

(19)



(11)

**EP 2 016 809 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**01.07.2015 Patentblatt 2015/27**

(51) Int Cl.:  
**H05H 1/24 (2006.01) H05H 1/30 (2006.01)**  
**H05H 1/36 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **07724599.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2007/003669**

(22) Anmeldetag: **26.04.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2007/124910 (08.11.2007 Gazette 2007/45)**

(54) **KALTPLASMA-HANDGERÄT ZUR PLASMA-BEHANDLUNG VON OBERFLÄCHEN**  
 COLD PLASMA HAND SET FOR PLASMA TREATMENT OF SURFACES  
 APPAREIL PORTATIF A PLASMA FROID POUR LE TRAITEMENT DE SURFACES PAR PLASMA

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR**

- **WELTMANN, Klaus-Dieter**  
**18609 Ostseebad Binz (DE)**
- **STIEBER, Manfred**  
**17489 Greifswald (DE)**
- **KINDEL, Eckhard**  
**17489 Greifswald (DE)**

(30) Priorität: **27.04.2006 DE 102006019664**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**21.01.2009 Patentblatt 2009/04**

(74) Vertreter: **Rüedi, Regula Béatrice**  
**E. Blum & Co. AG**  
**Patent- und Markenanwälte VSP**  
**Vorderberg 11**  
**CH-8044 Zürich (CH)**

(73) Patentinhaber: **Neoplas GmbH**  
**17489 Greifswald (DE)**

(72) Erfinder:  
 • **FOEST, Rüdiger**  
**17498 Neuenkirchen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**GB-A- 1 222 243 US-A- 5 837 958**  
**US-B1- 6 565 558 US-B1- 6 958 063**

**EP 2 016 809 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2006 019 664.3, die am 27. April 2006 eingereicht wurde.

### Technisches Gebiet

**[0002]** Die Erfindung betrifft ein Plasmawerkzeug zur plasmagestützten Behandlung, Modifizierung und Beschichtung innerer und äußerer Oberflächen von Materialien an Luft mittels eines kalten Plasmastrahls entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

### Stand der Technik

**[0003]** Die Plasmatechnologie, insbesondere bei hohen Temperaturen und hohen Gasdrucken, ist schon lange bekannt und vielfach beschrieben, z.B. in US 3,648,015, US 4,626,648, DE 41 08 499 A1 und DE 101 40 298 B4.

**[0004]** In WO 03/026365 A1 wird eine Vorrichtung beschrieben, die es gestattet, mittels Mikrowellen ein Plasma zu erzeugen, wobei es die in WO 03/026365 beschriebene Vorrichtung gestattet, trotz allfälliger Druckschwankungen im Prozessgas, eine stabile Plasmaflamme zu erzeugen.

**[0005]** Ein weiterer Plasmagenerator, der ein Plasma mit hohen Temperaturen erzeugt, wird in der deutschen Auslegeschrift 1 639 257 beschrieben. Dabei handelt es sich um einen Hochfrequenz-Plasmastrahlgenerator mit einem zylindrischen Rohr, an dessen einer Stirnseite das zu ionisierende Gas zu- und an dessen anderer Stirnseite das erzeugte Plasma ausströmt, einer Induktionsspule, deren eines Ende an Masse liegt und dessen anderes Ende mit einem Hochfrequenzgenerator verbunden ist. Zwischen den beiden Enden der Spule ist ein Abgriff angeordnet. Die in der Induktionsspule erzeugte Hochfrequenzspannung ist höher als die Erregerspannung. Das Rohr im Bereich des Plasma-Austritts ist aus Metall und an das auf Hochspannung liegende Ende der Induktionsspule gelegt. Das Rohr ist konzentrisch und elektrisch isoliert von einem metallischen Gehäuse umgeben. Durch die spezielle Anordnung findet die Gasentladung zwischen den beiden benachbarten Enden von Rohr und Gehäuse auf Grund einer kapazitiven Kopplung zwischen diesen beiden Bauteilen statt.

**[0006]** Dieser Generator ist aber für die Erzeugung eines kalten Normaldruckplasmas mindestens aufgrund seiner Elektrodenform nicht geeignet.

**[0007]** Auch Niedertemperatur-Plasmen sind bereits bekannt und werden erfolgreich in zahlreichen Anwendungen zur Behandlung von Oberflächen zum Zweck der Oberflächenaktivierung (Veränderungen der Adhäsionseigenschaften, Hydrophobierung, Hydrophilierung) des Ätzens, der Polymerisation, zur Schichtabscheidung, zur Reinigung sowie zur Keimreduzierung eingesetzt. Allerdings wurden bisher für diese Prozesse vorrangig Nie-

derdruckplasmen genutzt, in denen die für diese Anwendungen erforderlichen Radikale, angeregten Atome, Ionen, Elektronen sowie UV-Strahlung durch die Wahl geeigneter Prozessparameter in definiertem Maße erzeugt werden können. Niederdruckplasma-Verfahren sind jedoch sowohl aus Kostengründen als auch aus verfahrenstechnischen Gründen für zahlreiche industrielle Prozesse, bei denen eine entsprechende Oberflächenmodifikation erforderlich ist, nicht geeignet.

**[0008]** Ein Normaldruck-Plasmaverfahren, das bei relativ tiefer Temperatur Wasserdampf zu ionisieren vermag, ist in EP 0 124 623 beschrieben. Dieses Verfahren ist aber in der industriellen Fertigung kaum einsetzbar.

**[0009]** Um plasmatechnologische Verfahren der Oberflächenbehandlung für potenzielle Anwender aus diesen Bereichen der Industrie nutzbar zu machen, müssen geeignete nichtthermische Normaldruck-Plasmaverfahren entwickelt werden, die wesentlich kostengünstiger sind und sich in entsprechende Fertigungsstrecken integrieren lassen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Normaldruck-Plasmenverfahren für diesen Anwendungsbereich ist die Erzeugung homogener Plasmen. Eine Möglichkeit, die erforderliche Homogenität zu erreichen, besteht darin, durch eine gerichtete Strömung des Arbeitsgases (Prozessgases) einen Plasmastrahl außerhalb des Entladungsraumes zu erzeugen.

**[0010]** Alle bekannten Arten von Entladungsplasmen, die unter Normaldruck-Bedingungen generiert werden, wie beispielsweise RF-Bogenentladungen, Funken-, Korona- und Barrierenentladungen, können durch die Realisierung geeigneter Prozessgasströmungen zur Erzeugung anisothermer Normaldruck-Strahlplasmen verwendet werden. Auf dieser Grundlage erzeugte Strahlplasmen sind Gegenstand verschiedener Patentschriften. So wird beispielsweise in der Patentschrift DE 3733492 eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Strahlplasmas mittels Koronaentladung vorgestellt, die zur Plasmabehandlung von Oberflächen geeignet ist. Dabei wird ein Gasstrom durch eine Koronaentladungsstrecke zwischen einer stabförmigen Innen- und einer rohrförmigen Außenelektrode durchgeleitet. In der Patentschrift DE 19532412 wird ein Verfahren zur Plasmabehandlung von Oberflächen beschrieben, das auf der Erzeugung eines Plasmastrahls durch Bogenentladung mit nichtübertragenem Lichtbogen basiert. Gegenstand der Patentschriften US 6,194,036, US 6,958,063 und US 6,262,523 sind Anordnungen auf der Grundlage der RF-Anregung von Normaldruck-Plasmen. In einem weiteren Patentdokument (US 2002/122896) werden verschiedene Anordnungen zur Erzeugung von Normaldruck-Plasmen auf der Grundlage von RF-angeregten Entladungen in Röhrchen aus Isoliermaterial beschrieben. Im Bereich der Medizin werden Plasmen dieser Art für die Argon-Plasma-Koagulation (US 4,781,175, US 4,060,088, DE 19513338), für Beschichtungen auf künstlichen Implantaten zur Erhöhung ihrer Biokompatibilität, zur Steuerung der Zelladhäsion auf Oberflächen, zur Entkeimung medizinischer

Instrumente (M. Laroussi: IEEE Trans. Plasma Sci. 30 4 (2002), 1409) sowie zur Behandlung biologischer Zellen und Gewebe (E. Stoffels et al.: Plasma Sources Sci. Technol., 11 (2002), 383) eingesetzt.

