

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. November 2007 (08.11.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/124910 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/003669

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. April 2007 (26.04.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 019 664.3 27. April 2006 (27.04.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **NEOPLAS GMBH** [DE/DE]; Felix-Hausdorff-Strasse 2, 17489 Greifswald (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FOEST, Rüdiger** [DE/DE]; Landhäger Weg 5, 17498 Neuenkirchen (DE). **WELTMANN, Klaus-Dieter** [DE/DE]; Dollahner Strasse 5, 18609 Ostseebad Binz (DE). **STIEBER, Manfred** [DE/DE]; Gützkower Landstrasse 46, 17489 Greifswald (DE). **KINDEL, Eckhard** [DE/DE]; Friedrich-Krüger-Strasse 20, 17489 Greifswald (DE).

(74) Anwalt: **E. BLUM & CO. AG**; Vorderberg 11, CH-8044 Zürich (CH).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

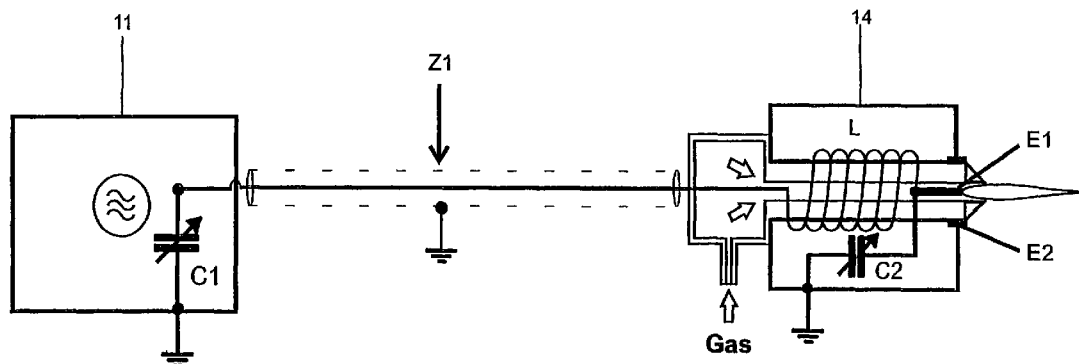
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: COLD PLASMA IMPLEMENT FOR PLASMA TREATMENT OF SURFACES

(54) Bezeichnung: KALTPLASMA-HANDGERÄT ZUR PLASMA-BEHANDLUNG VON OBERFLÄCHEN



(57) Abstract: A plasma tool for generating a cold plasma beam (10) is described. The plasma tool is defined by the fact that it has a plasma nozzle, in particular a plasma nozzle which is dimensioned for operation by hand, wherein at least the coil (6) of the adaptation network is integrated into the plasma nozzle, for operation with a high frequency generator in addition to the capacitor C2, while the capacitor C1 can be arranged in the generator itself or in its vicinity.

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Plasmawerkzeug für die Erzeugung eines kalten Plasmastrahls (10). Das Plasmawerkzeug zeichnet sich dadurch aus, dass es eine Plasmadüse, insbesondere eine Plasmadüse, die für Betrieb von Hand dimensioniert ist, aufweist, wobei mindestens die Spule (6) des Anpassungsnetzwerks in die Plasmadüse integriert ist, für Betrieb mit einem Hochfrequenz-Generator zusätzlich der Kondensator C2, währenddem der Kondensator C1 im Generator selbst oder in dessen Nähe angeordnet sein kann.

WO 2007/124910 A2

Kaltplasma-Handgerät zur Plasma-Behandlung von Oberflächen

Hinweis auf verwandte Anmeldungen

5

Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2006 019 664.3, die am 27. April 2006 eingereicht wurde und deren ganze Offenbarung hiermit durch Bezug aufgenommen wird.

10

Technisches Gebiet

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

20

Stand der Technik

Die Plasmatechnologie, insbesondere bei hohen Temperaturen und hohen Gasdrucken, ist schon lange
25 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.

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
30 beschriebene Vorrichtung gestattet, trotz allfälliger Druckschwankungen im Prozessgas, eine stabile Plasmaflamme zu erzeugen.

Ein weiterer Plasmagenerator, der ein Plasma mit hohen Temperaturen erzeugt, wird in der deutschen
35 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
5 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.
10 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
15 statt.

