



(11)

EP 2 532 214 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
23.03.2016 Patentblatt 2016/12

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

(21) Anmeldenummer: **10788326.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/069123

(22) Anmeldetag: **08.12.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/095245 (11.08.2011 Gazette 2011/32)

(54) HOHLTRICHTERFÖRMIGER PLASMAGENERATOR

HOLLOW FUNNEL-SHAPED PLASMA GENERATOR

GÉNÉRATEUR DE PLASMA EN FORME D'ENTONNOIR CREUX

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **WIENEKE, Stephan**
37079 Göttingen (DE)
- **DAMM, Roland**
37434 Krebeck (DE)
- **BRÜCKNER, Stephan**
37318 Mackenrode (DE)

(30) Priorität: **04.02.2010 DE 102010001606**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.12.2012 Patentblatt 2012/50

(74) Vertreter: **REHBERG HÜPPE + PARTNER**
Patentanwälte PartG mbB
Robert-Gernhardt-Platz 1
37073 Göttingen (DE)

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-03/010088 WO-A1-2004/068916
US-A- 5 705 785 US-A1- 2004 022 669

(72) Erfinder:
• **VIÖL, Wolfgang**
37139 Adelebsen (DE)

EP 2 532 214 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

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Plasmagenerator mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1.

[0002] Unter einem Plasmagenerator ist hier eine Vorrichtung zu verstehen, mit der ein physikalisches Plasma, d. h. ein energetisch angeregter Zustand eines Gases, das dem Plasmagenerator zugeführt wird, hervorgerufen werden kann. Ein solches aus dem Plasmagenerator austretendes physikalisches Plasma kann zum Beispiel zur Aktivierung von Oberflächen verwendet werden. Innerhalb des Plasmagenerators kann teilchen- oder fadenförmiges Gut mit dem Plasma behandelt werden. Auch das dem Plasmagenerator zugeführte Gas selbst kann das Objekt der Plasmabehandlung sein.

STAND DER TECHNIK

[0003] Aus der DE 694 08 502 T2 ist ein Plasmagenerator bekannt. Es handelt sich um eine Plasmaspritzpistole, die eine rohrförmige Anode mit abschnittsweise kegelstumpfmantelförmigen Innenflächen und eine koaxial in der rohrförmigen Anode angeordnete Kathode aufweist. Die Kathode ist massiv ausgebildet und weist an ihrem freien Ende hinter einer abgerundeten Spitze eine einem der kegelstumpfmantelförmigen Abschnitte der rohrförmigen Kathode gegenüberliegende kegelstumpfmantelförmige Oberfläche auf. Vor dem freien Ende der Kathode befindet sich ein Abschnitt der rohrförmigen Anode mit zylindrischem freiem Querschnitt, der länger als jeder kegelstumpfmantelförmige Abschnitt der rohrförmigen Anode ist. Dieser Plasmagenerator wird in der DE 694 08 502 T2 als Stand der Technik angegeben.

[0004] Bei der dort als Erfindung beschriebenen Plasmaspritzpistole weist der Abschnitt der rohrförmigen Anode, der um die kegelstumpfmantelförmige Oberfläche der Kathode angeordnet ist, die Form eines Zylindermantels auf.

[0005] Ein Plasmagenerator mit einer massiven Elektrode auf der Achse des Gasführungskanals, die hier als Anode ausgebildet ist, und mit einem Abschnitt des Gasführungskanals mit zylindrischem freiem Querschnitt, der an das freie Ende der Elektrode anschließt, ist auch aus der EP 0 342 388 A2 bekannt.

[0006] Aus der US 6,986,471 B1 ist ein Plasmasprühverfahren bekannt, bei dem zunächst ein Plasma generiert wird, das dann in einer Düsenanordnung mit einem Trägergas vermischt wird, in welchem Partikel dispergiert sind. Diese Düsenanordnung weist für das Trägergas einen Hohltrichter auf, der auf die Mündung einer Expansionsdüse zuläuft, aus welcher das Plasma austritt.

[0007] Aus der DE 20 2009 000 537 U1 ist ein Plasmagenerator zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls bekannt, bei dem in einem um eine Stiftelektrode

herum ausgebildeten Gasführungskanal Mittel zur Erzeugung einer Wirbelströmung um die Achse des Gasführungskanals herum ausgebildet sind. Vor dem freien Ende der Stiftelektrode weist der Gasführungskanal einen Abschnitt mit einer kegelstumpfmantelförmigen Wandung auf, bis er an einer ringförmigen Gegenelektrode endet.

[0008] Aus der WO 2007/080102 A1 ist ein Verfahren zur Behandlung einer Oberfläche, insbesondere um diese von Verunreinigungen zu befreien, bekannt, wobei die Oberfläche gleichzeitig Laserlicht und einem durch elektrische Hochspannung induzierten physikalischen Plasma ausgesetzt wird. Dabei wird das Laserlicht zusammen mit einem freien Arbeitsgasstrom zwischen zwei Elektroden der Plasmaquelle hindurch in den Behandlungsbereich gerichtet. Die Elektroden sind stabförmig und parallel zueinander sowie parallel zu der Oberfläche ausgerichtet.