**[0011]** Die bisher in der Fach- bzw. Patentliteratur beschriebenen Anordnungen und Verfahren zur Oberflächenbehandlung mittels Normaldruck-Plasma sind Lösungen für eingeschränkte Aufgabenbereiche, die sich aufgrund ihrer speziellen Konstruktion und Arbeitsweise nicht bzw. nur bedingt an die Erfordernisse anderer Anwendungen anpassen lassen. Da die Aufgaben und Zielstellungen der Plasmabehandlung von Oberflächen sehr vielfältig sind, ist eine Lösung anzustreben, die eine derartige Adaption an unterschiedliche Erfordernisse hinsichtlich des zu behandelnden Materials oder Produktes bzw. des gewünschten Effektes auf der zu behandelnden Oberfläche ermöglicht. Anordnungen zur Erzeugung von Normaldruck-Plasmen auf der Grundlage von RF-angeregten Entladungen haben den Vorteil, dass sie einerseits bei festen Frequenzen betrieben werden können (13,56 MHz, 27,12 MHz, 40,68 MHz), die für industrielle Anwendungen freigegeben sind, und andererseits bei kleineren Spannungen erzeugt werden können. Sie haben allerdings auch einen wesentlichen Nachteil, der im Folgenden erläutert werden soll.

**[0012]** Hochfrequenzbetriebene Plasmareaktoren benötigen zur maximalen Leistungsübertragung aus dem sie speisenden RF-Generator ein Anpassungsnetzwerk (Matchbox). Eine oft verwendete Schaltungsform in der Matchbox ist die n-Schaltung. Sie besteht aus zwei Kondensatoren C1 und C2 und einer Spule (s. Fig. 1). Um die Verluste in der Matchbox niedrig zu halten, werden Kondensatoren mit Luft als Dielektrikum verwendet, die ein großes Volumen einnehmen. Da der Stromtransport bei diesen Frequenzen in der Hauptsache auf der Oberfläche eines elektrischen Leiters erfolgt (Skinneffekt), bestehen die Spule und alle anderen elektrischen Zuführungen aus einem relativ dicken Metalldraht mit hoher elektrischer Leitfähigkeit auf der Oberfläche (Silberdraht, versilberter Kupferdraht). Dadurch bedingt ist eine solche Matchbox im Allgemeinen sehr voluminös. Zur Zündung und Aufrechterhaltung einer Gasentladung in dem Plasmareaktor werden hohe Spannungen benötigt. Diese werden in der Matchbox erreicht und zwar dadurch, dass die Spule und der Kondensator C2 einen Reihenresonanzkreis bilden, der auf die jeweilig verwendete Frequenz des RF-Generators abgestimmt sein muss. Zur Verhinderung von Verlusten sollte die Zuleitung Z2 aus einer ungeschirmten Leitung bestehen und so kurz wie möglich gehalten werden. Dadurch bilden die Matchbox und der Plasmareaktor faktisch eine relativ starre, unhandliche Einheit. Will man als Plasmareaktor eine handliche Plasmadüse realisieren, die beispielsweise durch einen Roboter geführt werden kann, so ist ein derart unhandlicher Plasmareaktor unbrauchbar.

**[0013]** Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine handliche Plasmadüse zu realisieren, die auch von Hand und/oder durch Roboter geführt werden

kann.

#### Darstellung der Erfindung

**[0014]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurde nun gefunden, dass eine sehr handliche Plasmadüse erhalten werden kann, wenn auf ein Anpassungsnetzwerk in Form einer separaten Matchbox verzichtet wird. Erfindungsgemäß werden deshalb die Spule und der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert. Ein allenfalls benötigter Kondensator C1 kann irgendwo zwischen dem Generator und der Plasmadüse angeordnet sein, vorzugsweise aber wird der Kondensator C1 unmittelbar am Generator außerhalb (kurze Zuleitung) oder direkt innerhalb positioniert. Dadurch werden folgende Verbesserungen erreicht:

1. Die Zuleitung Z1 (Koaxialkabel) vom Generator zur Plasmadüse kann wesentlich flexibler und länger gestaltet werden als dies für die Zuleitung Z2 gemäss Stand der Technik jemals möglich gewesen wäre.

2. Änderungen in der Länge der Zuleitung Z1 sind mit Änderungen in der Kabelkapazität verbunden, die durch Änderung von C1 kompensiert werden können.

3. Die Zuleitung Z2 wird durch das Spulenende zur Elektrode E1 gebildet und kann deshalb extrem kurz gestaltet werden.

4. Die zwischen den Elektroden E1 und E2 gebildete Kapazität liegt parallel zu C2. Änderungen dieser Kapazität durch Toleranzen in der Herstellung der Plasmadüse oder bei Zündung des Plasmas können durch Veränderung von C2 kompensiert werden, so dass die Resonanzbedingung erhalten bleibt.

5. Durch die sehr kurze Zuleitung Z2 wird automatisch die Gesamtkapazität, gebildet aus der Kapazität C2 und der Kapazität zwischen E1 und E2, klein gehalten, so dass die Induktivität L entsprechend der Festfrequenz maximal gewählt werden kann und somit eine hohe Güte des Reihenresonanzkreises (Erzeugung einer hohen Spannungsüberhöhung) erreicht werden kann.

**[0015]** Das erfindungsgemäße Plasmawerkzeug für die Erzeugung eines kalten Plasmastrahls umfasst eine Plasmadüse mit einem Hohlkörper für die Zuführung eines Prozessgases oder eines Prozessgasgemisches, einen Frequenzgenerator und ein aus mindestens einer Spule und einem Kondensator C2 und gegebenenfalls einem Kondensator C1 bestehendes Anpassungsnetzwerk zur Erzeugung der benötigten Spannung und ist dadurch gekennzeichnet, dass vom Anpassungsnetzwerk mindestens die Spule und der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert sind.

**[0016]** Insbesondere bei einer Plasmadüse, die mit einem Festfrequenz-RF-Generator (13.56 MHz; 27.12 MHz; 40.68 MHz) betrieben wird, sind vom Anpassungs-

netzwerk die Spule L und der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert.

**[0017]** Der Kondensator C1 des Anpassungsnetzwerks kann direkt an oder im Frequenzgenerator angeordnet sein und er ist vorteilhafterweise dort angeordnet.

**[0018]** In einer speziellen Ausführungsform enthält die Plasmadüse eine Kapillare aus isolierendem Material und die Spule ist um diese Kapillare herum angeordnet.

**[0019]** In einer speziell bevorzugten Ausführungsform, in der der Frequenzgenerator ein Hochfrequenzgenerator ist, besteht das Anpassungsnetzwerk (Matchbox) aus einer Spule und zwei Kondensatoren C1 und C2 mit deren Verbindungen. Die Spule und der Kondensator C2 sind in die Plasmadüse integriert und der Kondensator C1 ist direkt am oder im Generator angeordnet.