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

Auch Niedertemperatur-Plasmen sind bereits
20 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,
25 zur Reinigung sowie zur Keimreduzierung eingesetzt. Allerdings wurden bisher für diese Prozesse vorrangig Niederdruckplasmen genutzt, in denen die für diese Anwendungen erforderlichen Radikale, angeregten Atome, Ionen, Elektronen sowie UV-Strahlung durch die Wahl
30 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
35 Oberflächenmodifikation erforderlich ist, nicht geeignet.

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.

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.

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 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-
5 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.
10 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.

Die bisher in der Fach- bzw. Patentliteratur beschriebenen Anordnungen und Verfahren zur
15 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
20 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
25 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
30 freigegeben sind, und andererseits bei kleineren Spannungen erzeugt werden können. Sie haben allerdings auch einen wesentlichen Nachteil, der im Folgenden erläutert werden soll.

Hochfrequenzbetriebene Plasmareaktoren
35 benötigen zur maximalen Leistungsübertragung aus dem sie speisenden RF-Generator ein Anpassungsnetzwerk (Matchbox). Eine oft verwendete Schaltungsform in der

Matchbox ist die π - 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 (Skineneffekt), bestehen die Spule und alle anderen elektrischen Zuführungen aus einem relativ dicken Metalledraht 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.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine handliche Plasmadüse zu realisieren, die auch von Hand und/oder durch Roboter geführt werden kann.

30

Darstellung der Erfindung

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 wird deshalb die Spule und gegebenenfalls der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert. Ein allenfalls benötigter Kondensator C1 kann irgendwo zwischen dem Generator und der Plasmadüse angeordnet
5 sein, vorzugsweise aber wird der Kondensator C1 unmittelbar am Generator außerhalb (kurze Zuleitung) oder direkt innerhalb positioniert. Dadurch werden folgende Verbesserungen erreicht:

- 10 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.
- 15 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.
- 20 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
25 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
30 entsprechend der Festfrequenz maximal gewählt werden kann und somit eine hohe Güte des Reihenresonanzkreises (Erzeugung einer hohen Spannungsüberhöhung) erreicht werden kann.

Das erfindungsgemässe Plasmawerkzeug für die
35 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 bestehendes oder eine Spule enthaltendes Anpassungsnetzwerk zur Erzeugung der benötigten Spannung und ist dadurch gekennzeichnet, dass vom
5 Anpassungsnetzwerk mindestens die Spule in die Plasmadüse integriert ist.

Insbesondere bei einer Plasmadüse, die mit einem Festfrequenz-RF-Generator (13.56 MHz; 27.12 MHz; 40.68 MHz) betrieben wird, sind vom Anpassungsnetzwerk
10 die Spule L und der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert.

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

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

In einer speziell bevorzugten Ausführungsform, in der der Frequenzgenerator ein
20 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.

25 In einer anderen speziell bevorzugten Ausführungsform ist der Generator ein in der Frequenz abstimmbarer RF-Generator und das Anpassungsnetzwerk besteht aus einer Spule mit Leitungen, wobei die Spule in die Plasmadüse integriert ist.

30 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
35 Rahmen dieser Erfindung ebenfalls als C1 und C2 bezeichnet werden.

In einer weiteren Ausführungsform kann der Plasmareaktor derart gestaltet sein, dass das Anpassungsnetzwerk aus einer Spule und entweder Kondensator C1 oder Kondensator C2 und den entsprechenden
5 Leitungen besteht.

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

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Frequenzgenerator, in den entweder ein als Kondensator C1 eines Anpassungsnetzwerkes geeigneter
15 Kondensator integriert oder unmittelbar am Ausgang des Generators montiert ist.

Wie bereits oben beschrieben, bezieht sich die Ausführungsform mit einem Kondensator C1 und einem Kondensator C2 insbesondere auf kommerziell erhältliche
20 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
25 Frequenzen (z.B. 3 MHz) und bei Verwendung eines Generators mit variabler Frequenz. Bei einer solchen Ausführungsform können beide Kondensatoren C1 und C2 entfallen, so dass sich vom Anpassungsnetzwerk in der Plasmadüse neben einem Teil der Leitungen nur noch die
30 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.

35 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.

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
5 Aufheizung des Plasmas führen würde.

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

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

15 Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere Ausgestaltungen, Vorteile und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und aus der nun folgenden Beschreibung anhand
20 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.

25 Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform, bei der die Spule L und der Kondensator C2 in den Generator resp. die Düse integriert sind.