[0009] Aus der US 2006/0043075 A1 ist eine Vorrichtung mit einem Plasmagenerator bekannt. Der Plasmagenerator weist eine Elektrodenplatte mit einer zentralen Öffnung auf. Diese Öffnung bildet den Ausgang des Plasmagenerators für Plasma und zugleich einen Austritt für einen energiereichen Strahl aus, der stromauf in den Plasmagenerator eingekoppelt wird und den das Plasma in radialer Richtung abschirmen soll. In der Elektrodenplatte ist ein Plasmaejektor um die zentrale Öffnung ausgebildet, der von Ejektorgas durchströmt wird. Dieser Plasmaejektor weist einen Gasführungskanal zwischen einer äußeren kegelstumpfmantelförmigen Wandung und einer inneren kegelstumpfmantelförmigen Wandung auf, wobei beide kegelstumpfmantelförmigen Wandungen von der Elektrodenplatte ausgebildet sind und wobei der Kegelwinkel der äußeren kegelstumpfmantelförmigen Wandung kleiner ist als derjenige der inneren kegelstumpfmantelförmigen Wandung. Bei der bekannten Vorrichtung dient das Plasma zur Abschirmung eines energiereichen Strahls beispielsweise von einem Laser. Das Plasma selbst wird hinter dem Plasmaejektor in einem Wirbelgenerator mit einem umlaufenden Wirbel aus einem weiteren Fluid ummantelt.

[0010] Ein kombinierter Laser- und Plasmabogenschweißbrenner, der die Merkmale des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 aufweist, ist aus der US 5,705,785 A bekannt. Hier ist eine hohle Kathode koaxial innerhalb einer ersten Düse angeordnet, die wiederum koaxial innerhalb einer äußeren Abschirmdüse angeordnet ist. Die hohle Kathode und die Düsen werden an ihren vorderen Enden durch kegelstumpfmantelförmige Wandungen begrenzt. Durch die hohle Kathode wird ein Laserstrahl geführt, der zum Teil die Spitze der Kathode erhitzt und zum Teil vorne aus der Kathode austritt. Zwischen der hohlen Kathode und der ersten Düse wird ein Plasmagas zugeführt, und zwischen der ersten Düse und der Abschirmdüse wird ein Schutzgas zugeführt. Das Plasma wird durch einen Entladungsbogen zwischen der Kathode und einem Werkstück oder zwischen der Kathode und der Abschirmdüse unter gleichzeitiger Einwir-

kung des Laserstrahls erzeugt.

[0011] Aus der WO 03/010088 A1 ist ein Reaktor zur Produktion von Wasserstoff und Kohlenstoff aus Erdgas oder Methan unter Anwendung eines nichtthermischen Plasmas, das durch eine dielektrisch behinderte Entladung erzeugt wird, bekannt. Der Reaktor weist eine kegelstumpfmantelförmige äußere Wandung aus einem Dielektrikum auf, auf der eine äußere Elektrode angeordnet ist. Eine innere Elektrode wird durch einen grundsätzlich kegelstumpfförmigen Kern gebildet, in dessen Oberfläche, die der kegelstumpfmantelförmigen Wandung gegenüberliegt, eine spiralförmige Nut eingebracht ist. Im Betrieb des Reaktors wird der Kern gedreht, und durch axiales Verschieben des Kerns kann der Abstand seiner Oberfläche gegenüber der Wandung variiert werden.

[0012] Aus der US 2004/022669 A1 ist eine nichtthermische Desinfektion von biologischen Fluiden unter Anwendung eines nicht thermischen Plasmas bekannt. Dazu kann ein Reaktor mit einem sich nach oben verjüngenden hohltrichterförmigen Reaktionsraum verwendet werden, der durch Wandungen aus einem Dielektrikum begrenzt wird und über den zwischen einer kegelstumpfmantelförmigen inneren Elektrode und einer kegelstumpfmantelförmigen äußeren Elektrode eine Wechselspannung angelegt wird. Durch den Reaktionsraum fließt ein zu behandelndes Flüssigkeits-Gas-Gemisch bis zu seinem unteren Ende von größerem Durchmesser.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Plasmagenerator mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 aufzuzeigen, bei dem der Bereich des aus der Mündung des Gasführungschanals austretenden Plasmas ohne Störung des Plasmas zugänglich ist.

LÖSUNG

[0014] Die Aufgabe der Erfindung wird durch einen Plasmagenerator mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen des neuen Plasmagenerators sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0015] Bei dem neuen Plasmagenerator erstreckt sich die coaxial innerhalb der kegelstumpfmantelförmigen Wandung angeordnete Elektrode ringförmig um die Achse, längs derer der Gasführungschanal in seinem Endbereich verläuft und auf der der Gasführungschanal endet. Dies ist hier gleichbedeutend damit, dass die den Gasführungschanal innerhalb der kegelstumpfmantelförmigen Wandung begrenzende kegelstumpfmantelförmige Oberfläche die Oberfläche eines ringförmigen Elements ist, wobei dieses ringförmige Element die Elektrode sein kann. In jedem Fall erstreckt sich ein zumindest für Licht

einer Wellenlänge transparenter Arbeitskanal auf der Achse durch die Elektrode bis zu dem Gasführungschanal. Über diesen Arbeitskanal und den davor liegenden Abschnitt des Gasführungschanals ist der Bereich, in dem das Plasma aus dem Gasführungschanal austritt, von hinten her zumindest für das Licht dieser einen Wellenlänge zugänglich. Das Licht kann zeitgleich mit dem Plasma zur Behandlung einer Oberfläche verwendet werden. In umgekehrter Richtung kann Licht dieser Wellenlänge aus dem Bereich des Plasmas registriert werden, um das Plasma oder eine Behandlung einer Oberfläche mit dem Plasma zu überwachen; oder das Licht kann Informationen über das Material der Oberfläche geben.

[0016] Vorzugsweise ist der Arbeitskanal nicht nur für Licht einer Wellenlänge transparent, sondern für Licht in einem größeren Bereich von Wellenlängen. Noch mehr bevorzugt ist es, wenn der Arbeitskanal bis zu dem Gasführungschanal einen freien Querschnitt aufweist. Damit können über den Arbeitskanal beispielsweise auch Gase oder Partikel in den Gasführungschanal injiziert bzw. in ein dort ausgebildetes Plasma eingebracht werden.