**[0020]** Obschon diese Beschreibung lediglich zwei Kondensatoren C1 und C2 nennt, wird hier klar festgehalten, dass die Kondensatoren C1 und C2 aus mehreren Teilkondensatoren aufgebaut sein können und dass solche aus Teilkondensatoren aufgebaute Kondensatoren im Rahmen dieser Erfindung ebenfalls als C1 und C2 bezeichnet werden.

**[0021]** Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Plasmadüse, in die mindestens eine Spule und ein Kondensator C2 integriert sind. Diese können, wie oben beschrieben und in den Ausführungsbeispielen resp. den Figuren gezeigt, eingebaut sein.

**[0022]** Beschrieben aber nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Frequenzgenerator, in den entweder ein als Kondensator C1 eines Anpassungsnetzwerkes geeigneter Kondensator integriert oder unmittelbar am Ausgang des Generators montiert ist.

**[0023]** Wie bereits oben beschrieben, bezieht sich die Ausführungsform mit einem Kondensator C1 und einem Kondensator C2 insbesondere auf kommerziell erhältliche RF-Generatoren mit einer Festfrequenz, wie sie z.B. in Deutschland von der Post für technische Belange freigegeben sind. Eine Vereinfachung und damit auch kostengünstigere Variante der Kombination RF-Generator - Plasmadüse ergibt sich beim Übergang zu niedrigeren Frequenzen (z.B. 3 MHz) und bei Verwendung eines Generators mit variabler Frequenz. Bei einer solchen Ausführungsform, die nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist, können beide Kondensatoren C1 und C2 entfallen, so dass sich vom Anpassungsnetzwerk in der Plasmadüse neben einem Teil der Leitungen nur noch die Spule befindet, die zusammen mit dem durch die Elektroden E1 und E2 gebildeten Kondensator einen Reihenschwingkreis bildet. In dieser Ausführungsform kann der Resonanzzustand durch Variation der Generatorfrequenz eingestellt werden.

**[0024]** Eine erfindungsgemäße Plasmadüse umfasst im allgemeinen einen körperseitig, d.h. auf der dem Plasma resp. der Düse abgewandten Seite der Plasmadüse, mit einer Prozessgaszuführung verbundenen Hohlkörper. Dieser Hohlkörper besteht vorzugsweise aus Isoliermaterial. In einer besonders platzsparenden Variante ist die einen Teil des Anpassungsnetzwerkes bildende

Spule um einen Teil dieses Hohlkörpers herum angeordnet. Die Abmessungen des Hohlkörpers, oder diese Abmessungen zusammen mit einem weiteren Körper, vorzugsweise einem Isolierkörper, sind derart zu wählen, dass die Spule mit gewünschtem Windungsdurchmesser darauf angeordnet werden kann. Diese Spule muss - sofern der Hohlkörper oder weitere Körper, auf dem sie angeordnet ist, nicht aus Isoliermaterial besteht, selbst isoliert sein. Diese Spule ist düsenseitig mit einer Elektrode E1 und gegebenenfalls einem variablen Kondensator C2 verbunden. Die Elektrode E1 kann wahlweise eine um den isolierenden Hohlkörper herum angeordnete Ringelektrode oder eine in dem Hohlkörper angeordnete Stabelektrode sein. Der Kondensator C2 und die Spule sind in Reihe geschaltet, so dass sich damit die bei gegebener Frequenz benötigte Spannung einstellen lässt. Auf der der Spule abgewandten Seite ist der Kondensator C2 mit dem geerdeten Gehäuse verbunden. In einem für die Plasmaerzeugung geeigneten Abstand von der ersten Elektrode E1 und am düsenseitigen Ende des Hohlkörpers auf diesem angeordnet ist eine Ringelektrode E2, die mit dem geerdeten Gehäuse verbunden ist. Dieses Gehäuse weist Zuführungen für den elektrischen Strom und Zuführungsöffnungen für das Prozessgas auf sowie eine Austrittsöffnung für das Plasma innerhalb der zweiten Elektrode E2. Zwischen der Spule und dem geerdeten Gehäuse ist eine weitere Isolierschicht vorhanden, die insbesondere bei geringem Zwischenraum zwischen der Spule und dem Gehäuse wichtig ist. Die Verbindungsleitung zwischen der Elektrode E1 und dem Kondensator C2 liegt üblicherweise spulenseitig auf der das Gehäuse abschirmenden Isolierung auf und ist ihrerseits mit einer Isolierschicht versehen.

**[0025]** Für die Erzeugung eines kalten Plasmas ist es wichtig, dass die beiden Elektroden E1 und E2 gut gegeneinander isoliert sind. Dadurch wird die Ausbildung einer Bogenentladung verhindert, die zu einer ungewollten Aufheizung des Plasmas führen würde.

**[0026]** Beispiele für geeignete Isoliermaterialien sind Kunststoff, Quarzglas, Keramik etc., die einzeln oder in Kombination verwendet werden können.

**[0027]** Da der Strom in der Spule primär über die Oberfläche fließt, ist ein Material mit hoher Leitfähigkeit zumindest an der Oberfläche bevorzugt, wie versilberter Kupferdraht oder reiner Silberdraht.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0028]** Weitere Ausgestaltungen, Vorteile und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und aus der nun folgenden Beschreibung anhand der Figuren.

Figur 1 zeigt die generelle Beschaltung eines RF-betriebenen, kapazitiv gekoppelten Plasmawerkzeuges, wobei Figur 1a) den Plasmareaktor allgemein und Figur 1b) die Plasmadüse darstellen.

Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungs-

form, bei der die Spule L und der Kondensator C2 in den Generator resp. die Düse integriert sind.

Figur 3 zeigt eine weitere nicht unter den Gegenstand der Erfindung fallende Ausführungsform mit einem Generator mit variabler Frequenz, bei der die Kondensatoren C1 und C2 entfallen können.

Figur 4 zeigt eine erfindungsgemäße Plasmadüse mit RF-Ringelektrode.

Figur 5 zeigt eine erfindungsgemäße Plasmadüse mit RF-Stabelektrode.

Figur 6 zeigt eine erfindungsgemäße Plasma-Breitstrahldüse mit RF-Ringelektrode.

#### Figurenlegende

**[0029]** Die Bezugszeichen in den Figuren haben allgemein die folgende Bedeutung:

- |    |  |
|----|--|
| 1  | Kapillarentladung  |
| 2  | Elektrode  |
| 3  | RF-Elektrode   |
| 4  | Hohlkörper (Kapillare), vorzugsweise aus Isoliermaterial |
| 5  | Isolierkörper  |
| 6  | Spule (auch als L bezeichnet)                            |
| 7  | RF-Eingang   |
| 8  | Gehäuse  |
| 9  | Prozessgas   |
| 10 | Strahlplasma / Plasmazone                                |
| 11 | RF Generator   |
| 12 | Matchbox   |
| 13 | Plasmareaktor  |
| 14 | Plasmadüse (Plasmareaktor)                               |

#### Weg(e) zur Ausführung der Erfindung

**[0030]** Die in Figur 1 dargestellten Ausführungsformen des Stands der Technik beziehen sich insbesondere auf kommerziell erhältliche RF-Generatoren mit einer Festfrequenz.