Figur 3 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform mit einem Generator mit variabler
30 Frequenz, bei der die Kondensatoren C1 und C2 entfallen können.

Figur 4 zeigt eine erfindungsgemäße Plasmadüse mit RF-Ringelektrode.

Figur 5 zeigt eine erfindungsgemäße
35 Plasmadüse mit RF-Stabelektrode.

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

Figurenlegende

Die Bezugszeichen in den Figuren haben

5 allgemein die folgende Bedeutung:

- | | | |
|----|----|---|
| | 1 | Kapillarentladung |
| | 2 | Elektrode |
| | 3 | RF-Elektrode |
| 10 | 4 | Hohlkörper (Kapillare), vorzugsweise aus
Isoliermaterial |
| | 5 | Isolierkörper |
| | 6 | Spule (auch als L bezeichnet) |
| | 7 | RF-Eingang |
| 15 | 8 | Gehäuse |
| | 9 | Prozessgas |
| | 10 | Strahlplasma / Plasmazone |
| | 11 | RF Generator |
| | 12 | Matchbox |
| 20 | 13 | Plasmareaktor |
| | 14 | Plasmadüse (Plasmareaktor) |

Weg(e) zur Ausführung der Erfindung

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

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, ist in Figur 3 dargestellt. In dieser Ausführungsform wird der Resonanzzustand durch Variation der Generatorfrequenz eingestellt.

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:

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
Gasstrom: 2 bis 10 slm (Standard Liter pro
Minute).
Beispiele für Prozessgase: Edelgase, wie
Argon und Helium
Beispiele für Beimengungen zu Prozessgasen:
Stickstoff, Sauerstoff
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:

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 μ H

Kondensator C2: Abstimmbar im Bereich von 5 bis 30 pF.

Kondensator C1: 350 pF

- 5 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.
- 10 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
- 15 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:**
- 20

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

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

Durchmesser der Stabelektrode: 1mm

Material der Stabelektrode: Wolfram.

- In Fig. 6 ist eine modifizierte Variante der Plasmadüse gezeigt. Die Entladung wird wiederum zwischen
- 30 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.

- 35 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

5 (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

10 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

15 Variation der elektrischen Parameter der Entladung gesteuert werden.

Die physikalischen Grundlagen für die Wahl der Dimensionen innerhalb der Düse sowie die Festlegung geeigneter Betriebsbedingungen sind dem Fachmann auf dem

20 Gebiet der Plasmatechnologie bekannt.

Während in der vorliegenden Anmeldung bevorzugte Ausführungen der Erfindung beschrieben sind, ist klar darauf hinzuweisen, dass die Erfindung nicht auf

25 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 aus mindestens einer Spule (6) bestehenden oder eine Spule (6) enthaltenden Anpassungsnetzwerk zur Erzeugung der benötigten Spannung, dadurch gekennzeichnet, dass vom Anpassungsnetzwerk mindestens die Spule (6) in die Plasmadüse integriert ist.

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 Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass vom Anpassungsnetzwerk die Spule (6) und der Kondensator C2 in die Plasmadüse integriert sind.

4. Plasmawerkzeug gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator C1 des Anpassungsnetzwerks direkt an oder im Frequenzgenerator angeordnet ist.

5. 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.

6. 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
5 Plasmadüse integriert sind und dass der Kondensator C1 am oder im Generator angeordnet ist.

7. Plasmawerkzeug gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Frequenz-Generator ein in der Frequenz abstimmbarer
10 Generator ist und das Anpassungsnetzwerk aus einer Spule (6) mit Leitungen besteht, wobei die Spule (6) in die Plasmadüse integriert ist.

8. Plasmawerkzeug gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das
15 Anpassungsnetzwerk aus einer Spule (6), den Leitungen und entweder Kondensator C1 oder Kondensator C2 besteht.

9. Plasmawerkzeug gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Plasmadüse so dimensioniert ist, dass sie bei Verwendung
20 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

25 10. Plasmawerkzeug gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlkörper aus Isoliermaterial besteht.

11. Plasmadüse, insbesondere eine Plasmadüse für Handbetrieb, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen
30 Teil eines Anpassungsnetzwerkes, wie in einem der vorangehenden Ansprüche beschrieben, enthält.

12. Frequenzgenerator, dadurch gekennzeichnet, dass ein als Kondensator C1 eines Anpassungsnetzwerkes geeigneten Kondensator in ihn
35 integriert oder unmittelbar an seinem Ausgang montiert ist.