[0017] Wenn der Arbeitskanal einen freien Querschnitt aufweist, ist es bevorzugt, einen Kegelwinkel der den Gasführungschanal begrenzenden kegelstumpfmantelförmigen Wandung, einen Kegelwinkel der innerhalb der kegelstumpfmantelförmigen Wandung angeordneten kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche, einen Abstand der kegelstumpfmantelförmigen Wandung von der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche und einen freien Endquerschnitt der kegelstumpfmantelförmigen Wandung so zu wählen, dass sich keine oder allenfalls eine verglichen mit der Gesamtgasströmung nur kleine Gasströmung aus dem Gasführungschanal in den Arbeitskanal hinein ausbildet. Idealerweise bildet sich daher kein Staupunkt in dem Gasführungschanal aus, von dem aus ein Druckgefälle zu dem und in den Arbeitskanal verläuft. Maßnahmen, die zur Vermeidung oder zumindest Reduzierung eines solchen Staupunkts beitragen, bestehen in einem ausreichend kleinen Öffnungswinkel der kegelstumpfmantelförmigen Wandung und der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche sowie in einem ausreichend freien Endquerschnitt der kegelstumpfmantelförmigen Wandung. Dieser freie Endquerschnitt sollte auch nicht kleiner als der freie Querschnitt des Arbeitskanals sein.

[0018] Die der kegelstumpfmantelförmigen Wandung zugewandte, ihrerseits kegelstumpfmantelförmige Oberfläche kann zumindest teilweise von der ringförmigen Elektrode oder einem auf der ringförmigen Elektrode angeordneten Dielektrikum ausgebildet sein. Vorzugsweise ist die Elektrode zumindest an dem freien Ende der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche vorgesehen. Sie kann sich aber auch - ggf. unterhalb einer sie bedeckenden Dielektrikums - über die gesamte Erstreckung der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche längs der Achse des Gasführungschanals erstrecken.

[0019] Die den Gasführungschanal nach außen begrenzende, kegelstumpfmantelförmige Wandung des neuen Plasmagenerators ist vorzugsweise aus einem Di-

elektrikum ausgebildet. Dabei kann die kegelstumpfmantelförmige Gegenelektrode außen auf zumindest einem Teil der kegelstumpfmantelförmigen Wandung angeordnet sein. Im Fall des Vorhandenseins einer solchen Gegenelektrode kann das Plasma in dem neuen Plasmagenerator zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode und damit in dem hohltrichterförmigen Abschnitt des Gasführungskanals zwischen der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche und der kegelstumpfmantelförmigen Wandung ausgebildet werden.

[0020] Die kegelstumpfmantelförmige Wandung und die kegelstumpfmantelförmige Oberfläche weisen einen zumindest in etwa gleichen Kegelwinkel auf, so dass der Abstand der kegelstumpfmantelförmigen Wandung von der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche im Wesentlichen konstant ist und sich entsprechend über die gesamte Länge des Gasführungskanals in seinem hohltrichterförmigen Abschnitt etwa gleiche Feldstärken des elektrischen Felds zwischen den Elektroden ausbilden.

[0021] Der Gasführungskanal des neuen Plasmagenerators kann unmittelbar mit der kegelstumpfmantelförmigen Wandung enden. Überraschenderweise stellt sich auch dann ein stabiler Freistrahle des den Gasführungs- kanal durchströmenden Gases ein, in dem das Plasma ausgebildet wird. Dabei ist der Austrittspunkt dieses Freistrahls nur wenig von dem Ort der Erzeugung des Plasmas zwischen der Elektrode und einer im Bereich der kegelstumpfmantelförmigen Wandung angeordneten Gegenelektrode entfernt, so dass sich viele energetisch angeregte Spezies des Plasmas in dem Freistrahle erhalten und nicht bereits zuvor eine Wiederabregung erfahren.

[0022] Bei dem neuen Plasmagenerator kann mindestens ein Gaszufuhrkanal mit einer Tangentialkomponente in den Gasführungs- kanal einmünden, um auf diese Weise die Strömungsverhältnisse in dem Gasführungs- kanal zu beeinflussen. Der mindestens eine Gaszufuhr- kanal kann zum Beispiel unmittelbar in den erfindungs- gemäß ausgebildeten Endbereich des Gasführungska- nals oder aber in einen stromauf davon angeordneten Ringraum einmünden. Zusätzlich oder alternativ können in dem Endbereich des Gasführungs- kanals Gasfüh- rungselemente vorgesehen sein, die eine Führungskom- ponente in Umfangsrichtung um die Achse des Gasfüh- rungskanals aufweisen.

[0023] Neben seinem bisher beschriebenen physika- lischen Aufbau benötigt der neue Plasmagenerator zu seinem Betrieb einen Wechselhochspannungsgenera- tor, der die Elektrode mit einer Wechselhochspannung beaufschlagt. Vorzugsweise weist die Wechselhoch- spannung bipolare Spannungspulse auf. Aufbringen kann der Wechselhochspannungsgenerator Span- nungspulse für die Elektrode gegenüber Erde, gegenü- ber einer im Bereich der kegelstumpfmantelförmigen Wandung des Gasführungs- kanals angeordneten Ge- genelektrode oder gegenüber einer mit dem Plasma zu behandelnden Oberfläche.

[0024] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung er-

geben sich aus den Patentansprüchen, der Beschrei- bung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibungs- einleitung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich bei- spielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wir- kung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von er- findungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Weitere Merkmale sind den Zeichnungen - ins- besondere den dargestellten Geometrien und den rela- tiven Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu ent- nehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschied- licher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merk- malen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschrei- bung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombi- niert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0025] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die bei- gefügten Zeichnungen näher erläutert und beschrieben.