**[0031]** In der erfindungsgemäßen Ausführungsform, die in Figur 2 dargestellt ist, wurde das Anpassungsnetzwerk, die Matchbox, aufgetrennt, wobei der Kondensator C1 im RF-Generator und der Kondensator C2 sowie die Spule in die Plasmadüse integriert wurden. Eine Vereinfachung und damit auch eine kostengünstigere Variante der Kombination RF-Generator - Plasmadüse ergibt sich beim Übergang zu niedrigeren Frequenzen (z.B. 3 MHz) und bei Verwendung eines Generators mit variabler Frequenz. Diese Variante, bei der beide Kondensatoren C1 und C2 entfallen können, so dass sich in der Plasmadüse nur noch die Spule befindet, die zusammen mit dem durch die Elektroden E1 und E2 gebildeten Kondensator einen Reihenschwingkreis bildet, und die nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist, ist in Figur 3 dargestellt. In dieser Ausführungsform wird der Resonanzzustand durch Variation der Generatorfrequenz eingestellt.

**[0032]** In Fig. 4 ist ein Ausführungsbeispiel für eine Plasmadüse mit einer kapazitiv gekoppelten Kapillarentladung 1 gezeigt. Zwei metallische Ringelektroden 2, 3 sind in geeignetem Abstand auf einem Hohlkörper aus Isoliermaterial (Dielektrikum) 4 angebracht. Auf einen, den Hohlkörper 4 umschließenden Isolierkörper 5, ist eine Spule 6 gewickelt, die an einem Ende mit der RF-Elektrode 3 und an dem anderen Ende mit dem RF-Eingang 7 der Plasmadüse verbunden ist. Die RF-Elektrode 3 ist über einen Luft-Drehkondensator C2 mit dem geerdeten Gehäuse 8 verbunden. Über den Hohlkörper 4 wird das Prozessgas 9 (bevorzugt Edelgas) der Entladungszone zwischen den beiden Elektroden 2 und 3 zugeführt. Beide Elektroden 2 und 3 sowie das Dielektrikum 4 bilden eine Kapazität (einige pF), die parallel zu C2 liegt. Die Spule 6 bildet mit diesen Kapazitäten einen Reihenresonanzkreis und kann über C2 auf maximale Spannung an der Elektrode 3 abgeglichen werden. Ist über den Abgleich mit C2 eine ausreichend hohe Spannung an der Elektrode 3 erreicht worden, führt das zwischen den Elektroden 3 und 2 aufgebaute elektrische Feld zu einer Kapillarentladung, deren Plasma durch den Gasstrom 9 nach außen getrieben wird und ein Strahlplasma 10 bildet. Um den Spannungsabfall über dem Kondensator, gebildet aus der Elektrode 3, dem Dielektrikum 4 und dem Plasma innerhalb der Kapillare, klein zu halten, sollte ein Dielektrikum mit möglichst hoher Dielektrizitätskonstante gewählt werden.

**Geeignete Abmessungen und Materialien für die in Figur 4 beschriebene Ausführungsform sind:**

#### [0033]

- |    |  |
|----|--|
| 35 | Breite der metallischen Ringelektroden: 5mm  |
|    | Abstand der metallischen Ringelektroden: 5 mm  |
|    | Material der metallischen Ringelektroden: Edelstahl  |
|    | Dimensionen des Hohlkörper aus Isoliermaterial (Kapillare): Außendurchmesser 3mm, Innendurchmesser 1mm |
| 40 | Gasstrom: 2 bis 10 slm (Standard Liter pro Minute).  |
|    | Beispiele für Prozessgase: Edelgase, wie Argon und Helium  |
|    | Beispiele für Beimengungen zu Prozessgasen: Stickstoff, Sauerstoff                                     |
| 45 | Dielektrikum mit möglichst hoher Dielektrizitätskonstante, z.B. Quarzglas                              |

**Werte, die für einen RF-Generator mit einer Festfrequenz von z.B. 27,12 MHz geeignet/bevorzugt sind:**

#### [0034]

- |    |   |
|----|---|
| 55 | Stärke der durch beide Elektroden 2 und 3 sowie das Dielektrikum 4 gebildeten und parallel zu C2 liegenden Kapazität: einige pF |
|    | Induktivität der Spule 1.9 $\mu$ H  |
|    | Kondensator C2: Abstimmbare im Bereich von 5 bis  |

30 pF.

Kondensator C1: 350 pF

**[0035]** In Fig. 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Plasmadüse mit einer Kapillarentladung 1 gezeigt. Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Variante wird hier die RF-Energie über eine Stabelektrode 3 in die Kapillarentladung eingekoppelt. Die Stabelektrode sollte aus Materialien mit geringer Austrittsarbeit bestehen, um so den Spannungsbedarf für die Kapillarentladung niedrig zu halten. Ebenfalls sollte sie nach vorn spitz verlaufen, um so eine hohe Feldstärke zu erreichen. Zwischen der Spitze und der geerdeten Elektrode 2 bildet sich bei genügend hohen Spannungen eine Kapillarentladung aus, deren Plasma wiederum durch den Gasstrom nach außen geblasen wird.

**Wesentliche Dimensionen/Materialien, die in dieser Ausführungsform anders sind als in der oben und in Figur 4 beschriebenen, sind:**

**[0036]**

Hohlkörper aus Isoliermaterial (Kapillare) 4: Außendurchmesser 6mm, Innendurchmesser 2mm.

Abstand Spitze der Stabelektrode zum Ende der Kapillare 4: 1mm

Durchmesser der Stabelektrode: 1mm

Material der Stabelektrode: Wolfram.

**[0037]** In Fig. 6 ist eine modifizierte Variante der Plasmadüse gezeigt. Die Entladung wird wiederum zwischen den Elektroden 2 und 3 erzeugt und tritt durch einen Schlitz in die Atmosphäre ein. Bei einem Schlitz von 0,8 mm Breite und 4 cm Länge kann mit dieser Anordnung ein linear ausgedehntes Plasma von 4 cm Breite erzeugt werden.

**[0038]** In allen beschriebenen Beispielen wird in einem von einem Prozessgas durchströmten Hohlkörper aus Isoliermaterial, wie beispielsweise Kunststoff, Quarzglas, Keramik etc. (in der obigen Beschreibung als "Plasmadüse" bezeichnet) mittels einer RF-Entladung ein durch eine Düse ausströmendes, gerichtetes Normaldruck-Strahlplasma mit den angestrebten Eigenschaften (beispielsweise nichtthermisch, potentialfrei, homogen und reaktiv) erzeugt, dem die zu behandelnde Oberfläche in geeignetem Abstand von der Düse ausgesetzt wird, um deren gewünschte physikalisch-chemische Veränderung zu erzielen. Die Bedingungen im Strahlplasma-Bereich können durch Änderung der geometrische Anordnungen und der Abmessungen innerhalb der Plasmadüse, durch die Verwendung anderer Prozessgase, deren Beimengungen und Strömungsgeschwindigkeiten, durch die Anordnung und Wahl der Elektroden, durch die Art der Zündung und/oder durch Variation der elektrischen Parameter der Entladung gesteuert werden.

**[0039]** Die physikalischen Grundlagen für die Wahl der Dimensionen innerhalb der Düse sowie die Festlegung

geeigneter Betriebsbedingungen sind dem Fachmann auf dem Gebiet der Plasmatechnologie bekannt.

**[0040]** Während in der vorliegenden Anmeldung bevorzugte Ausführungen der Erfindung beschrieben sind, ist klar darauf hinzuweisen, dass die Erfindung nicht auf diese Beschränkt ist und in auch anderer Weise innerhalb des Umfangs der folgenden Ansprüche ausgeführt werden kann.