1/5

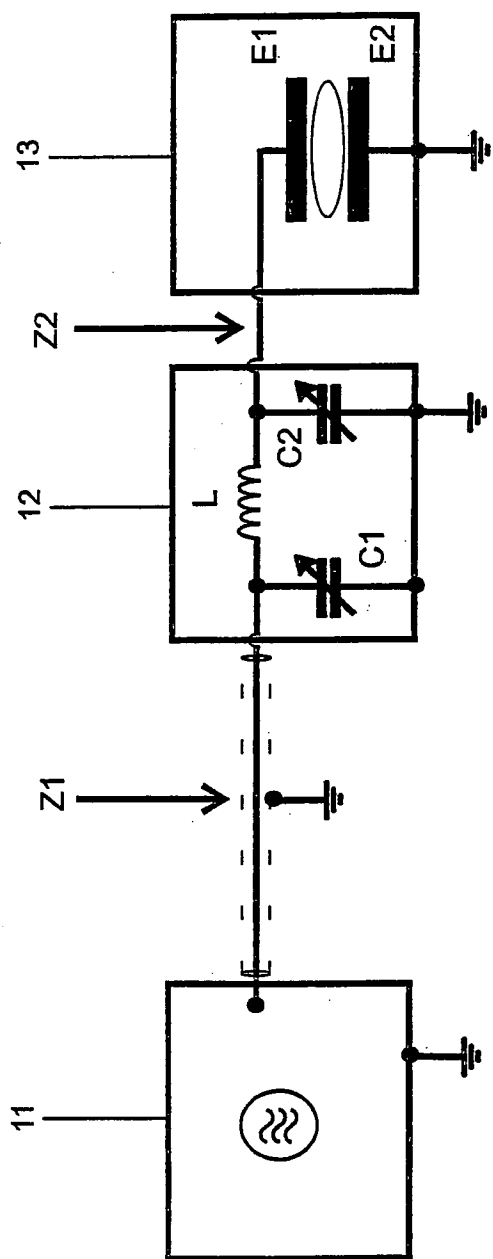


Fig.1a:

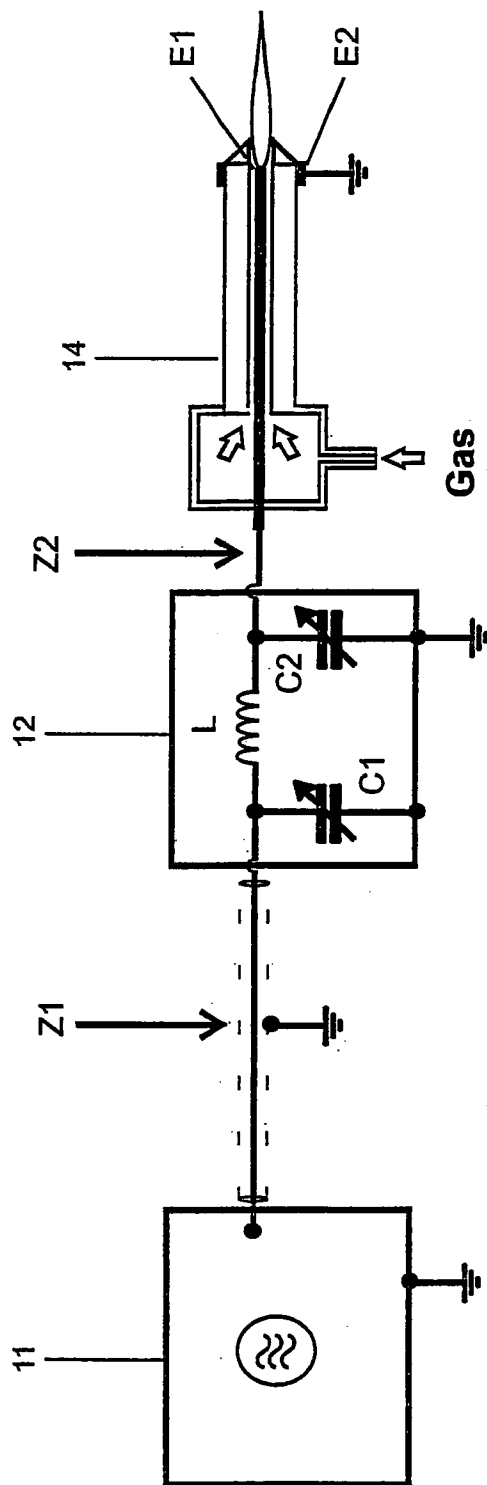


Fig.1b:

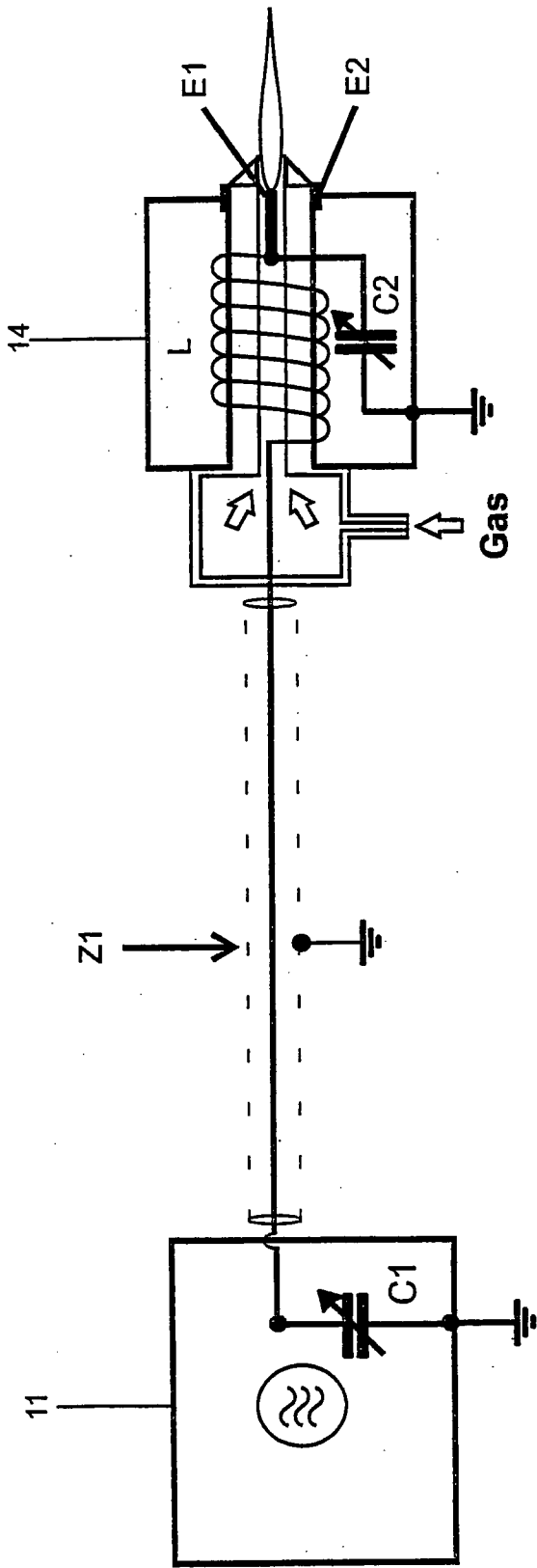


Fig.2:

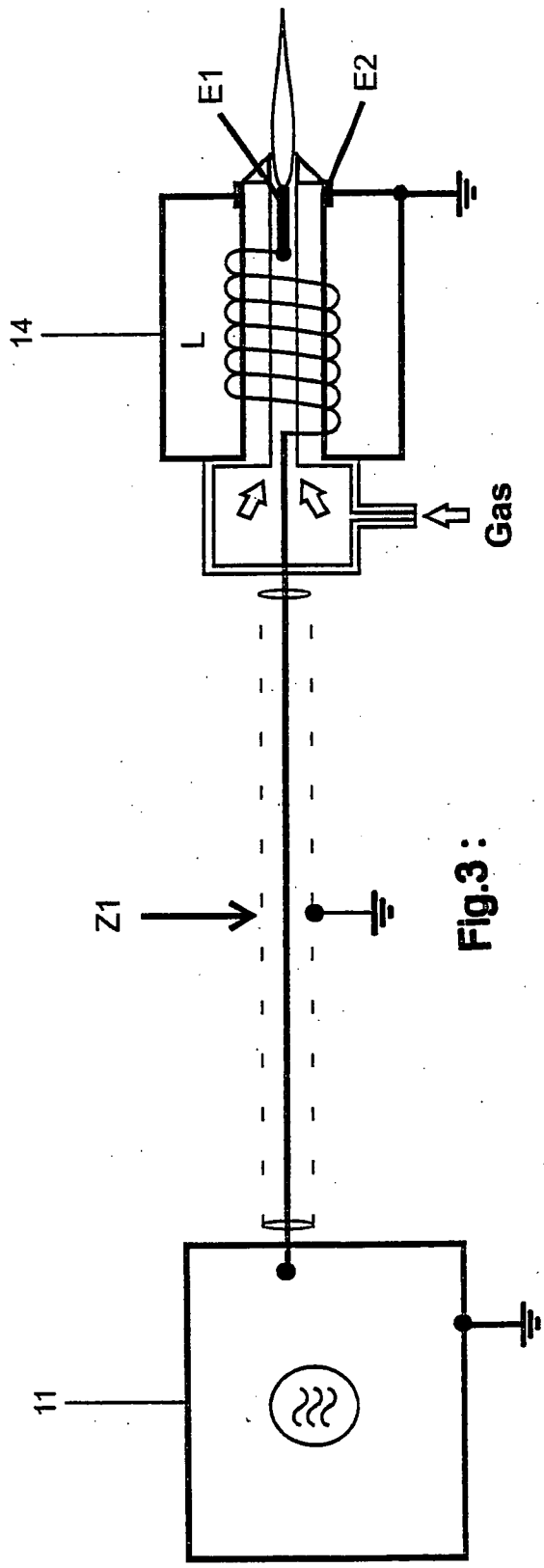
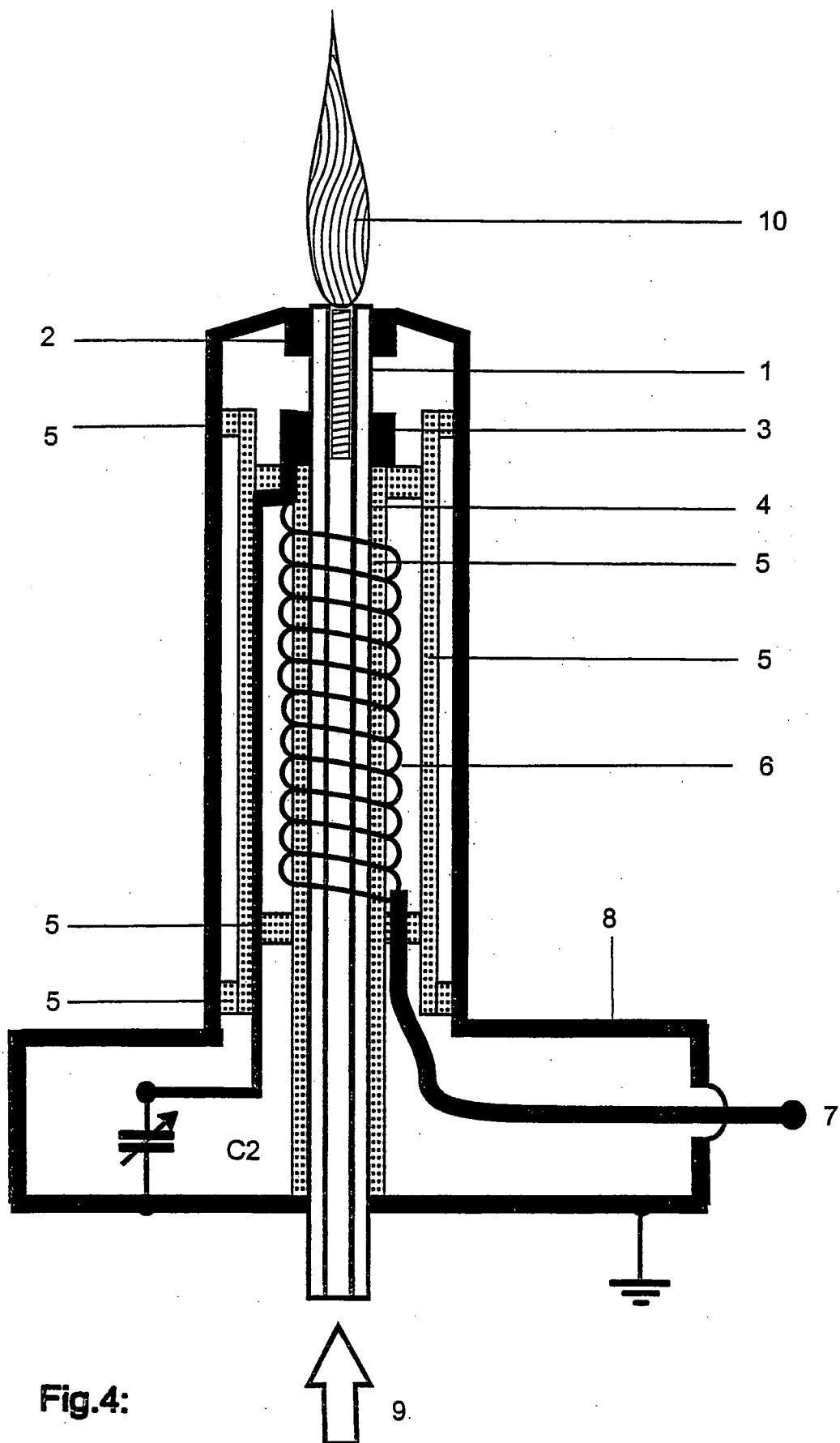