Fig. 1 skizziert eine erste Ausführungsform des neu- en Plasmagenerators in einer ersten Betriebs- weise.

Fig. 2 skizziert die Ausführungsform des Plasmage- nerators gemäß Fig. 1 in einer zweiten Be- triebsweise.

Fig. 3 skizziert eine zweite Ausführungsform des neuen Plasmagenerators; und

Fig. 4 skizziert eine dritte Ausführungsform des neu- en Plasmagenerators.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0026] Der in **Fig. 1** skizzierte Plasmagenerator 1 ist ohne einen zu seinem Betrieb notwendigen Wechsel- hochspannungsgenerator dargestellt. Dieser Wechsel- hochspannungsgenerator legt eine Wechselhochspan- nung zwischen einer trichterförmigen, d. h. genauer ke- gelstumpfmantelförmigen Elektrode 2 und einer eben- falls trichterförmigen, d. h. genauer kegelstumpfmante- förmigen Gegenelektrode 3 an. Dabei sind zwischen den Elektroden 2 und 3, hier konkret vor der Gegenelektrode 3, ein entsprechend trichterförmiges Dielektrikum 4 und ein hohltrichterförmiger Entladungsraum 5 angeordnet. Die Wechselhochspannung ruft daher in einem durch

den Entladungsraum 5 strömenden Gas 6 eine dielektrisch behinderte Entladung hervor. Der Entladungsraum 5 ist zugleich ein Gasführungs kanal 7 für das Gas 6, der hier von einem Ringraum 8 ausgeht, sich längs einer Achse 9 erstreckt und auf dieser Achse 9 endet. Dabei wird der Gasführungs kanal 7 nach außen durch das Dielektrikum 4 als kegelstumpfmantelförmige Wandung 10 begrenzt und nach innen durch die dieser Wandung 10 gegenüberliegende kegelstumpfmantelförmige Oberfläche 11 der Elektrode 2. Die Elektrode 2 ist ringförmig um die Achse 9 herum angeordnet und belässt im Bereich dieser Achse 9 einen freien Arbeitskanal 12, der sich mit freiem Querschnitt bis zu dem Gasführungs kanal 7, konkret bis zu dessen Ende 13, am freien Ende der kegelstumpfmantelförmigen Wandung 10 erstreckt. Bei einer Gasströmung aus dem Ringraum 8 durch den Gasführungs kanal 7 bildet sich vor dem Ende 13 ein Freistrah 14 aus, der Plasma-typische energetisch angeregte Spezies enthält. Über den Arbeitskanal 12 können in Richtung eines Pfeils 15 ein weiteres Gas, zu behandelnde oder einer Plasmabehandlung hinzuzufügende Partikel und/oder elektromagnetische Strahlung zugeführt werden. In umgekehrter Richtung zu dem Pfeil 15 kann auch elektromagnetische Strahlung aus dem Bereich des Freistrahls 14 empfangen und analysiert werden. Weiter ist in Fig. 1 angedeutet, dass in dem Ringraum 8 eine Ringströmung 16 des Gases 7 ausgebildet wird, um hiermit auf die Durchströmung des Gasführungs kanals 7 mit dem Gas 6 Einfluss zu nehmen.

[0027] Gemäß Fig. 2 wird der Plasmagenerator 1 gemäß Fig. 1 zum Behandeln einer Oberfläche 17 eines Objekts 18 verwendet. Dabei bilden sich - insbesondere dann, wenn die Oberfläche 17 elektrisch leitend ist und auf Erdpotential liegt - zwischen der Oberfläche 17 und der Elektrode 2 ein oder mehrere Entladungsfilamente 19 aus. Die Plasma generierende Entladung kann auch ganz auf den Bereich zwischen der Elektrode 2 und der Oberfläche 17 fokussiert werden, indem die Wechselhochspannung mit dem Wechselhochspannungsgenerator dazwischen angelegt wird und auf eine Verbindung der Gegenelektrode 3 mit dem Wechselhochspannungsgenerator verzichtet wird. Über eine optische Faser 20 kann die Oberfläche 17 gleichzeitig mit dem Plasma mit Laserlicht behandelt werden, oder mit der optischen Faser 20 wird Licht aus dem Bereich der Behandlung der Oberfläche 17 mit dem Plasma empfangen, um beispielsweise diese Behandlung zu überwachen.

[0028] Fig. 3 skizziert eine konkrete Ausführungsform des Plasmagenerators 1. Hier weisen die kegelstumpfmantelförmige Wandung die und die dieser gegenüberliegenden kegelstumpfmantelförmige Oberfläche 11 der Elektrode 2 jeweils einen Kegelwinkel von 60° auf. Der freie Durchmesser des Arbeitskanals 12 an seinem freien Ende ist zudem genauso groß wie der freie Innendurchmesser der kegelstumpfmantelförmigen Wandung 10 an deren freiem Ende. Zudem ist der Abstand der kegelstumpfmantelförmigen Wandung 10 zu der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche 11 so abgestimmt, dass in

dem gesamten Gasführungs kanal 7 bis zu dem Ende 13 kein Staupunkt entsteht, durch den größere Mengen des Gases 6 in den Arbeitskanal 12 gedrückt würde.