## Patentansprüche

1. Plasmawerkzeug für die Erzeugung eines kalten Plasmastrahls mit einer Plasmadüse umfassend einen Hohlkörper (4) für die Zuführung von Prozessgas, einem Frequenzgenerator und einem eine Spule (6), einen Kondensator C2 und gegebenenfalls einen Kondensator C1 enthaltenden Anpassungsnetzwerk zur Erzeugung der benötigten Spannung, **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Anpassungsnetzwerk die Spule (6) und der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert sind
2. Plasmawerkzeug gemäß Anspruch 1, mit einer Plasmadüse umfassend zwei Elektroden, E1 und E2, wobei die Elektrode E1 wahlweise eine um einen isolierenden Hohlkörper herum angeordnete Ringelektrode oder eine in dem Hohlkörper angeordnete Stabelektrode ist und dass die Elektrode E2 eine am düsenseitigen Ende des Hohlkörpers (4) und auf diesem in einem für die Plasmaerzeugung geeigneten Abstand von der ersten Elektrode E1 angeordnete Ringelektrode ist, die mit dem geerdeten Gehäuse verbunden ist.
3. Plasmawerkzeug gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Anpassungsnetzwerk einen Kondensator C1 umfasst und dass der Kondensator C1 des Anpassungsnetzwerks direkt an oder im Frequenzgenerator angeordnet ist.
4. Plasmawerkzeug gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spule (6) um den Hohlkörper (4) herum angeordnet ist und vorzugsweise auf diesem Hohlkörper oder einem diesen Hohlkörper zusätzlich umschließenden Isolierkörper (5) aufliegt.
5. Plasmawerkzeug gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Generator ein Festfrequenz-RF-Generator ist, dass das Anpassungsnetzwerk aus einer Spule (6) und zwei Kondensatoren C1 und C2 mit deren Verbindungen besteht und dass die Spule (6) und der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert sind und dass der Kondensator C1 am oder im Generator angeordnet ist.

6. Plasmawerkzeug gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Frequenz-Generator ein in der Frequenz abstimmbarer Generator ist und das Anpassungsnetzwerk aus einer Spule (6) mit Leitungen besteht, wobei die Spule (6) in die Plasmadüse integriert ist.
7. Plasmawerkzeug gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Anpassungsnetzwerk aus einer Spule (6), den Leitungen und entweder Kondensator C1 oder Kondensator C2 besteht.
8. Plasmawerkzeug gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Plasmadüse so dimensioniert ist, dass sie bei Verwendung in einer Hand gehalten werden kann, insbesondere eine Plasmadüse mit den folgenden Dimensionen:
- Durchmesser: 2 cm,  
Länge: 17 cm,  
Länge der Plasmazone: bis 1 cm
9. Plasmawerkzeug gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlkörper aus Isoliermaterial besteht.
10. Plasmadüse, insbesondere eine Plasmadüse für Handbetrieb, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie die Spule (6) und den Kondensator C2 eines Anpassungsnetzwerkes, wie in einem der vorangehenden Ansprüche beschrieben, enthält.

#### Claims

1. Plasma tool for generating a cold plasma beam with a plasma nozzle comprising a hollow body (4) for supplying process gas, a frequency generator and an adjustment circuit for generating the required voltage comprising a coil (6), a capacitor (C2) and if necessary a capacitor (C1), **characterized in that** the coil (6) and the condenser (C2) of the adjustment circuit are integrated into the plasma nozzle.
2. Plasma tool according to claim 1, with a plasma nozzle comprising two electrodes, E1 and E2, wherein the electrode E1 is optionally a ring electrode arranged around an isolating hollow body or a rod electrode arranged inside the hollow body and the electrode E2 is a ring electrode arranged at the nozzle-sided end of the hollow body (4) and on it at a distance which is appropriate for plasma generation, being connected to the grounded casing.
3. Plasma tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the adjustment circuit

comprises a capacitor C1 and **in that** the capacitor C1 of the adjustment circuit is arranged directly on or inside the frequency generator.

4. Plasma tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the coil (6) is arranged around the hollow body (4) and preferably lies on this hollow body or on an isolating body (5) additionally surrounding this hollow body.
5. Plasma tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the generator is a fixed frequency RF generator, **in that** the adjustment circuit consists of a coil (6) and two capacitors C1 and C2 with their connections and **in that** the coil (6) and the capacitor C2 are integrated in the plasma nozzle and **in that** the capacitor C1 is arranged on or inside the generator.
6. Plasma tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the frequency generator is a generator which is adjustable with respect to frequency and the adjustment circuit consists of a coil (6) with connections, wherein the coil (6) is integrated into the plasma nozzle.
7. Plasma tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the adjustment circuit consists of a coil (6), the connections and either capacitor C1 or capacitor C2.
8. Plasma tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the plasma nozzle is dimensioned in such a way that it can be held in one hand during its use, particularly a plasma nozzle with the following dimensions:

Diameter: 2 cm,  
Length: 17 cm,  
Length of the plasma zone: up to 1 cm.

9. Plasma tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the hollow body consists of isolating material.
10. Plasma nozzle, particularly a plasma nozzle for manual operation, **characterized in that** it comprises the coil (6) and the capacitor C2 of an adjustment circuit as described in one of the preceding claims.

#### Revendications

1. Outil à plasma pour générer un jet de plasma froid avec une buse à plasma comprenant un corps creux (4) pour alimenter du gaz de processus, un générateur de fréquence et un circuit d'ajustage pour générer la tension nécessaire comprenant un bobine

(6), un condensateur C2 et, si nécessaire, un condensateur C1, **caractérisé en ce que** la bobine (6) et le condensateur C2 du circuit d'ajustage sont intégrés dans la buse à plasma.

2. Outil à plasma selon la revendication 1, avec une buse à plasma comprenant deux électrodes, E1 et E2, l'électrode E1 étant optionnellement une électrode circulaire arrangée autour d'un corps creux isolant ou une électrode à tige arrangée à l'intérieur du corps creux et l'électrode E2 étant une électrode circulaire arrangée à l'extrémité du côté buse du corps creux (4) et sur lui à une distance appropriée pour la génération du plasma, étant connectée à la carcasse reliée à la terre. 15
3. Outil à plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le circuit d'ajustage comprend un condensateur C1 et **en ce que** le condensateur C1 du circuit d'ajustage est arrangé directement sur ou à l'intérieur du générateur de fréquence. 20
4. Outil à plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la bobine (6) est arrangée autour du corps creux (4) et est préféralement posée sur ce corps creux ou sur un corps isolant (5) qui additionnellement entoure ce corps creux. 25
5. Outil à plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le générateur est un générateur RF de fréquence fixe, **en ce que** le circuit d'ajustage consiste d'une bobine (6) et deux condensateurs C1 et C2 avec leurs connexions et **en ce que** la bobine (6) et le condensateur C2 sont intégrés dans la buse à plasma et **en ce que** le condensateur C1 est arrangé sur ou à l'intérieur du générateur. 30
6. Outil à plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le générateur de fréquence est un générateur ajustable par rapport à la fréquence et le circuit d'ajustage consiste d'une bobine (6) avec des connexions, la bobine (6) étant intégrée dans la buse à plasma. 35
7. Outil à plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le circuit d'ajustage consiste d'une bobine (6), les connexions et le condensateur C1 ou le condensateur C2. 40
8. Outil à plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la buse à plasma est dimensionnée de sorte qu'elle peut être tenue dans une main pendant son utilisation, particulièrement une buse à plasma avec les dimensions suivantes: 45

Diamètre: 2 cm,  
Longueur: 17 cm,  
Longueur de la zone plasma: jusqu'à 1 cm.

