8. Plasmabrenner gemäß Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** hohlleiterseitig der Elektrode (13) und dem Zwischenstück (7) ein mit einer Bohrung (15) versehenes Messingteil (16) vorgeordnet ist, wobei die Bohrung (15) sich in der Verlängerung der Durchführungen (14) von Elektrode (13) und Zwischenstück (7) befindet.

9. Plasmabrenner gemäß den Ansprüchen 6 und 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Durchführungen (14) über die Bohrungen (15) des Messingstückes (16) und eines Verbindungsstückes (17) mit einem Gasanschluß (18) in Verbindung stehen.

10. Plasmabrenner gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Düse (22) aus einer keramisch-metallischen Verbindung besteht.

11. Plasmabrenner gemäß den Ansprüchen 6 oder 7,

dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Plasmawolke (25) und der scheibenförmigen Aufnahme (6) ein thermischer Isolator (11) vorgesehen ist, den die Düse (22) in Richtung des Rezipienten (12) überragt.

12. Plasmabrenner gemäß Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Hohlleiter (1) mindestens eine quer zu seiner Längsachse X-X verstellbare Schraube (24) zum Abstimmen des Mikrowellenfeldes angeordnet ist.
13. Plasmabrenner gemäß Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hohlleiter (31) aus zwei teleskopartig ineinander verstellbaren und Rohren (32,33) besteht.
14. Plasmabrenner gemäß Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** eines, vorzugsweise das äußere (33) der beiden Rohre (32, 33) über einen Teil seiner Länge mit Längsschlitzen (35) versehen ist.
15. Plasmabrenner gemäß Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Klemmmittel (34) zum Feststellen der Rohre (32, 33) vorgesehen ist.
16. Plasmabrenner gemäß einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** in einem Ringspalt zwischen den beiden Rohren (32, 33) eine Mikrowellendichtung (36) vorgesehen ist.
17. Plasmabrenner gemäß Anspruch 1, 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Düse (22) Gasaustrittsöffnungen (43) aufweist, die sich außerhalb der Düsenachse X-Y befinden.
18. Plasmabrenner gemäß Anspruch 1 mit Rezipient (12), **dadurch gekennzeichnet, daß** der einen gleichen Querschnitt hat wie der Hohlleiter (31) für die gesendeten Mikrowellen und beträchtlich über die Düsenspitze hinausragt.

Claims

1. A plasma torch comprising a microwave transmitter (23), a hollow guide (1; 31) for the emitted microwaves, a coaxial guide (2), in said coaxial guide in a substantially axial arrangement being provided: an electrode (13) including a passageway (14), and a nozzle (22) being arranged at that end of the passageway (14) facing away from the hollow guide (1; 31), whereby a plasma cloud (25) is produced at the nozzle (22), said plasma cloud (25) being directed towards a recipient (12), **characterized in that**, on the side opposite to the hollow guide, said electrode (13) is connected gas-tightly, but transmissive to microwaves to an electrically and thermally insulating

intermediate member (7), which like the electrode (13) is provided with an axial passageway (14), and **in that** said intermediate member (7) is arranged in a disk-shaped mount (6), which is secured to and in a coupling member (3; 37, 38) connecting said hollow guide (1; 31) and said coaxial guide (2).

2. A plasma torch as claimed in claim 1, **characterized in that** said electrode (13) is designed as a truncated cone.
3. A plasma torch as claimed in claim 1, **characterized in that** said nozzle (22) is exchangeably secured in said passageway (14).
4. A plasma torch as claimed in claim 2, **characterized in that** said nozzle (22) with said electrode (13) is adjustable in parallel and at right angles to the longitudinal axis of said electrode.
5. A plasma torch as claimed in claim 4, **characterized in that** the insulating connection of the electrode (13) with the coupling member (3; 37, 38) has the shape of an intermediate member provided in a variable suspension.
6. A plasma torch as claimed in claim 5, **characterized in that** the longitudinal axis Y-Y of the electrode (13) is transversally directed to the longitudinal axis X-X of the hollow guide (1).
7. A plasma torch as claimed in claim 5, **characterized in that** the longitudinal axis of the electrode (13) is directed in parallel to the common longitudinal axis (X-Y) of the hollow guide (31) and of the coaxial guide (2).
8. A plasma torch as claimed in claim 6 or 7, **characterized in that** a brass member (16) provided with a bore (15) is pre-positioned to that side of said electrode (13) and said intermediate member (7), which is opposite to said hollow guide, said bore (15) being arranged in the extension of the passageways (14) through said electrode (13) and said intermediate member (7).
9. A plasma torch as claimed in claims 6 and 8, **characterized in that** the passageways (14) are connected to a gas inlet (18) via the bores (15) of the brass member (16) and a connecting member (17).
10. A plasma torch as claimed in claim 1, **characterized in that** the nozzle (22) is made of a ceramic-metallic combination.
11. A plasma torch as claimed in claim 6 or 7, **characterized in that** a thermal insulator (11) is provided between the plasma cloud (25) and the disk-shaped

mount (6), the nozzle (22) projecting beyond said thermal insulator in direction of said recipient (12).