[0029] Die Ausführungsform des Plasmagenerators 1 gemäß Fig. 4 unterscheidet sich von derjenigen gemäß Fig. 3 in dem Detail, dass sich an die kegelstumpfmantelförmige Wandung 10 eine Mündung 21 des Gasführungs kanals 7 mit zylindrischem freiem Querschnitt anschließt. Hiermit kann ein aus dem Plasmagenerator 1 austretender Freistrah 14 weiter stabilisiert werden, was jedoch bei günstigen Strömungsverhältnissen des Gases 7 durch den Plasmagenerator 1 in der Regel nicht erforderlich ist. Eine solche Mündung 21 des Gasführungs kanals 7 mit zylindrischem freiem Querschnitt kann aber auch aus anderen Gründen als einer Strahlstabilisierung sinnvoll sein, z. B. um Sicherheit gegen einen Kontakt mit der innen liegenden Elektrode 2 bereitzustellen oder einen gewünschten Arbeitsabstand einzuhalten.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0030]

1	Plasmagenerators
2	Elektrode
3	Gegenelektrode
4	Dielektrikum
5	Entladungsraum
6	Gas
7	Gasführungs kanal
8	Ringraum
9	Achse
10	Wandung
11	Oberfläche
12	Arbeitskanal
13	Ende
14	Freistrah
15	Pfeil
16	Ringströmung
17	Oberfläche
18	Objekt
19	Entladungsfilament
20	optische Faser
21	Mündung

Patentansprüche

1. Plasmagenerator (1) mit einem Gasführungs kanal (7), der in einem Endbereich längs einer Achse (9) verläuft und mit einem Ende (13) auf dieser Achse (9) endet, mit einer zumindest einen Abschnitt des Endbereichs des Gasführungs kanals (7) radial nach außen begrenzenden, kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10), mit einer koaxial innerhalb der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) angeordneten kegelstumpfmantelförmigen Elektrode (2), mit einer im Bereich der kegelstumpfmantelförmigen

Wandung (10) angeordneten kegelstumpfmantelförmigen Gegenelektrode (3) und mit einem Hochspannungsgenerator, der die Elektrode (2) gegenüber der Gegenelektrode (3) mit einer Hochspannung beaufschlagt, wobei der Gasführungs kanal (7) zumindest in dem Abschnitt des Endbereichs nach innen durch eine der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) zugewandte, koaxial zu dieser angeordnete, kegelstumpfmantelförmige Oberfläche (11) begrenzt ist, wobei sich die Elektrode (2) ringförmig um die Achse (9) erstreckt und wobei sich ein zumindest für Licht einer Wellenlänge transparenter Arbeitskanal (12) auf der Achse (9) durch die Elektrode (2) bis zu dem Gasführungs kanal (7) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die kegelstumpfmantelförmige Wandung (10) und die kegelstumpfmantelförmige Oberfläche (11) einen gleichen Kegelwinkel aufweisen und einen hohltrichterförmigen Entladungsraum (5) begrenzen,

- **dass** ein auf der Elektrode (2) angeordnetes Dielektrikum die der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) zugewandte, kegelstumpfmantelförmige Oberfläche (11) ausbildet und/oder die kegelstumpfmantelförmige Wandung (10) aus einem Dielektrikum (4) ausgebildet ist und

- **dass** der Hochspannungsgenerator ein Wechselhochspannungsgenerator ist und eine Wechselhochspannung zwischen der Elektrode (2) und der Gegenelektrode (3) anlegt, die in einem durch den Entladungsraum (5) strömenden Gas (6) eine dielektrisch behinderte Entladung hervorruft, so dass am Ende (13) des Gasführungs kanals (7) ein Freistrahle austritt, der Plasma- typische energetisch angeregte Spezies enthält.

2. Plasmagenerator (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitskanal (12) bis zu dem Gasführungs kanal (7) einen freien Querschnitt aufweist.
3. Plasmagenerator (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kegelwinkel der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) und der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche (11), ein Abstand der kegelstumpfmantelförmigen Oberfläche (11) von der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) und ein freier Endquerschnitt der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) so gewählt sind, dass sich keine Gasströmung aus dem Gasführungs kanal (7) in den Arbeitskanal (12) hinein ausbildet.
4. Plasmagenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die kegelstumpfmantelförmige Wandung (10) aus einem Dielektrikum (4) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ke-

gelstumpfmantelförmige Gegenelektrode (3) außen auf der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) angeordnet ist.

5. Plasmagenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, wobei ein auf der Elektrode (2) angeordnetes Dielektrikum die der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) zugewandte, kegelstumpfmantelförmige Oberfläche (11) ausbildet, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kegelstumpfmantelförmige Wandung (10) als Gegenelektrode (3) ausgebildet ist.
6. Plasmagenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gasführungs kanal (7) mit der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) endet.
7. Plasmagenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich eine Mündung (21) des Gasführungs kanals (6) mit zylindrischem freiem Querschnitt an die kegelstumpfmantelförmige Wandung (10) anschließt, wobei ein Innendurchmesser der Mündung und ein minimaler Innendurchmesser der kegelstumpfmantelförmigen Wandung (10) gleich groß sind.
8. Plasmagenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Gaszufuhrkanal mit einer Tangentialkomponente in den Gasführungs kanal (7) einmündet.
9. Plasmagenerator (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Gaszufuhrkanal in den Endbereich des Gasführungs kanals (6) oder in einen stromauf davon angeordneten Ringraum (8) einmündet.
10. Plasmagenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Endbereich Gasführungselemente mit einer Führungskomponente in Umfangsrichtung um die Achse (9) vorgesehen sind.
11. Plasmagenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wechselhochspannungsgenerator die Elektrode (2) mit bipolaren Spannungspulsen beaufschlagt.

Claims

1. Plasma generator (1) comprising a gas guiding channel (7) which, in an end region, extends along an axis (9) and terminates with an end (13) on this axis (9); a frusto-conical shell-shaped wall (10) delimiting

at least a section of the end region of the gas guiding channel (7) in a radial outward direction; a frusto-conical shell-shaped electrode (2) coaxially arranged within the frusto-conical shell-shaped wall (10); a frusto-conical shaped counter electrode (3) arranged in the area of the frusto-conical shaped wall (10); and high voltage generator which applies a high voltage to the electrode (2) with regard to the counter electrode (3); wherein the gas guiding channel (7), at least in the section of the end region, is inwardly delimited by a frusto-conical shell-shaped surface (11) facing the frusto-conical shell-shaped wall (10) and coaxially arranged with regard to the frusto-conical shaped wall (10); wherein the electrode (2) extends around the axis (9) as a ring; and wherein a working channel (12) which is at least transparent to light of one wave length extends on the axis (9) through the electrode (2) up to the gas guiding channel (87), **characterised in**

- **that** the frusto-conical shell-shaped wall (10) and the frusto-conical shell-shaped surface (11) have a same cone angle and delimit a hollow funnel shaped discharge zone,

- **that** a dielectric arranged on the electrode (2) forms the frusto-conical shell-shaped surface (11) facing the frusto-conical shell-shaped wall (10) and/or the frusto-conical shell-shaped wall (10) is made of a dielectric (4), and

- **that** the high voltage generator is an alternating high voltage generator and applies an alternating high voltage between the electrode (2) and the counter electrode (3), which creates a dielectric barrier discharge in a gas (6) flowing through the discharge zone (5) such that, at the end (13) of the gas guiding channel (7), a free jet emerges which includes plasma-typical, energetically excited species.

2. Plasma generator (1) of claim 1, **characterised in that** the working channel (12), up to the gas guiding channel (7), has a free cross section.

3. Plasma generator (1) of claim 2, **characterised in that** the cone angle of the frusto-conical shell-shaped wall (10) and the frusto-conical shell-shaped surface (11), a distance of the frusto-conical shell-shaped surface (11) to the frusto-conical shell-shaped wall (10), and a free end cross section of the frusto-conical shell-shaped wall (10) are selected such that no gas flow out of the gas guiding channel (7) and into the working channel (12) is formed.

4. Plasma generator 1 of any of the preceding claims, wherein the frusto-conical shell-shaped wall (10) is made of a dielectric (4), **characterised in that** the frusto-conical shell-shaped counter electrode (3) is arranged at the outside of the frusto-conical shell-

shaped wall (10).

5. Plasma generator (1) of any of the preceding claims 1 to 3, wherein a dielectric arranged on the electrode (2) forms the frusto-conical shell-shaped surface (11) facing the frusto-conical shell-shaped wall (10), **characterised in that** the frusto-conical shell-shaped wall (10) forms the counter electrode (3).

6. Plasma generator (1) of any of the preceding claims, **characterised in that** the gas guiding channel (7) ends together with the frusto-conical shell-shaped wall (10).

7. Plasma generator (1) of any of the preceding claim 1 to 5, **characterised in that** a mouth (21) of the gas guiding channel (6) having a cylindric free cross section follows to the frusto-conical shell-shaped wall (10), wherein an inner diameter of the mouth and a minimum in a diameter of the frusto-conical shell-shaped wall (10) are equal.

8. Plasma generator (1) of the preceding claims, **characterised in that** at least one gas supply channel having a tangential component enters into the gas guiding channel (7).

9. Plasma generator (1) of claim 8, **characterised in that** the at least one gas supply channel enters into the end region of the gas guiding channel (6) or into an annulus collector (8) arranged upstream thereof.

10. Plasma generator (1) of any of the preceding claims, **characterised in that** gas guiding elements having a guiding component in circumferential direction around the axis (9) are provided in the end region.

11. Plasma generator (1) of any of the preceding claims, **characterised in that** the alternating high voltage generator applies bipolar voltage pulses to the electrode (2).

Revendications

1. Générateur de plasma (1) ayant une conduite de transport de gaz (7) qui s'étend dans une zone d'extrémité le long d'un axe (9) et se termine avec une extrémité (13) sur cet axe (9), ayant une paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) délimitant au moins une section de la zone d'extrémité de la conduite de transport de gaz (7) radialement vers l'extérieur, ayant une électrode en forme d'enveloppe de cône tronqué (2) agencée de façon coaxiale à l'intérieur de la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10), ayant une contre-électrode en forme d'enveloppe de cône tronqué (3) agencée dans la

zone de la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) et ayant un générateur de haute tension qui applique une haute tension à l'électrode (2) par rapport à la contre-électrode (3), la conduite de transport de gaz (7) étant délimitée au moins dans la section de la zone d'extrémité vers l'intérieur par une surface en forme d'enveloppe de cône tronqué (11) dirigée vers la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) et agencée de façon coaxiale par rapport à celle-ci, l'électrode (2) s'étendant dans une forme annulaire autour de l'axe (9) et une conduite de travail transparente au moins pour la lumière d'une longueur d'onde (12) s'étendant sur l'axe (9) à travers l'électrode (2) jusqu'à la conduite de transport de gaz (7), **caractérisé**:

- **en ce que** la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) et la surface en forme d'enveloppe de cône tronqué (11) présentent un angle de conicité identique et délimitent un compartiment de décharge en forme d'entonnoir creux (5);

- **en ce qu'**un diélectrique agencé sur l'électrode (2) constitue la surface en forme d'enveloppe de cône tronqué (11) dirigée vers la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) et/ou la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) est constituée d'un diélectrique (4); et

- **en ce que** le générateur de haute tension est un générateur de haute tension alternative et crée une haute tension alternative entre l'électrode (2) et la contre-électrode (3), qui provoque une décharge entravée de façon diélectrique dans un gaz (6) circulant à travers le compartiment de décharge (5), de telle sorte qu'à l'extrémité (13) de la conduite de transport de gaz (7) sort un jet libre qui contient des espèces excitées énergétiquement typiques du plasma.

2. Générateur de plasma (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la conduite de travail (12) présente une section libre jusqu'à la conduite de transport de gaz (7).
3. Générateur de plasma (1) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'angle de conicité de la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) et de la surface en forme d'enveloppe de cône tronqué (11), une distance entre la surface en forme d'enveloppe de cône tronqué (11) et la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) et une section d'extrémité libre de la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) sont choisis de telle sorte qu'il ne se forme aucun écoulement de gaz depuis la conduite de transport de gaz (7) vers la conduite de travail (12).
4. Générateur de plasma (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la paroi en forme

d'enveloppe de cône tronqué (10) est constituée d'un diélectrique (4), **caractérisé en ce que** la contre-électrode en forme d'enveloppe de cône tronqué (3) est agencée à l'extérieur sur la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10).

5. Générateur de plasma (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel un diélectrique agencé sur l'électrode (2) constitue la surface en forme d'enveloppe de cône tronqué (11) dirigée vers la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10), **caractérisé en ce que** la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) est réalisée en tant que contre-électrode (3).
6. Générateur de plasma (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la conduite de transport de gaz (7) se termine avec la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10).
7. Générateur de plasma (1) selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**une embouchure (21) de la conduite de transport de gaz (6) ayant une section libre cylindrique est raccordée à la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10), un diamètre intérieur de l'embouchure et un diamètre intérieur minimal de la paroi en forme d'enveloppe de cône tronqué (10) étant identiques.
8. Générateur de plasma (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins une conduite d'amenée de gaz ayant une composante tangentielle débouche dans la conduite de transport de gaz (7).
9. Générateur de plasma (1) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'au moins une conduite d'amenée de gaz débouche dans la zone d'extrémité de la conduite de transport de gaz (6) ou dans un compartiment annulaire agencé en amont de celle-ci (8).
10. Générateur de plasma (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il est prévu dans la zone d'extrémité des éléments de transport de gaz avec une composante de transport dans la direction périphérique autour de l'axe (9).
11. Générateur de plasma (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le générateur de haute tension alternative applique des impulsions de tension bipolaires à l'électrode (2).

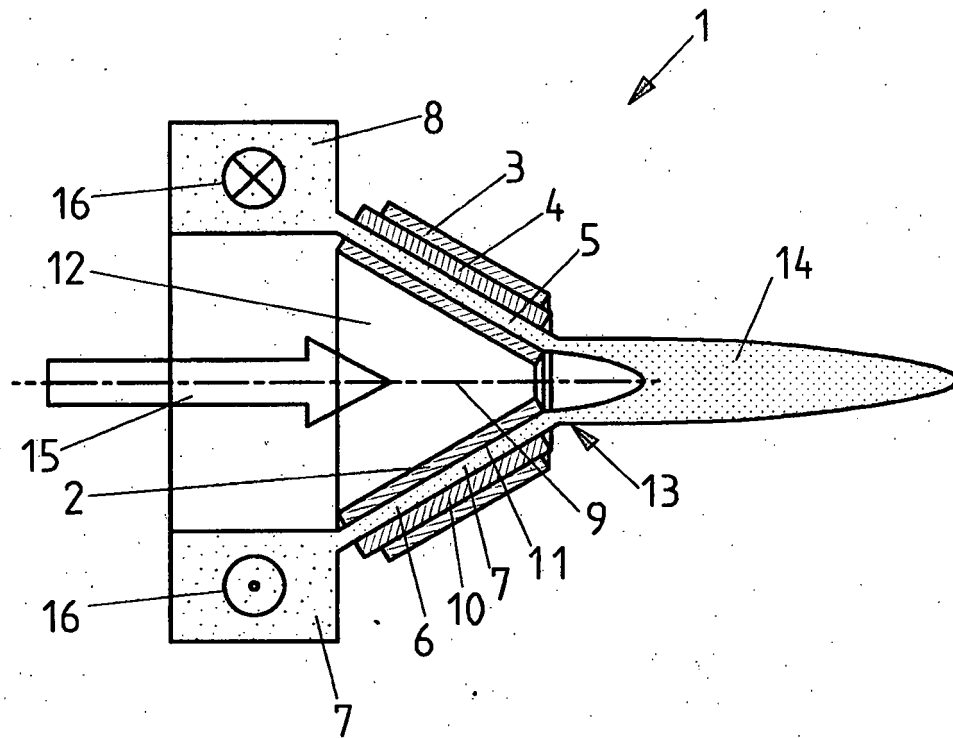


Fig. 1

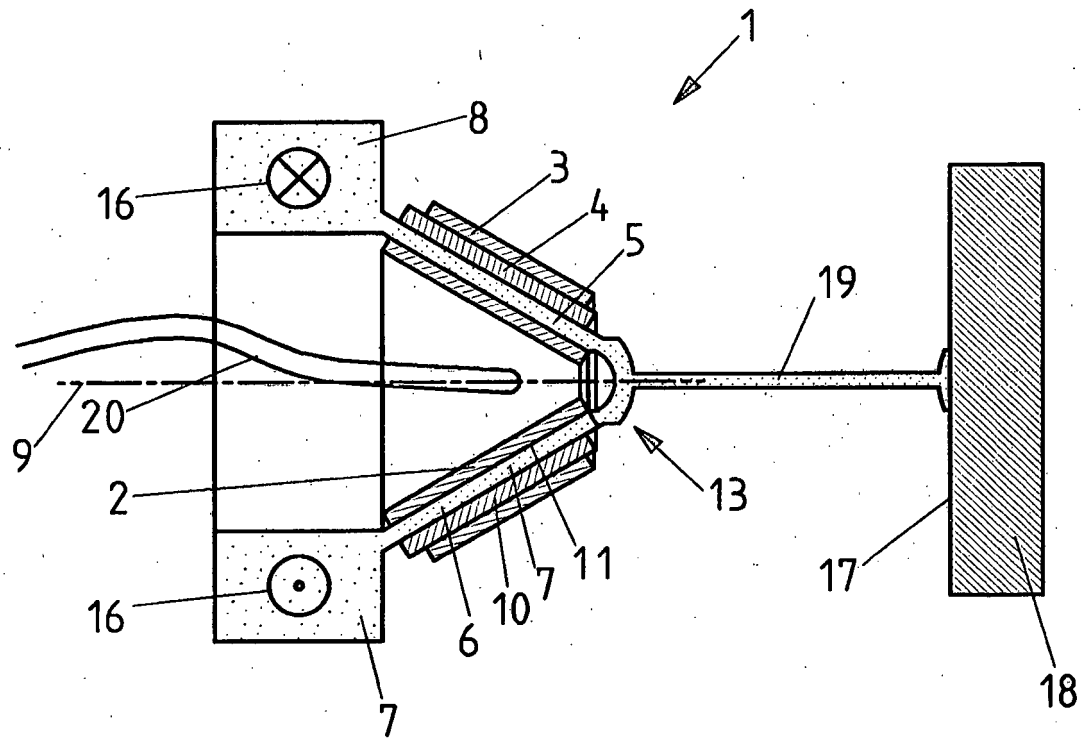


Fig. 2

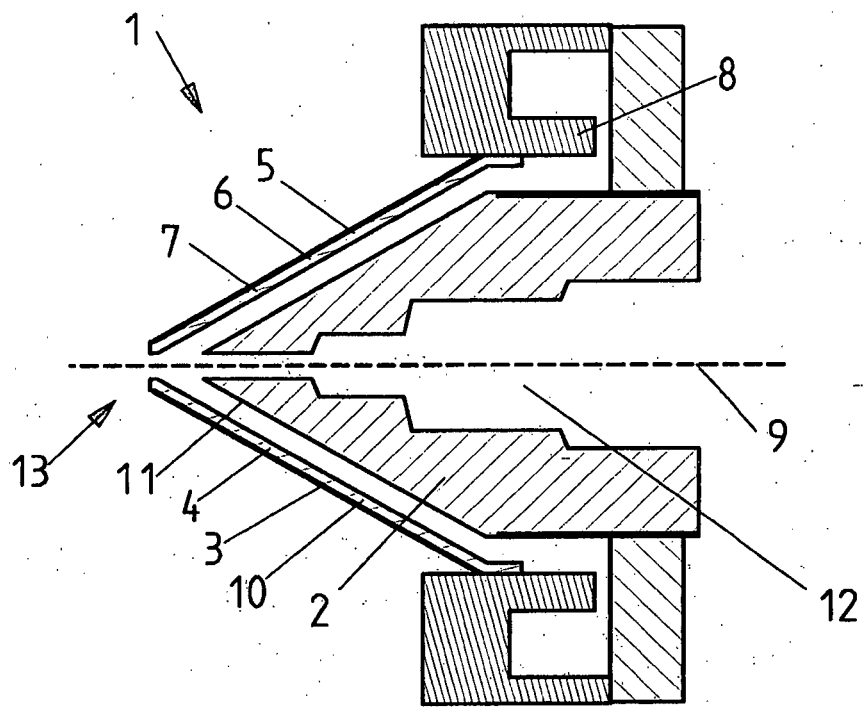


Fig. 3

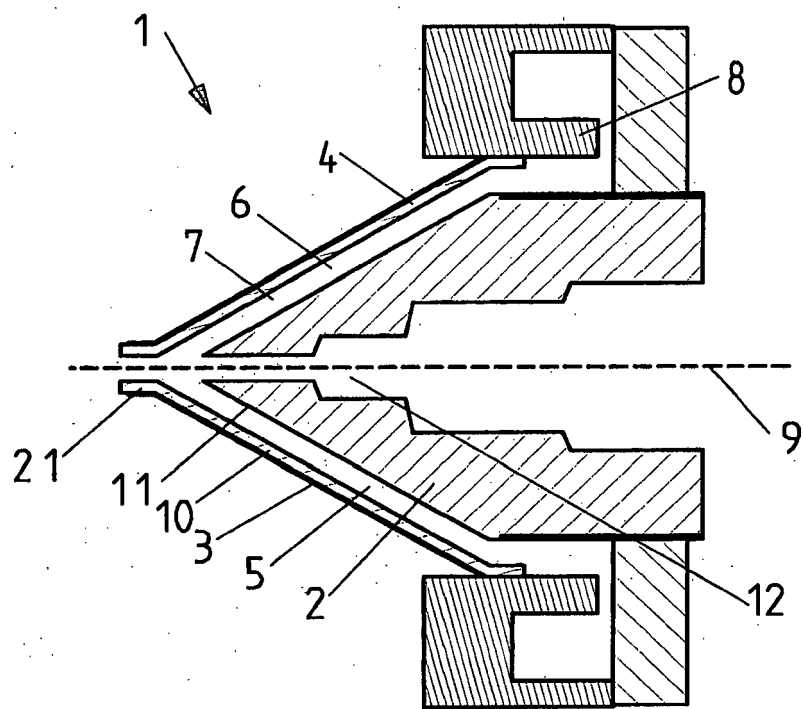


Fig. 4

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 69408502 T2 [0003]
- EP 0342388 A2 [0005]
- US 6986471 B1 [0006]
- DE 202009000537 U1 [0007]
- WO 2007080102 A1 [0008]
- US 20060043075 A1 [0009]
- US 5705785 A [0010]
- WO 03010088 A1 [0011]
- US 2004022669 A1 [0012]