- 5 9. Outil à plasma selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps creux consiste d'un matériau isolant.
- 10 10. Buse à plasma, particulièrement une buse à plasma pour opération manuelle, **caractérisée en ce qu'**elle comprend la bobine (6) et le condensateur C2 d'un circuit d'ajustage comme décrit dans l'une des revendications précédentes. 15

15

20

25

30

35

40

45

50

55



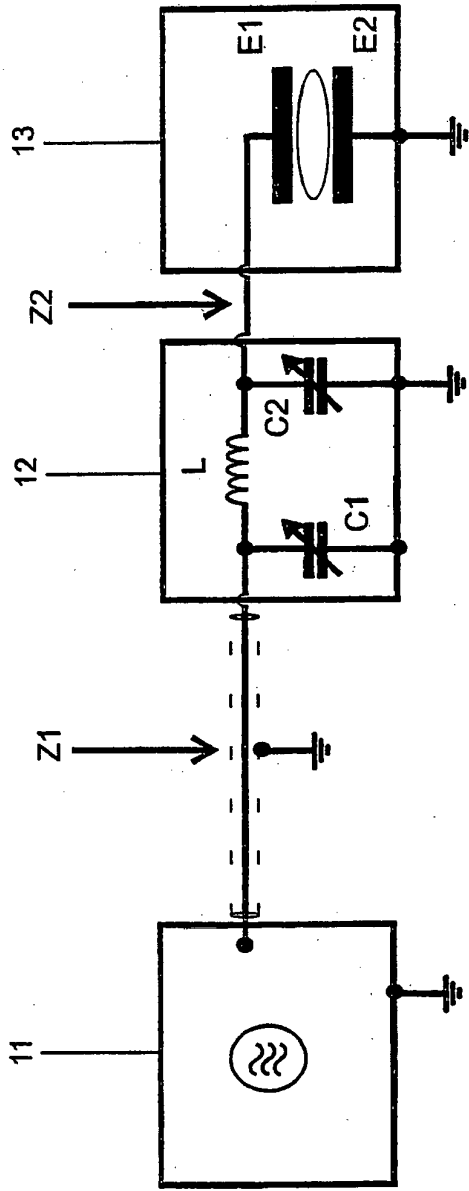


Fig.1a:

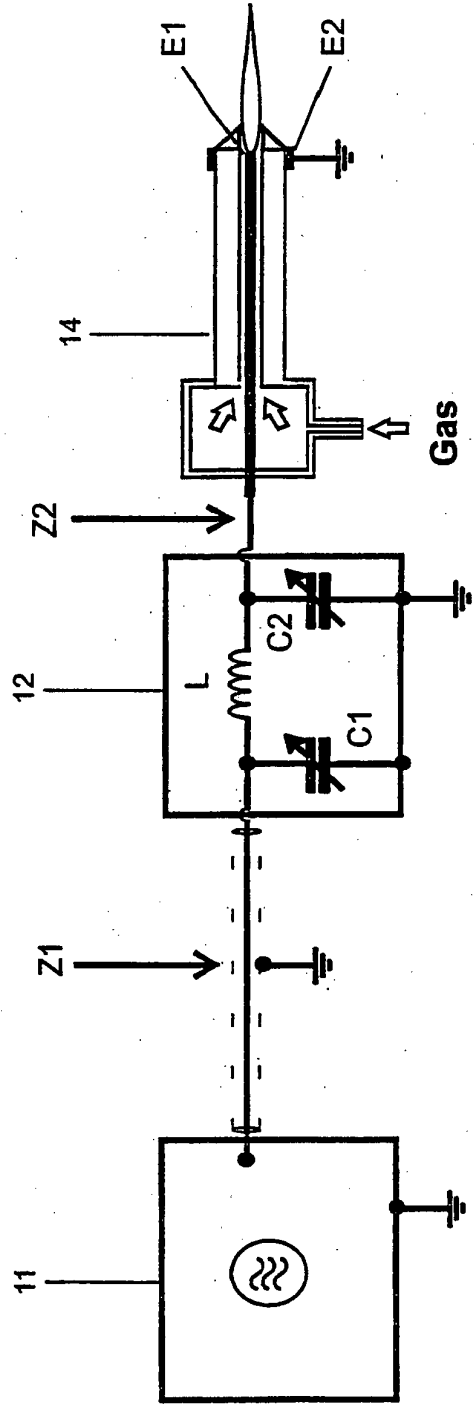


Fig.1b:

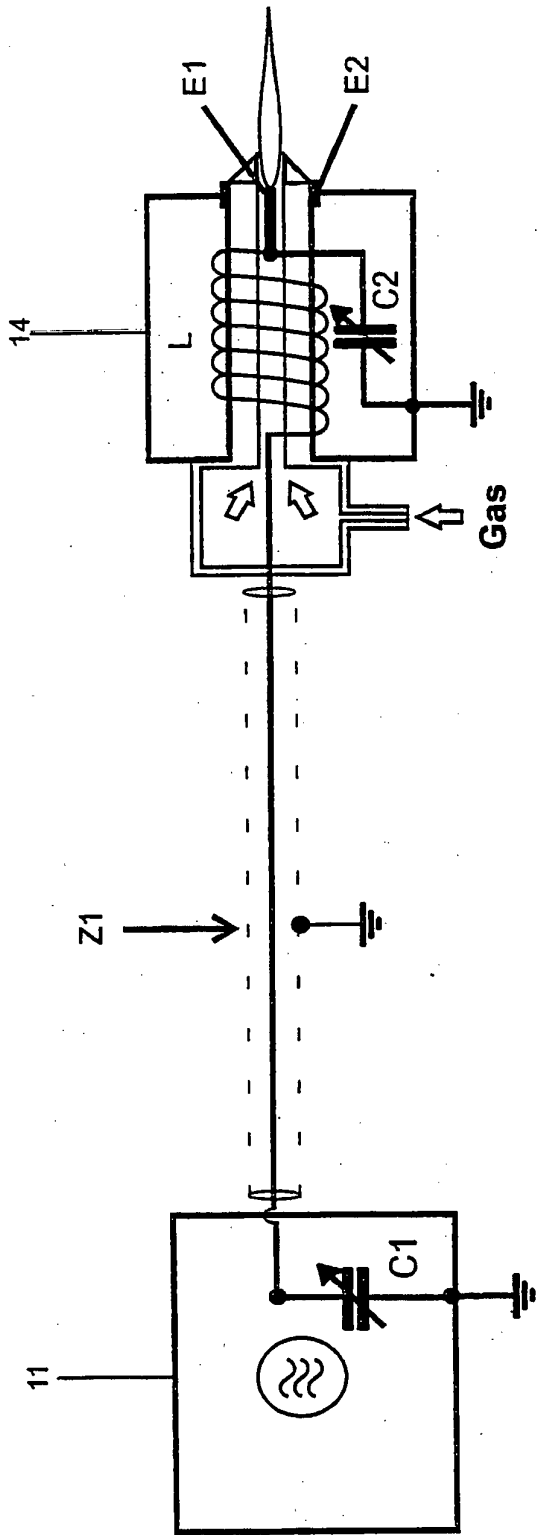


Fig.2:

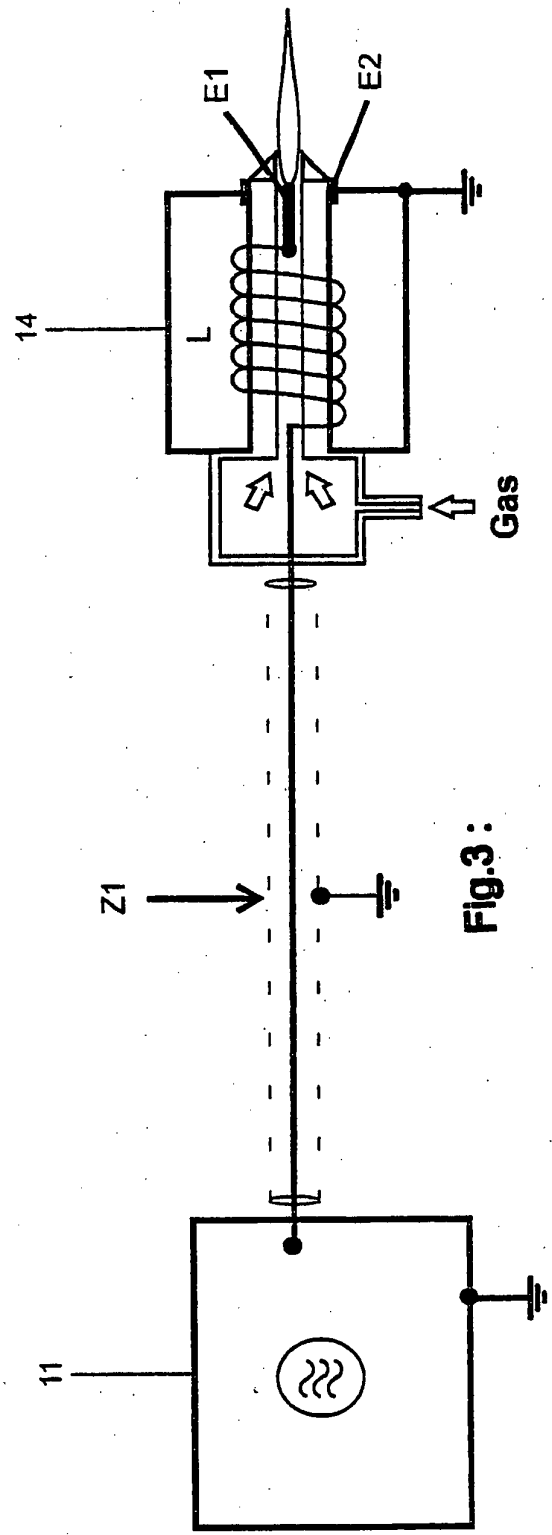


Fig.3:

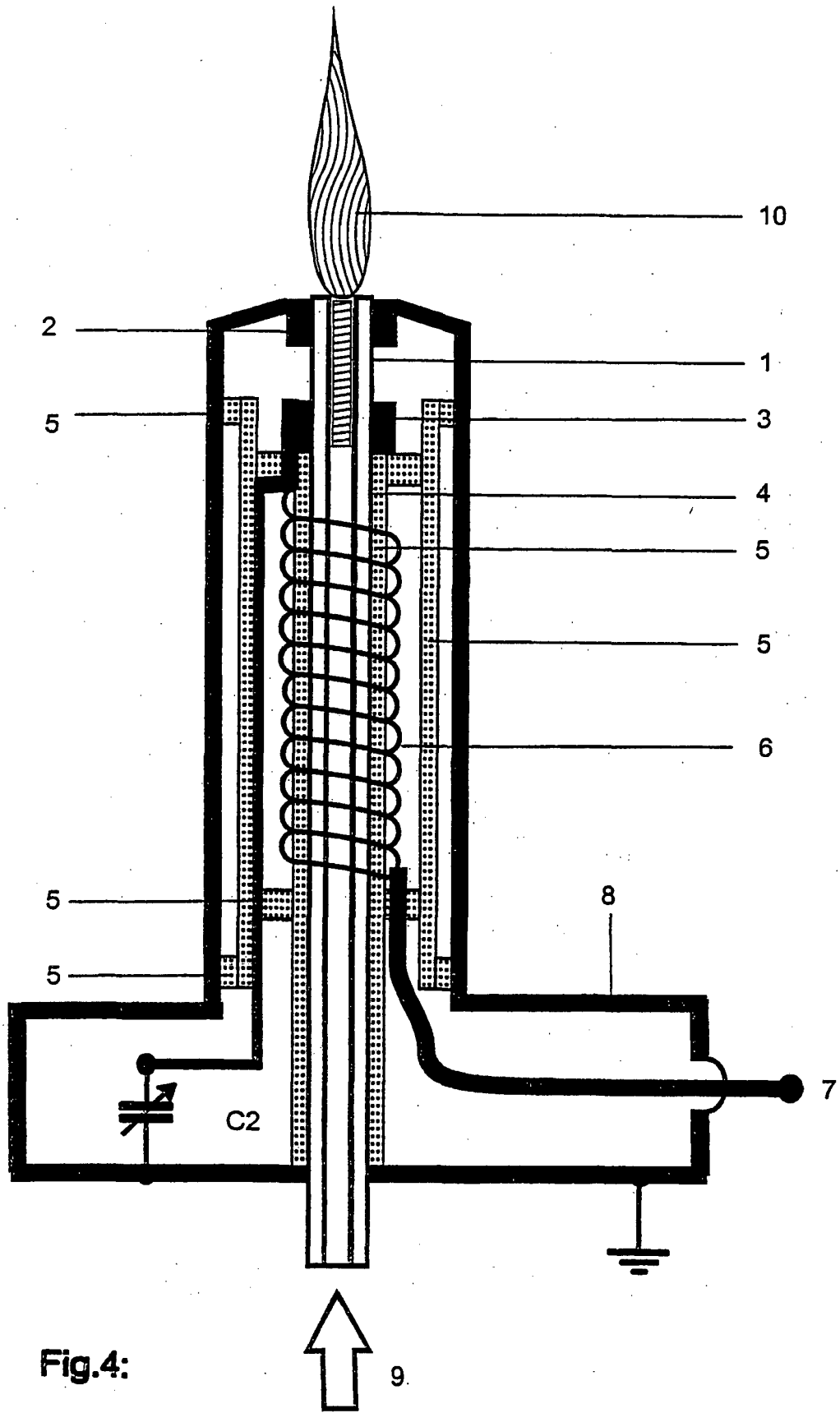


Fig.4:

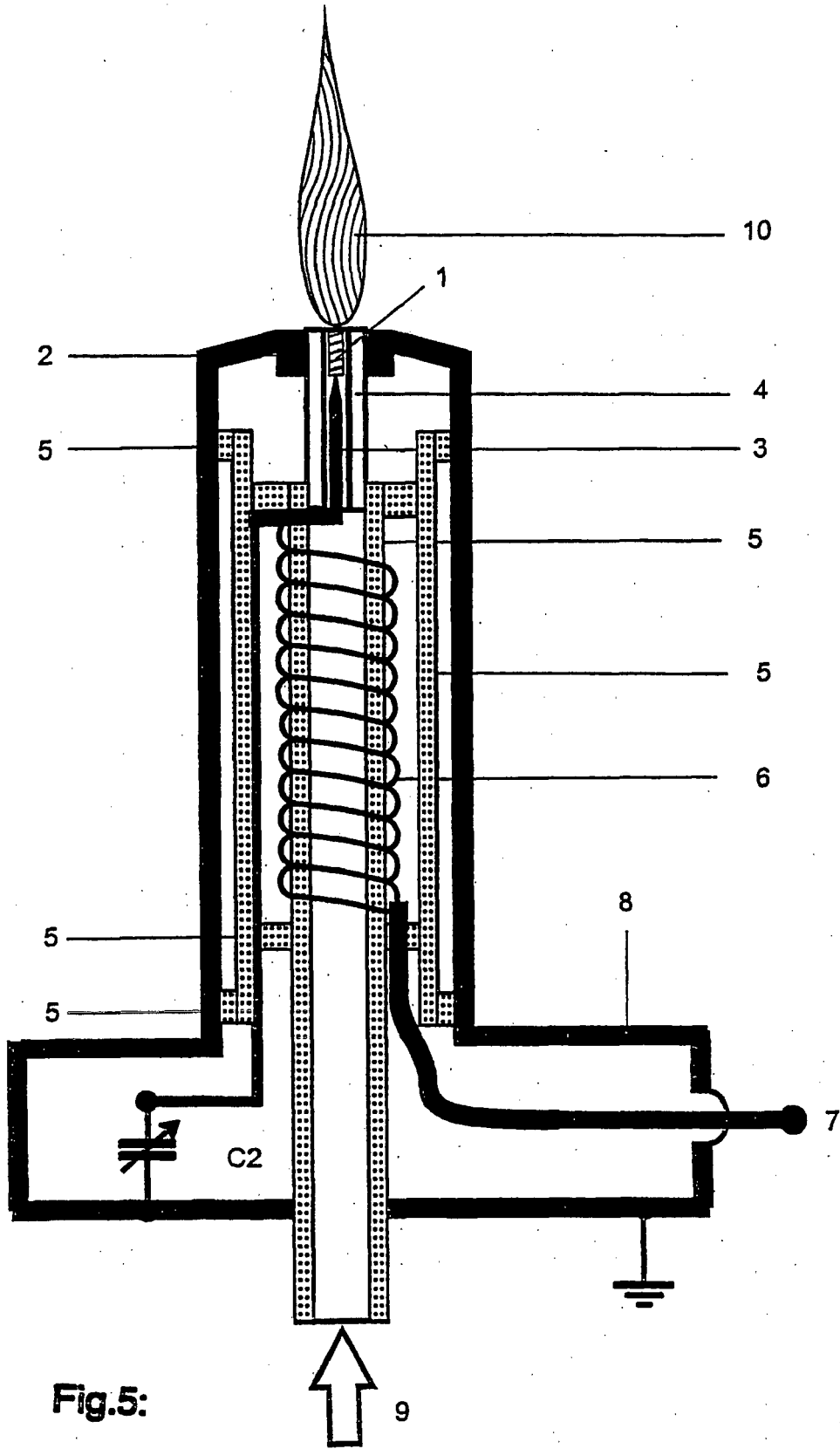


Fig.5:

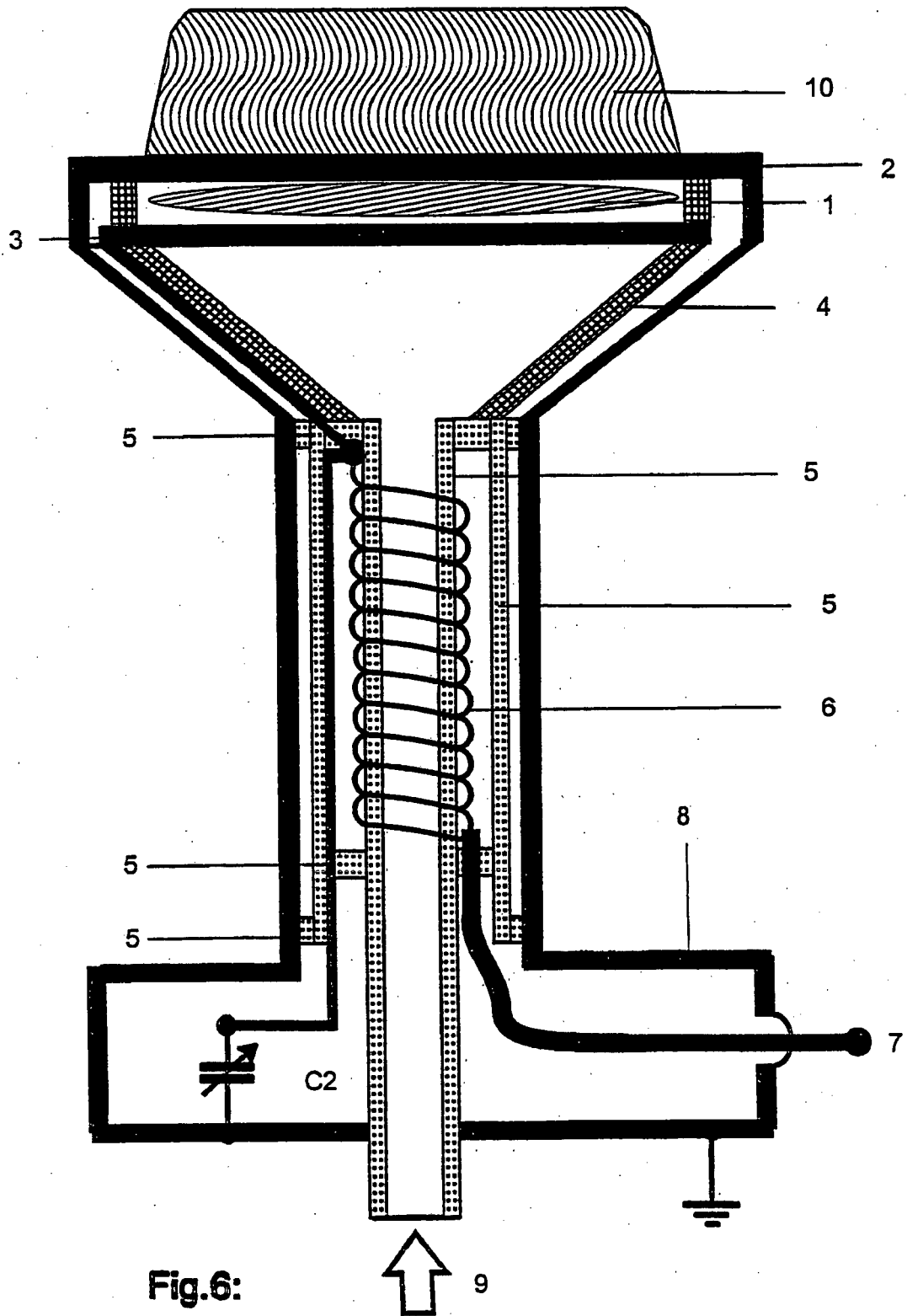


Fig.6:

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102006019664 [0001]
- US 3648015 A [0003]
- US 4626648 A [0003]
- DE 4108499 A1 [0003]
- DE 10140298 B4 [0003]
- WO 03026365 A1 [0004]
- WO 03026365 A [0004]
- DE 1639257 [0005]
- EP 0124623 A [0008]
- DE 3733492 [0010]
- DE 19532412 [0010]
- US 6194036 B [0010]
- US 6958063 B [0010]
- US 6262523 B [0010]
- US 2002122896 A [0010]
- US 4781175 A [0010]
- US 4060088 A [0010]
- DE 19513338 [0010]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **M. LAROUSI.** *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 2002, vol. 30 4, 1409 [0010]
- **E. STOFFELS et al.** *Plasma Sources Sci. Technol.*, 2002, vol. 11, 383 [0010]