12. A plasma torch as claimed in claim 6, **characterized in that** at least one screw (24) is provided in said hollow guide (1), said screw being adjustable transversally to the longitudinal axis X-X of said hollow guide for tuning the microwave field.
13. A plasma torch as claimed in claim 7, **characterized in that** said hollow guide (31) is composed of two tubes (32, 33) which are adapted to be telescope-like slid in and adjusted to one another.
14. A plasma torch as claimed in claim 13, **characterized in that** one of the two tubes (32, 33), preferably the outer one (33), is provided with longitudinal slots (35) along a part of its length.
15. A plasma torch as claimed in claim 13 or 14, **characterized in that** a clamping means (34) is provided for arresting the tubes (32, 33).
16. A plasma torch as claimed in claims 13 to 15, **characterized in that** a microwave seal (36) is provided in an annular groove between the two tubes (32, 33).
17. A plasma torch as claimed in claim 1, 5 or 6 **characterized in that** the nozzle (22) is provided with gas exit orifices (43), which are located outside of the nozzle axis X-Y.
18. A plasma torch as claimed in claim 1 having a recipient (12), **characterized in that** the recipient (12) is of a same cross-section as the hollow guide (31) for the emitted microwaves and considerably projects beyond the nozzle tip.

Revendications

1. Le chalumeau à plasma doté d'une source micro-onde (23), d'un conducteur d'ondes creux (1;31) pour les micro-ondes émises et d'un conducteur coaxial (2) dans lequel sont placés, essentiellement en disposition axiale, une électrode (13) dotée d'une traversée (14) et une buse (22) montée sur l'extrémité de la traversée (14) opposée au conducteur creux (1;31) de la traversée, la buse (22) produisant un nuage de plasma (25) orienté vers un récipient (12), est **caractérisé en ce que** l'électrode (13), du côté du conducteur creux, est reliée à un raccord (7) pour former une unité étanche au gaz, isolant à la chaleur et électriquement, permettant la transmission de micro-ondes, le raccord (7) étant doté comme l'électrode (13), d'une traversée axiale et disposée dans une réception (6) en forme de dis-

que, qui, elle, est fixée dans un raccord (3; 37, 38) reliant le conducteur creux (1;31) au conducteur coaxial (2).

2. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 1 est **caractérisé en ce que** l'électrode (13) a la forme d'un tronc de cône.
3. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 1 est **caractérisé en ce que** la buse (22) est fixée de manière interchangeable dans la traversée (14).
4. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 2 est **caractérisé en ce que** la buse (22) portant l'électrode (13) est réglable en parallèle et de manière perpendiculaire par rapport à l'axe longitudinale de l'électrode.
5. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 4 est **caractérisé en ce que** la liaison isolante reliant l'électrode (13) au raccord d'accouplement (3; 37, 38) prend la forme d'une pièce de raccord intermédiaire logée dans une suspension variable.
6. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 5 est **caractérisé en ce que** l'axe longitudinale Y - Y de l'électrode (13) se trouve en position transversal par rapport à l'axe longitudinale X - X du conducteur creux (1).
7. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 5 est **caractérisé en ce que** l'axe longitudinale de l'électrode (13) se trouve en position parallèle par rapport à l'axe longitudinale commune X - Y du conducteur creux (31) et du conducteur coaxial (2).
8. Le chalumeau à plasma suivant les revendications 6 et 7 est **caractérisé en ce que** du côté du conducteur creux en amont de l'électrode (13) et du raccord intermédiaire (7) est disposée une pièce de laiton (16) pourvue d'un alésage (15) situé sur la prolongation des traversées (14) de l'électrode (13) et du raccord (7).
9. Le chalumeau à plasma suivant les revendications 6 et 8 est **caractérisé en ce que** les traversées (14) sont reliées à une conduite d'adduction de gaz (18) et par le biais des alésages (15) de la pièce de laiton (16) et d'un raccord (17).
10. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 1 est **caractérisé en ce que** la buse (22) est fabriquée en une combinaison céramo-métallique.
11. Le chalumeau à plasma suivant les revendications 6 ou 7 est **caractérisé en ce qu'**un corps isolant à la chaleur (11) est interposé entre le nuage de plasma (25) et la réception en forme de disque (6) dé-

passant la buse (22) en direction du récipient (12).

12. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 6 est **caractérisé en ce que** dans le conducteur creux (1) se trouve au moins une vis réglable (24) dans le sens transversal par rapport à l'axe longitudinale X-X pour accorder le champs des micro-ondes. 5
13. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 7 est **caractérisé en ce que** le conducteur creux (31) se compose de deux tubes (32, 33) réglables par voie télescopique. 10
14. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 13 est **caractérisé en ce que** sur un des deux tubes (32, 33), de préférence sur le tube extérieur (39), se trouvent des fentes longitudinales (35) disposées sur une partie du corps du tube. 15
20
15. Le chalumeau à plasma suivant les revendications 13 et 14 est **caractérisé en ce qu'il** est prévu d'avoir recours à un moyen de serrage (34) pour fixer les tubes (32, 33). 25
16. Le chalumeau à plasma suivant les revendications 13 à 15 est **caractérisé en ce qu'une** bague est intercalée entre les deux tubes (32, 33) pour assurer l'étanchéité aux micro-ondes (36). 30
17. Le chalumeau à plasma suivant les revendications 1, 5 ou 6 est **caractérisé en ce que** la buse (22) présentes en dehors de l'axe X-Y de la buse des orifices (43) permettant au gaz de s'échapper. 35
18. Le chalumeau à plasma suivant la revendication 1 avec récipient (12) est **caractérisé en ce que** le récipient (12) qui dépasse sensiblement la pointe de la buse, présente la même section que le conducteur creux (31). 40

45

50

55