Fig.3:

3/5



4/5

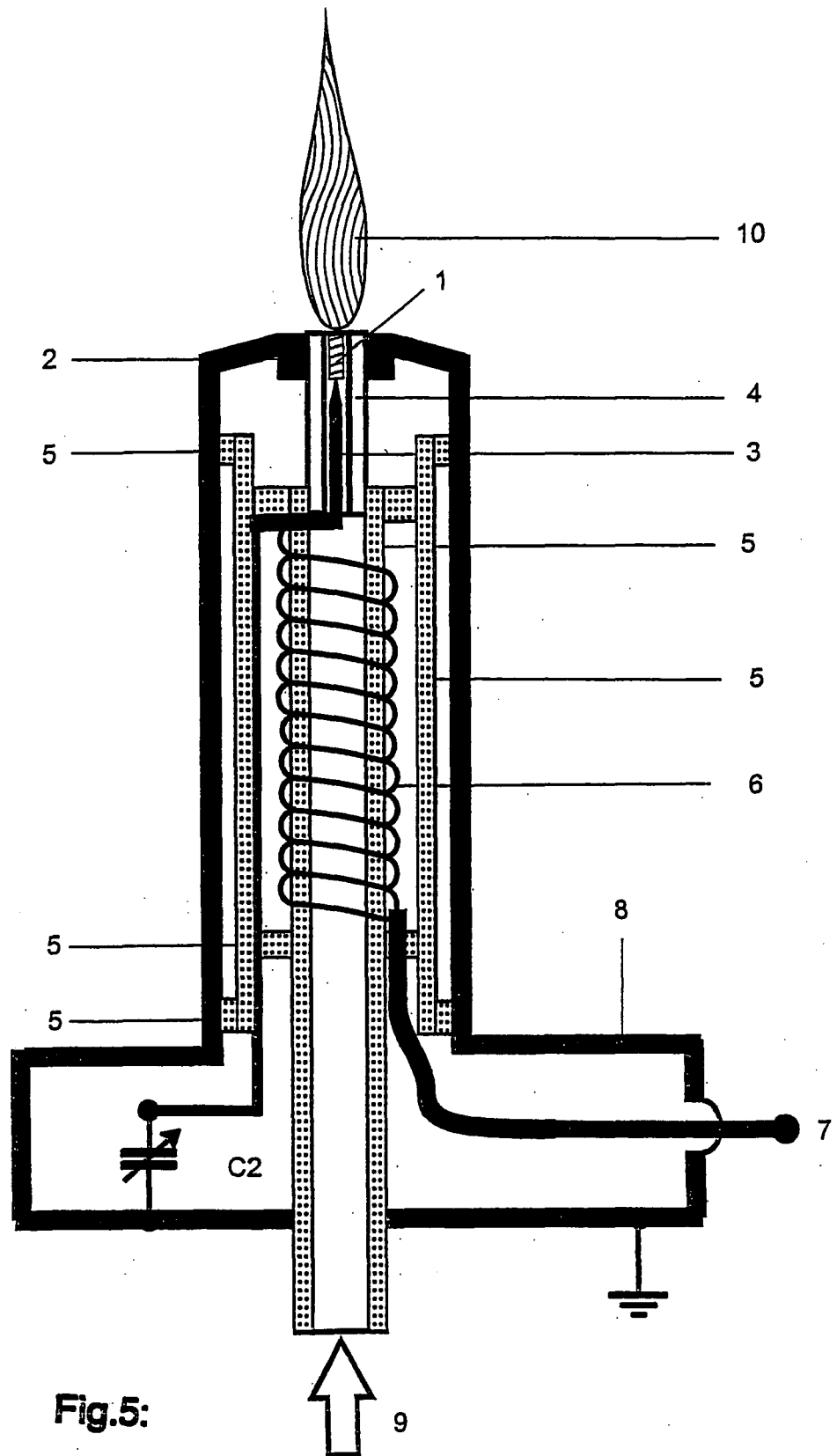


Fig.5:

5/5

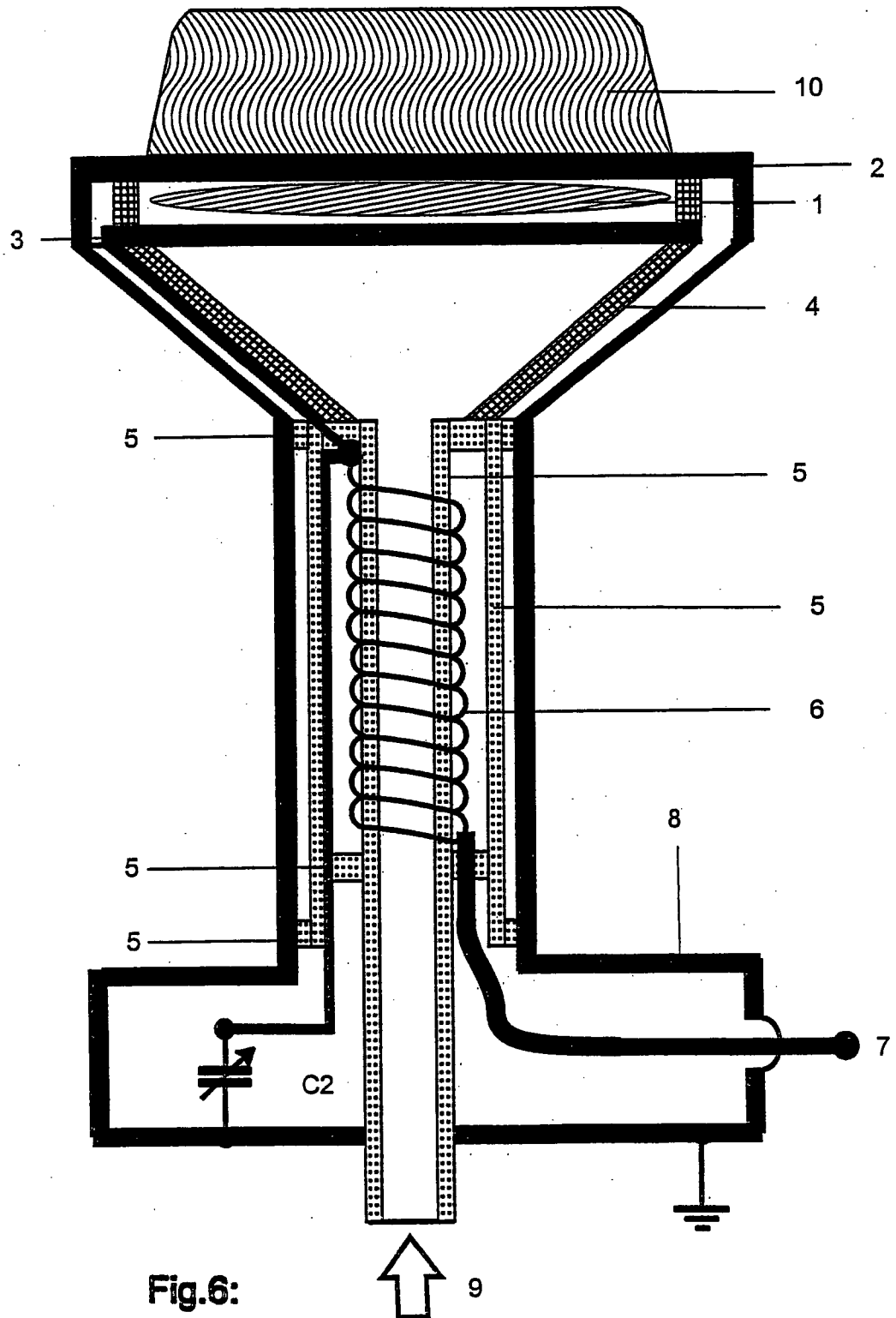


Fig.6: