

(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
12. November 2009 (12.11.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/135471 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01J 27/16 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)
H01J 27/18 (2006.01) F03H 1/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/000615

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. April 2009 (29.04.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 022 181.3 5. Mai 2008 (05.05.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ASTRIUM GMBH** [DE/DE]; Robert-Koch-Strasse 1, 82024 Taufkirchen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KADR NOSCHKA, Werner** [DE/DE]; Am Stadtgraben 8A, 74861 Neudenu (DE). **KILLINGER, Rainer** [DE/DE]; Övelgönnestrasse 56, 45569 Recklinghausen (DE). **KUKIES, Ralf** [DE/DE]; Sebastian-Pöttinge-Weg 3E, 85521 Ottobrunn (DE). **LEITER, Hans** [DE/DE]; Heinrich-Fies-Strasse 8, 74229 Oedheim (DE). **MÜLLER, Johann** [DE/DE]; Appenrader Strasse 15, 81929 München (DE). **SCHULTE,**

Georg [DE/DE]; Hohenloher Strasse 5, 74196 Neuenstadt (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, 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, ME, 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, ST, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

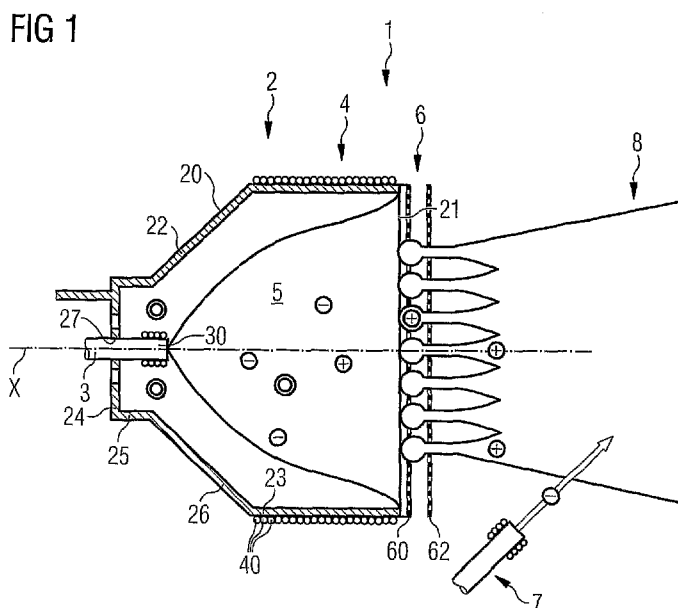
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PLASMA GENERATOR AND METHOD FOR CONTROLLING A PLASMA GENERATOR

(54) Bezeichnung: PLASMAERZEUGER UND VERFAHREN ZUM STEuern EINES PLASMAERZEUGERS



(57) Abstract: The invention relates to a plasma generator comprising a housing (20) that surrounds an ionisation chamber (5); at least one working fluid supply line (30) leading into the ionisation chamber (5), said ionisation chamber (5) comprising at least one outlet (21); and at least one electric coil arrangement (4) that surrounds at least one area of the ionisation chamber (5); said coil arrangement (4) being electrically connected to a high-frequency alternating current source (AC) that is designed such that a high frequency electric alternating current is applied to at least one coil of the coil arrangement (4). Said plasma generator is characterised in that an additional current source (DC) is designed such that a DC current or an alternating voltage is applied at a lower frequency than the voltage supplied by the high frequency alternating current source (AC) to at least one coil of the coil arrangement (4), is provided.

(57) Zusammenfassung: Ein Plasmaerzeuger mit einem Gehäuse (20), das eine Ionisationskammer (5) umgibt; zumindest einer

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/135471 A1



-
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

in die Ionisationskammer (5) mündenden Arbeitsfluidzuführung (30) wobei die Ionisationskammer (5) zumindest eine Auslassöffnung (21) aufweist; zumindest einer elektrischen Spulenordnung (4), die zumindest einen Bereich der Ionisationskammer (5) umgibt; wobei die Spulenordnung (4) mit einer Hochfrequenz-Wechselstromquelle (AC) elektrisch verbunden ist, die so ausgebildet ist, dass sie zumindest eine Spule der Spulenordnung (4) mit einer hochfrequenten elektrischen Wechselspannung beaufschlagt, zeichnet sich dadurch aus, dass eine weitere Stromquelle (DC) vorgesehen ist, die so ausgebildet ist, dass sie zumindest eine Spule der Spulenordnung (4) mit einer Gleichspannung oder einer Wechselspannung von niedrigerer Frequenz, als die von der Hochfrequenz-Wechselstromquelle (AC) gelieferte Spannung beaufschlagt.

Plasmaerzeuger und Verfahren zum Steuern eines Plasmaerzeugers

5

TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Plasmaerzeuger gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Sie betrifft weiterhin ein Verfahren zum Steuern eines Plasmaerzeugers, bei welchem ein im Plasmaerzeuger erzeugtes Plasma mittels
10 eines hochfrequenten elektrischen oder elektromagnetischen Wechselfeldes in kontrolliert wird.

STAND DER TECHNIK

15 Gattungsgemäße Plasmaerzeuger, sind als Ionenquellen, Elektronenquellen oder Plasmaquellen allgemein bekannt und werden als Ionenquelle beispielsweise in Ionentriebwerken für die Raumfahrttechnik eingesetzt. Bei dem erfindungsgemäßen Plasmaerzeuger handelt es sich um einen Hochfrequenz-Plasmaerzeuger. Wird dieser Plasmaerzeuger in einem Hochfrequenz-
20 Ionentriebwerk eingesetzt, so wird ein in die Ionisationskammer eingeleitetes Arbeitsfluid, das auch als Treibstoff oder Stützfluid bezeichnet wird, mit Hilfe eines elektromagnetischen Wechselfeldes ionisiert und dann zur Schuberzeugung im elektrostatischen Feld eines an einer offenen Seite der Ionisationskammer vorgesehenen Extraktions-Gittersystems beschleunigt. Die Ionisation erfolgt in der
25 Ionisationskammer, die von einer Spule umgeben ist. Die Spule wird von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen. Der Wechselstrom erzeugt ein axiales magnetisches Feld im Inneren der Ionisationskammer. Dieses sich zeitlich ändernde magnetische Feld induziert ein zirkulares elektrisches Wechselfeld in der Ionisationskammer.

30

Dieses elektrische Wechselfeld beschleunigt freie Elektronen, so dass diese schließlich die notwendige Energie zur Elektronenstoß-Ionisation aufnehmen

können. Atome des Treibstoffs werden dadurch ionisiert. Die Ionen werden entweder im Extraktions-Gittersystem beschleunigt oder sie rekombinieren an den Wänden mit Elektronen. Die frei werdenden Elektronen werden entweder im Feld beschleunigt oder können ihrerseits die notwendige Energie zur Ionisation
5 aufnehmen oder laufen auf die Wände der Ionisationskammer auf und rekombinieren dort.

Grundsätzlich kann der in einer Ionenquelle erzeugte Ionenstrom zum Aufprägen einer definierten Energie für unterschiedlichste Prozesse verwendet werden, beim
10 Einsatz als Ionen-Triebwerk wird die Beschleunigung der Ionen zur Schuberzeugung nach dem Rückstoßprinzip genutzt.

In herkömmlichen Ionenquellen, insbesondere in herkömmlichen Ionen-Triebwerken, findet nur eine geringe Anzahl der Ionen den Weg zum Extraktions-
15 Gittersystem, während der größte Teil der erzeugten Ionen an den Wänden der Ionisationskammer rekombiniert. Nur jene Ionen, die das Extraktions-Gittersystem erreichen, stehen beim Einsatz als Ionen-Triebwerk für die Schuberzeugung oder beim Einsatz als allgemeine Ionenquelle für die Nutzung in anderen Prozessen zur Verfügung. Von der insgesamt zugeführten elektrischen Leistung können
20 bisher nur etwa 5 % bis 20 % der elektrischen Leistung für diese Nutzung von Ionen in einer allgemeinen Ionenquelle beziehungsweise in einem Ionen-Triebwerk umgesetzt werden. Die verbleibende zugeführte elektrische Leistung wird größtenteils durch die Rekombination der Ionen an den Wänden der Ionisationskammer in Wärme und in Strahlung umgesetzt. Zur Erzeugung eines
25 Ions ist eine minimale Ionisationsenergie W_i erforderlich. Bei der Rekombination an den Wänden wird W_i in Form von Wärme und Strahlung frei und steht somit weder für eine weitere Ionisation, noch für die Nutzung durch Beschleunigung im Extraktionsgitter zur Verfügung. Die Wandrekombination ist somit der größte Verlustfaktor bei der Hochfrequenzionisation.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen gattungsgemäßen Plasmaerzeuger so auszugestalten, dass der durch Rekombination der Ionen und/oder Elektronen an den Wänden der Ionisationskammer auftretende
5 Leistungsverlust deutlich reduziert wird.

Diese Aufgabe wird durch den Plasmaerzeuger mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

10

Dabei ist zusätzlich zu der bekannten Hochfrequenz-Wechselstrom eine weitere Stromquelle oder Spannungsquelle vorgesehen, die so ausgebildet ist, dass zumindest eine Spule der Spulenordnung mit einem Gleichstrom oder mit einem Wechselstrom von niedrigerer Frequenz, als der von der Hochfrequenz-
15 Wechselstromquelle gelieferte Strom, beaufschlagt wird. Der hierdurch zusätzlich in die Spulenordnung eingespeiste Gleichstrom beziehungsweise Wechselstrom niedrigerer Frequenz überlagert dem hochfrequenten magnetischen Wechselfeld einen magnetischen Gleichfeldanteil oder zumindest einen Anteil eines niedriger frequenten magnetischen Wechselfelds. In dieser
20 Anmeldung wird das Vorsehen von Stromquellen beschrieben; es können stattdessen auch Spannungsquellen vorgesehen sein.

Auf bewegte Ladungsträger wirkt im magnetischen Feld die Lorentz-Kraft

$$F = q (v \times b)$$

25 mit der Ladung q , der Geschwindigkeit v und der magnetischen Flussdichte B . Der dem magnetischen Wechselfeld überlagerte Gleichstromanteil oder auch der Anteil des dem hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeld überlagerten niedriger frequenten Wechselstroms bewirkt, dass die Ladungsträger (Elektronen und Ionen) innerhalb der Spule und damit innerhalb der Ionisationskammer in
30 Kreisbahnen beziehungsweise Spiralbahnen im Magnetfeld gezwungen werden. Eine derartige Kreisbahnbewegung beziehungsweise Spiralbahnbewegung der Elektronen im Magnetfeld führt dazu, deren Bewegung in Richtung auf die Wände

zu reduzieren (sogenanntes „Confinement“). Da die Bewegung der Elektronen und Ionen aus dem Inneren der Ionisationskammer zu den Wänden und zum Extraktions-Gittersystem ambipolar erfolgt, wird der Fluss der Ionen zu den Wänden ebenfalls entsprechend reduziert. Auf diese Weise ist die

5 Wahrscheinlichkeit der Kollision von Ladungsträgern mit den Wänden und damit der Rekombination von Ionen und/oder Elektronen an den Wänden bei dem erfindungsgemäßen Plasmaerzeuger deutlich herabgesetzt. Die Ionen, die sich in der Sollrichtung, das ist bei einem Ionen-Triebwerk die Richtung parallel zur Längsachse auf das Extraktions-Gittersystem hin, bewegen, bewegen sich parallel

10 zu den magnetischen Feldlinien und werden durch das zusätzlich aufgebrachte magnetische Gleichfeld beziehungsweise Wechselfeld niedrigerer Frequenz, in ihrer Bewegung dorthin nicht behindert.

Der dem durch die Spulenordnung fließenden hochfrequenten Wechselstrom

15 überlagerte Gleichstrom, beziehungsweise Wechselstrom niedrigerer Frequenz, ist so zu wählen, dass er ausreichend ist, um in der Ionisationskammer ein magnetisches Feld gewünschter Höhe zu erhalten. Das Gas im Inneren der Ionenquelle, also in der Ionisationskammer, stellt ein Plasma dar. Wird einem Plasma ein inhomogenes Magnetfeld überlagert, so bewegt sich das Plasma in

20 Richtung des schwächer werdenden Magnetfelds (Gradientendrift): Unter entsprechender Gestaltung der Geometrie der Spulenordnung ist es möglich, durch Gradientendrift die Ladungsträger im Plasma verstärkt in der Sollrichtung, z. B. in Richtung auf das Extraktions-Gittersystem hin zu bewegen.

25 Mit der Erfindung ist es somit möglich, die Wandverluste in der Ionisationskammer von Plasmaerzeuger, wie Ionenquellen, insbesondere von Ionen-Triebwerken, zu reduzieren, ohne die grundlegende Konstruktionsweise der bisher bekannten Ionenquellen beziehungsweise Ionen-Triebwerken ändern zu müssen. Die Erfindung kann zudem dazu verwendet werden, um die Verteilung der

30 Plasmadichte in der Ionisationskammer zu steuern. Sie kann auch dazu verwendet werden, um zusammen mit der Gestaltung der Ionisationskammer und der Spulenordnung die Wandverluste zu minimieren. Außerdem kann beim

Plasmaerzeuger gemäß der vorliegenden Erfindung bei geeigneter Gestaltung der Ionisationskammer und der Spulenanordnung die Homogenität des Plasmas in der Ionisationskammer optimiert werden. Die Erfindung kann auch dazu verwendet werden, um die Plasmadichte in gewünschten Bereichen der

5 Ionisationskammer zu erhöhen. Sie kann aber auch dazu verwendet werden, um den Elektronenstrom aus einer Elektronenquelle zu erhöhen.

Weitere bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungsmerkmale des erfindungsgemäßen Plasmaerzeugers sind Gegenstand der Unteransprüche.

10 Der Plasmaerzeuger kann als Plasmaquelle, als Elektronenquelle oder als Ionenquelle ausgebildet sein.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist im Bereich der Auslassöffnung eine Beschleunigungseinrichtung für in der Ionisationskammer

15 gebildete Ionen oder Elektronen vorgesehen.

Diese Beschleunigungseinrichtung, die im Falle einer Ionenquelle vorzugsweise ein elektrisch positiv aufgeladenes Gitter und ein in Ausströmrichtung der Ionen aus der Ionisationskammer hinter dem positiven Gitter gelegenes negativ

20 aufgeladenes Gitter aufweist, dient dazu, die in der Ionisationskammer entstehenden Ionen in eine Richtung rechtwinklig zur Ebene der Gitter aus der Ionisationskammer heraus zu beschleunigen und so einen Ionenausstoß aus der Ionenquelle herbeizuführen. Die Gitter bilden ein Extraktions-Gittersystem. Im Fall einer Elektronenquelle ist die Reihenfolge der Gitter und damit die Polarität

25 vertauscht.

Vorzugsweise ist eine derartige Ionenquelle Bestandteil eines Ionen-Triebwerks.

In einer bevorzugten Weiterbildung ist in Stromabwärtsrichtung des die

30 Ionisationskammer verlassenden Ionenstroms ein Elektroneninjektor vorgesehen, der auf den Ionenstrom gerichtet ist und der zur Neutralisation des Ionenstroms eingerichtet ist, wobei der Elektroneninjektor vorzugsweise eine Hohlkathode

aufweist. Mittels einer derartigen Neutralisation kann verhindert werden, dass sich die Ionenquelle beziehungsweise das mit der Ionenquelle verbundene Gerät elektrostatisch auflädt.

- 5 In einer anderen Weiterbildung der erfindungsgemäßen Ionenquelle ist eine Magnetanordnung vorgesehen, die die Ionisationskammer umgibt.

Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Spulenanordnung eine Hochfrequenz-Spule aufweist, die an eine
10 hochfrequente elektrische Wechselspannung angeschlossen ist, um den Hochfrequenz-Wechselstrom in die Spule einzuleiten, und dass der von einer Gleichspannung erzeugte Gleichstrom ebenfalls direkt in die Hochfrequenz-Spule eingeleitet wird.

- 15 Die Einspeisung des Gleichstroms kann dabei vorzugsweise an einem anderen Ort der Hochfrequenz-Spule erfolgen, als die Einspeisung des hochfrequenten Wechselstroms.

Alternativ kann die Einspeisung des Gleichstroms in eine parallel zur
20 Hochfrequenz-Spule angeordnete Gleichstrom-Spule erfolgen.

Vorzugsweise ist der Gleichstrom regelbar und es ist eine Regelungseinrichtung vorgesehen, die den Gleichstrom zum Beispiel proportional zum aus der Ionisationskammer austretenden Ionenstrom regelt.

25

Der das Verfahren betreffende Teil der Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15. Bei diesem Verfahren wird das Plasma zusätzlich zum hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeld einem elektromagnetischen Gleichfeld unterworfen. Anstelle des elektromagnetischen
30 Gleichfelds kann das Plasma auch einem elektromagnetischen Wechselfeld mit einer niedrigeren Frequenz als das hochfrequente elektromagnetische Wechselfeld unterworfen werden.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung mit zusätzlichen Ausgestaltungsdetails und weiteren Vorteilen sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert.

5

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Es zeigt:

- 10 Fig. 1 Einen schematischen Längsschnitt durch ein Ionen-Triebwerk;
- Fig. 2 ein elektrisches Schaltbild der Stromversorgung eines als Ionenquelle ausgebildeten Plasmaerzeugers nach einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 15 Fig. 3 ein elektrisches Schaltbild der Stromversorgung eines als Ionenquelle ausgebildeten Plasmaerzeugers nach einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 20 Fig. 4 ein elektrisches Schaltbild der Stromversorgung eines als Ionenquelle ausgebildeten Plasmaerzeugers nach einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 5 ein elektrisches Schaltbild der Stromversorgung eines als Ionenquelle ausgebildeten Plasmaerzeugers nach einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 25 Fig. 6 ein elektrisches Schaltbild der Stromversorgung eines als Ionenquelle ausgebildeten Plasmaerzeugers nach einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 30

- Fig. 7A ein schematisches Schaltbild einer Spulenanordnung für einen erfindungsgemäßen Plasmaerzeuger als Elektronenquelle oder Ionenquelle mit außenliegender Spule;
- 5 Fig. 7B ein schematisches Schaltbild einer Spulenanordnung für einen erfindungsgemäßen Plasmaerzeuger als Elektronenquelle oder Ionenquelle mit innenliegender Spule;
- Fig. 8A eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Plasmaerzeugers als Plasmaquelle;
- 10 Fig. 8B eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Plasmaerzeugers als Plasmaquelle zur Durchführung von plasmachemischen Prozessen;
- 15 Fig. 9 ein Schaubild betreffend den zeitlichen Verlauf des Spulenstroms, des induzierten magnetischen Flusses und des elektrischen Feldes bei einem erfindungsgemäßen Plasmaerzeuger;
- 20 Fig. 10 ein Schaubild betreffend den Spulenstrom im Falle einer Gleichstrom-Überlagerung; und
- Fig. 11 den vom Spulenstrom bei aufgeprägtem Gleichstromanteil induzierten magnetischen Fluss.

25

DARSTELLUNG VON BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

- Fig. 1 stellt einen schematischen Längsschnitt durch ein Ionen-Triebwerk 1 mit einem als Ionenquelle 2 ausgebildeten Plasmaerzeuger dar. Die Ionenquelle 2 weist ein Gehäuse 20 aus elektrisch nichtleitendem Material mit einer Gehäusewand 22 auf.
- 30

Das Gehäuse 20 besitzt eine becherförmige Gestalt und ist an der in Fig. 1 rechten Seite mit einer Öffnung versehen, die eine Austrittsöffnung 21 bildet. Das Gehäuse 20 ist im Wesentlichen als polygonal oder rotationssymmetrisch um die Längsachse X geformt. Im Bereich der Austrittsöffnung 21 bildet das Gehäuse 20
5 einen ersten zylindrischen Abschnitt 23 größeren Durchmessers. Auf der von der Austrittsöffnung 21 in Richtung der Achse X abgewandten Seite ist ein rechtwinklig zur Achse X verlaufender Gehäuseboden 24 vorgesehen. Der Außendurchmesser des Gehäusebodens 24 ist geringer als der Durchmesser des ersten zylindrischen Gehäuseabschnitts 23. An den Gehäuseboden 24 schließt
10 sich ein zweiter zylindrischer Gehäuseabschnitt 25 an, dessen Durchmesser ebenfalls geringer ist als der des ersten zylindrischen Gehäuseabschnitts 23. Die beiden zylindrischen Gehäuseabschnitte 23 und 25 sind über einen kegelstumpfförmigen Gehäuseabschnitt 26 miteinander verbunden. Das Gehäuse 20 kann im Längsschnitt auch andere Formen einnehmen, wie zum Beispiel
15 Kegel-, Zylinder- oder Halbellipsen-Form.

Der Gehäuseboden 24 weist im Bereich der Achse X eine zentrale Öffnung 27 auf, durch die ein Rohr 3 in Axialrichtung von außen hindurchgeführt ist. Das Rohr 3 öffnet sich im Inneren des Gehäuses 20 der Ionenquelle 2. Außerhalb der
20 Ionenquelle 2 ist die das Rohr 3 mit einer (nicht gezeichneten) Quelle für ein Arbeitsfluid derart verbunden, dass das Arbeitsfluid mittels einer (nicht gezeichneten) Fördereinrichtung durch das Rohr 3 in das Innere der Ionenquelle 2 eingeleitet werden kann. Das Rohr 3 bildet so eine Arbeitsfluidzuführung 30 für die Ionenquelle.

25

Das Gehäuse 20 der Ionenquelle 2 ist in seinem ersten zylindrischen Abschnitt 23 mit Wicklungen 40 einer elektrischen Spulenanordnung 4 umgeben.

Im Inneren des Gehäuses 20 der wie vorstehend ausgebildeten Ionenquelle 2 ist
30 somit eine Ionisationskammer 5 gebildet. Vor der Austrittsöffnung 21 des Gehäuses 20 ist eine Extraktions-Gitteranordnung 6 vorgesehen, die ein der Austrittsöffnung 21 zugewandtes, elektrisch positiv geladenes Gitter 60 und ein

von der Austrittsöffnung 21 abgewandtes, elektrisch negativ geladenes Gitter 62 aufweist. Durch die Extraktions-Gitteranordnung 6 können Ionen, wie weiter unten noch beschrieben wird, beim Betrieb der Ionenquelle 2 nach außen parallel zur Achse X (in Fig. 1 nach rechts) als Ionenstrom 8 austreten.

5

Außerhalb des Gehäuses 20 der Ionenquelle 2 ist in der Nähe der Austrittsöffnung 21 und des Extraktions-Gitters 6 ein Elektroneninjektor 7 vorgesehen, der als Hohlkathode ausgebildet ist und der an einen Arbeitsfluidvorrat angeschlossen ist. Mittels des Elektroneninjektors 7 können Elektronen in den aus der Ionenquelle 2 austretenden Ionenstrom 8 injiziert werden, um so den Ionenstrom 8 elektrisch zu neutralisieren.

10

Im Betrieb der Ionenquelle 2 wird ein Arbeitsfluid, beispielsweise Xenon-Gas, durch die Arbeitsfluidzuführung 30 in die Ionisationskammer 5 der Ionenquelle 2 eingeleitet. Durch Anlegen einer hochfrequenten elektrischen Wechselspannung an eine Hochfrequenz-Spule der Spulenordnung 4 wird innerhalb der Ionisationskammer 5 ein Plasma erzeugt, indem Elektronen zur Kollision mit Atomen gebracht werden, um Ionen zu erzeugen. Die Ionen, die aufgrund des mittels der Spule 4 angelegten elektrischen Wechselfelds parallel zur Längsachse X in Richtung der Austrittsöffnung 21 wandern, werden in der Extraktions-Gitteranordnung 6 beschleunigt und treten als Ionenstrom 8 mit hoher Geschwindigkeit aus der Ionenquelle 2 aus, wodurch eine Schubkraft auf die Ionenquelle 2 als Rückstoßkraft der austretenden Ionen wirkt.

15

20

25

Das Gas im Inneren des Gehäuses 20 der Ionenquelle 2, also in der Ionisationskammer 5, stellt ein Plasma dar. Wird einem Plasma ein inhomogenes Magnetfeld überlagert, so bewegt sich das Plasma in Richtung des schwächer werdenden Magnetfelds, was als „Gradientendrift“ bezeichnet wird. Durch geeignete Gestaltung der Spulengeometrie der Spulen in der Spulenordnung 4 ist es möglich, durch Gradientendrift die Ladungsträger im Plasma verstärkt in Richtung auf die Austrittsöffnung 21 hin, also auf die Extraktions-Gitteranordnung 6 hin, zu bewegen.

30

Dazu wird in eine Hochfrequenz-Spule der Spulenordnung 4 ein hochfrequenter Wechselstrom eingespeist. Zudem wird bei dieser Ionenquelle in einen Schwingkreis, der die Hochfrequenz-Spule und einen Hochfrequenz-Generator als Wechselstromquelle aufweist, ein Gleichstrom eingespeist. Die Größe des Gleichstroms wird durch entsprechende Steuervorrichtungen einer zugeordneten Gleichstromquelle gesteuert. Der Stromkreis, der die Gleichstromquelle enthält, wird durch geeignete Filter gegen die Hochfrequenzanteile abgeschottet. Derartige Filter sind in bekannter Weise durch ein Netzwerk aus zumindest einer Spule und zumindest einem Kondensator gebildet. Alternativ ist es auch möglich, einen Generator zu verwenden, der neben dem Wechselstrom einen Gleichstromanteil liefert.

Fig. 2 zeigt ein Schaltungsschema der hier mit dem Bezugszeichen "S" bezeichneten elektrischen Spulenordnung 4 sowie einer Hochfrequenz-Wechselstromquelle AC und einer Gleichstromquelle DC. Weiterhin sind in der Schaltung zwei Netzwerke N1 und N2 am Eingang und am Ausgang der Spulenwicklung 40 vorgesehen. Die Spule der Spulenordnung S wird von einem Strom I durchflossen, der einen periodisch wechselnden, von der Hochfrequenz-Wechselstromquelle AC erzeugten Wechselstromanteil und einen Gleichstromanteil oder schwach veränderlichen Anteil aufweist, welcher von der Gleichstromquelle DC erzeugt wird. Die Wechselstromquelle AC weist einen Generator auf, der den Wechselstromanteil liefert, und die Gleichstromquelle DC ist modulierbar ausgestaltet und erzeugt den konstanten oder schwach veränderlichen Anteil des die Spule durchfließenden Stroms I. Die Netzwerke N1 und N2 blocken die Gleichspannungsanteile gegenüber der Wechselstromquelle AC und die Wechselspannungsanteile gegenüber der Gleichstromquelle DC. Dazu können in den Netzwerken N1 und N2 entsprechende R-, C- oder L-Netzwerke verwendet werden.

30

Alternativ zu der Schaltung aus Fig. 2 kann gemäß der Darstellung in Fig. 3 der konstante oder schwach veränderliche Strom nicht der gesamten Spulenwicklung,

sondern nur einzelnen Windungen oder einem Teil der gesamten Spulenwicklung aufgeprägt werden, wobei es sich hierbei nicht um vollständige Windungen handeln muss.

- 5 In der in Fig. 4 dargestellten alternativen Ausführungsform ist ein Verstärker AMP vorgesehen, um den Spulenstrom zu erzeugen, wobei der Verstärker von einem Wechselstromgenerator (Wechselstromquelle AC) für das periodische Signal (Wechselstromanteil des Stroms I) und einem Gleichstromgenerator (Gleichstromquelle DC) für den konstanten oder schwach veränderlichen Anteil des Stroms I
10 angesteuert wird. Bei dem Verstärker AMP kann es sich um einen so genannten Class-A oder Class-AB-Verstärker handeln.

Eine andere alternative Ausgestaltungsform ist in Fig. 5 dargestellt. Bei dieser Ausführungsform wird die Spule der Spulenordnung S von einem Generator
15 ACDC angesteuert, dessen Gleichstromanteil nicht gegenüber dem Wechselstromanteil abgeblockt ist. Der Gleichstromanteil ist idealerweise steuerbar oder regelbar.

Bei der in Fig. 6 dargestellten weiteren alternativen Ausführungsform weist die
20 Spulenordnung S eine neben der mit der Hochfrequenz-Wechselstromquelle AC verbundenen Spule S1 eine separate Spule S2 auf, die von der Gleichstromquelle DC mit Gleichstrom oder einem schwach veränderlichen Strom versorgt wird. Dabei ist die Gleichstromquelle DC mittels der am Eingang und am Ausgang der Spule S2 vorgesehenen Netzwerke N1 und N2 gegen einen von der
25 Spule S 1 des Wechselstromkreises induzierten Strom geschützt. Anstelle einer einzigen Spule im Wechselstromkreis können auch mehrere Spulen vorgesehen sein. Ebenso können auch im Gleichstromkreis anstelle einer einzelnen Spule S2 mehrere Spulen vorgesehen sein.

30 Für die Überlagerung des Hochfrequenz-Wechselstroms in der Spulenordnung S mit einem Gleichstrom oder einem schwach veränderlichen Strom (Wechselstrom niedrigerer Frequenz) kann die Ionenquelle 1' als Ionenquelle mit

außenliegender Spule beziehungsweise außenliegenden Spulen ausgestaltet sein, wie dies in Fig. 7 schematisch dargestellt ist. Die Ionenquelle 1“ kann aber auch, wie dies in Fig. 8 dargestellt ist, mit einer oder mehreren innenliegenden Spule(n) ausgebildet sein. Die Ausführungsform der Ionenquelle 1' in Fig. 7 ist mit
5 zwei Spulen S1 und S2 versehen, wobei die Spule S1 einen Abgriff A1 aufweist, an welchem ein Überlagerungsstrom partiell in die Spule S1 eingespeist werden kann. Fig. 7 zeigt zusätzlich zur Spulenordnung S auch eine Extraktions-Gitteranordnung G.

10 In Fig. 8 sind ebenfalls zwei Spulen S1 und S2 und zusätzlich eine dritte Spule S3 vorgesehen. Auch die in Fig. 8 schematisch dargestellte Ionenquelle 1“ ist mit einer Extraktions-Gitteranordnung G versehen.

Die in den Fig. 7 und 8 schematisch dargestellten Plasmaerzeuger können
15 verwendet werden in Ionen-Triebwerken mit einer Extraktions-Gitteranordnung, bei der das der Ionisationskammer benachbarte erste Gitter G1 positiv und das zweite Gitter G2 negativ geladen ist, in Elektronenquellen mit Extraktions-Gitteranordnung, bei der das der Ionisationskammer benachbarte erste Gitter G1 negativ und das zweite Gitter G2 positiv geladen ist, in Elektronenquellen ohne
20 Extraktions-Gitteranordnung oder in Elektronenquellen, die über eine Plasmabrücke emittieren. Grundsätzlich können auch Substrate T in die Ionisationskammer eingebracht sein.

Die gezeigten Plasmaerzeuger können auch in einer Plasmaquelle Verwendung
25 finden, in die ein Arbeitsgas A eingeleitet wird und aus der ein Gemisch C aus Ionen, Elektronen und neutralen Teilchen (Plasma) austritt, wie in Fig. 8A symbolisch dargestellt ist. Am Auslass für das Gemisch C kann auch eine Plasmabrücke ausgebildet sein. Das Plasma kann auch mit höherem Druck austreten und einen Plasmajet bilden.

30

Wie in Fig. 8B symbolisch dargestellt ist, können in den Plasmaerzeuger auch mehrere Arbeitsgase A, B, ... N eingeleitet werden. In der Ionisationskammer

finden dann plasmachemische Prozesse statt, so dass ein gewünschtes Reaktionsprodukt R an einer geeigneten Stelle Y des Plasmaerzeugers entnommen werden kann oder direkt mit einem in der Plasmaquelle vorgesehenen Substrat T wechselwirken kann.

5

Die Fig. 9 bis 11 zeigen Diagrammdarstellungen der zeitlichen Variation des Stroms $I(t)$, der magnetischen Flussdichte $B(t)$ und der induzierten elektrischen Feldstärke $E(t)$ anhand einer Sinusfunktion. Die Darstellung als Sinusfunktion ist lediglich beispielhaft und es kann sich um eine beliebige periodische Funktion

10

handeln. Fig. 9 zeigt die zeitliche Änderung des Stroms $I(t)$, der durch die Wechselstromspule der Spulenordnung 4 fließt, sowie den dadurch induzierten magnetischen Fluss $B(t)$ und des am Plasmaerzeuger anliegenden elektrischen Feldes $E(t)$. Dabei ist der Verlauf des Stroms $I(t)$ als durchgezogene Linie gezeichnet, der zeitliche Verlauf der magnetischen Flussdichte $B(t)$ ist als gepunktete Linie gezeichnet und der Verlauf der elektrischen Feldstärke $E(t)$ ist als strichpunktierte Linie gezeichnet. Bei der Darstellung der Fig. 9 ist noch keine

15

20

zusätzliche Aufprägung eines Gleichstroms erfolgt. In Fig. 10 sind drei Stromverläufe dargestellt, bei welchen dem durch die Spule fließenden Wechselstrom $I(t) = I_0 \sin(\omega t)$ ein geringer Gleichstrom I_1 und alternativ ein höherer Gleichstrom I_2 aufgeprägt ist. Die Kurve des zeitlichen Verlaufs des Wechselstroms wird dadurch zum positiven Bereich des Stroms hin, beziehungsweise vollständig in den positiven Bereich des Stroms, verschoben. Anstelle des Gleichstroms kann dem Wechselstrom auch ein schwach veränderlicher Strom, also ein Gleichstrom mit niedrigerer Frequenz als der hochfrequente Wechselstrom $I(t)$ aufgeprägt werden. Die Aufprägung des Gleichstroms beziehungsweise des schwach veränderlichen Stroms kann entweder für die

25

30

Fig. 11 zeigt den sich aufgrund des Stromverlaufs gemäß der drei Beispiele der Fig. 10 ergebenden magnetischen Fluss. Es wird deutlich, dass auch hier der magnetische Fluss $B(t) = B_0 \sin(\omega t)$ durch die Aufprägung des Gleichstromanteils I_1 um einen konstanten magnetischen Fluss B_1 zum positiven Bereich hin parallel verschoben wird. In gleicher Weise erfolgt eine Parallelverschiebung vollständig in den positiven Bereich bei der dritten Beispielkurve, dadurch dass aufgrund des aufgeprägten größeren Gleichstromanteils I_2 ein entsprechend hoher gleichbleibender magnetischer Fluss B_2 dem magnetischen Wechselfeld $B_0 \sin(\omega t)$ aufgeprägt wird. Der überlagerte gleichförmige Stromanteil führt somit zu einem zusätzlichen magnetischen Fluss. Wie aus den Darstellungen der Fig. 10 und 11 zu erkennen ist, lässt sich das Verhältnis von Zeiträumen mit negativer zu positiver Flussrichtung durch entsprechende Wahl der Größe des zusätzlich eingespeisten Gleichstroms beeinflussen und es kann so eine Vorzeichenumkehr des magnetischen Flusses unterdrückt werden. Ebenso wird es möglich, eine im Vergleich zur Amplitude der periodischen Flussänderung hohe Flussdichte zu erzeugen. Weiterhin kann diese Flussdichte gezielt auf Plasmabedingungen (ECR- und ICR-Resonanzfrequenz) abgestimmt werden. Das induzierte elektrische Feld $E(t)$ bleibt von der zusätzlichen Aufprägung eines Gleichstroms und der daraus resultierenden zusätzlichen Aufprägung eines konstanten magnetischen Flusses unbeeinflusst.

Kern der vorliegenden Erfindung ist somit die Überlagerung des Wechselstroms in der Hochfrequenzspule der Spulenanordnung 4 eines Plasmaerzeugers, z. B. einer Elektronenquelle, einer Plasmaquelle, einer Ionenquelle oder eines Ionentriebwerks. Dadurch werden die Wandverluste durch magnetischen Einschluss der Elektronen in der Ionisationskammer reduziert. Dieser Einschluss der Elektronen in der Ionisationskammer kann auch zeitlich gesteuert erfolgen. Der magnetische Einschluss der Elektronen in der Ionisationskammer kann außerdem zur Kontrolle oder Steuerung der Plasmadichte-Verteilung in der Ionisationskammer erfolgen. Auch hier kann der magnetische Einschluss zeitgesteuert durchgeführt werden, um die Plasmadichte-Verteilung in Abhängigkeit von der Zeit zu steuern.

Die Einspeisung des hochfrequenten Wechselstroms und des Gleichstroms kann vorzugsweise direkt in die Hochfrequenz-Wechselstromspule der Spulenordnung 4 erfolgen, so dass Wechselstrom und Gleichstrom in dieselbe
5 Spule eingespeist werden. Die Hochfrequenzspule kann einlagig oder mehrlagig ausgeführt sein. Sie kann mit Mittelanzapfung oder Teilanzapfung(en) zur beidseitigen Erdung der Anschlüsse ausgeführt sein, wobei die Wicklungen gegensinnig gewickelt sind. Die Gleichstromeinspeisung kann über eine Anzapfung erfolgen, so dass der Gleichstrom nur über einen Teil der Windungen
10 in die Spule eingeleitet wird.

Alternativ kann die Einspeisung des Gleichstroms statt in die Hochfrequenz-Spule in eine in geeigneter Weise parallel zur Hochfrequenz-Spule liegende Spule einer bifilaren Anordnung erfolgen. Die Gleichstromspule kann die gleiche, eine kleinere
15 oder auch eine höhere Windungszahl besitzen, als die Hochfrequenz-Spule. Die Hochfrequenz-Spule kann einen oder mehrere Einspeisepunkte aufweisen. Dabei kann die Einspeisung des Gleichstroms aus einer oder mehreren Gleichstromquellen erfolgen, wobei im Falle von mehreren Gleichstromquellen diese entweder einen gleichgroßen Strom oder unterschiedlich große Ströme durch die Spule
20 beziehungsweise die Windungen liefern.

Die gesamte Spulenordnung ist vorzugsweise so ausgelegt, dass sich die Einspeisung des hochfrequenten Wechselstroms und die Einspeisung des Gleichstroms nicht gegenseitig beeinflussen. Die Einspeisung des hochfrequenten
25 Wechselstroms kann mittels einer PLL-Phasenregelung erfolgen. Die Hochfrequenz-Wechselstromspule kann Teil eines Serienresonanzkreises oder eines Parallelresonanzkreises sein.

Die Hochfrequenz-Spule und/oder die Gleichstrom-Spule können entweder
30 außerhalb oder auch innerhalb des Gehäuses 20 des Plasmaerzeugers angeordnet sein. Das Gehäuse des Plasmaerzeugers kann als Zylinder, Kegel oder in anderer Formgestaltung ausgestaltet sein.

Zur optimalen Verteilung des magnetischen Feldes kann die Spule anstatt eine zylindrischen Gestalt auch jede andere Form aufweisen. So kann beispielsweise die Steigung der Windungen ungleichförmig sein. Auch können die Windungen in unterschiedlichen Abständen voneinander angeordnet sein. Die Windung kann
5 beispielsweise mäanderförmig sein. Mittels der Spule kann ein Ringfeld (cusp-Feld) oder ein multipolares Feld erzeugt werden. Über eine Vielzahl von entlang der Hochfrequenz-Spule verteilten Einspeisepunkten kann auch eine beliebige Verteilung des magnetischen Feldes erzielt werden.

10

Der Gleichstrom kann zur optimalen Anpassung des magnetischen Feldes steuerbar oder regelbar sein, zum Beispiel bei einer Ionenquelle oder einem Ionentriebwerk entsprechend dem austretenden Ionenstrom, der beim Ionentriebwerk proportional zum Schub ist.

15

Bezugszeichen in den Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen dienen lediglich dem besseren Verständnis der Erfindung und sollen den Schutzzumfang nicht einschränken.

Bezugszeichenliste

Es bezeichnen:

- | | | |
|----|----|--|
| 5 | 1 | Ionen-Triebwerk |
| | 2 | Ionenquelle |
| | 3 | Rohr |
| | 4 | elektrische Spulenanordnung |
| | 5 | Ionisationskammer |
| 10 | 6 | Extraktions-Gitteranordnung |
| | 7 | Elektroneninjektor |
| | 8 | Ionenstrom |
| | 20 | Gehäuse |
| 15 | 21 | Austrittsöffnung |
| | 22 | Gehäusewand |
| | 23 | erster zylindrischer Gehäuseabschnitt |
| | 24 | Gehäuseboden |
| | 25 | zweiter zylindrischer Gehäuseabschnitt |
| 20 | 26 | kegellstumpfförmiger Gehäuseabschnitt |
| | 27 | zentrale Öffnung |
| | 28 | Isolationsabschnitt |
| | 30 | Arbeitsfluidzuführung |
| 25 | | |
| | 40 | Wicklungen |
| | 60 | elektrisch positiv geladenes Gitter |
| | 62 | elektrisch negativ geladenes Gitter |

Patentansprüche

1. Plasmaerzeuger mit
- einem Gehäuse (20), das eine Ionisationskammer (5) umgibt;
 - 5 - zumindest einer in die Ionisationskammer (5) mündenden Arbeitsfluidzuführung (30) wobei die Ionisationskammer (5) zumindest eine Auslassöffnung (21) aufweist;
 - zumindest einer elektrischen Spulenanordnung (4), die zumindest einen Bereich der Ionisationskammer (5) umgibt;
 - 10 - wobei die Spulenanordnung (4) mit einer Hochfrequenz-Wechselstromquelle (AC) elektrisch verbunden ist, die so ausgebildet ist, dass sie zumindest eine Spule der Spulenanordnung (4) mit einem hochfrequenten elektrischen Wechselstrom beaufschlagt,
- dadurch gekennzeichnet,**
- 15 - dass eine weitere Stromquelle (DC) vorgesehen ist, die so ausgebildet ist, dass sie zumindest eine Spule der Spulenanordnung (4) mit einem Gleichstrom oder einem Wechselstrom von niedrigerer Frequenz, als der von der Hochfrequenz-Wechselstromquelle (AC) gelieferte Strom beaufschlagt.
- 20
2. Plasmaerzeuger nach Anspruch 1,
- dadurch gekennzeichnet,**
- dass der Plasmaerzeuger als Plasmaquelle ausgebildet ist.
- 25
3. Plasmaerzeuger nach Anspruch 1,
- dadurch gekennzeichnet,**
- dass der Plasmaerzeuger als Elektronenquelle ausgebildet ist.
- 30
4. Plasmaerzeuger nach Anspruch 1,
- dadurch gekennzeichnet,**
- dass der Plasmaerzeuger als Ionenquelle ausgebildet ist.

5. Plasmaerzeuger nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Bereich der Auslassöffnung (21) eine Beschleunigungseinrichtung für in der Ionisationskammer (5) gebildete Elektronen vorgesehen ist.
- 5
6. Plasmaerzeuger nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Bereich der Auslassöffnung (21) eine Beschleunigungseinrichtung (6) für in der Ionisationskammer (5) gebildete Ionen vorgesehen ist.
- 10
7. Plasmaerzeuger nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Beschleunigungseinrichtung (6) ein elektrisch positiv aufgeladenes Gitter (60) und ein in Ausströmrichtung der Ionen aus der
15 Ionisationskammer (5) hinter dem positiven Gitter (60) gelegenes negativ aufgeladenes Gitter (62) aufweist.
8. Plasmaerzeuger nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass die Ionenquelle ein Ionentriebwerk bildet.
9. Plasmaerzeuger nach Anspruch 6, 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass in Stromabwärtsrichtung des die Ionisationskammer (5) verlassenden
25 Ionenstroms ein Elektroneninjektor (7) vorgesehen ist, der auf den Ionenstrom gerichtet ist und der zur Neutralisation des Ionenstroms eingerichtet ist, wobei der Elektroneninjektor (7) vorzugsweise eine Hohlkathode aufweist.
- 30 10. Plasmaerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass eine Magnetanordnung vorgesehen ist, die die Ionisationskammer (5) umgibt.

11. Plasmaerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 **dadurch gekennzeichnet,**

- dass die Spulenanordnung (4) eine Hochfrequenz-Spule aufweist, die an eine hochfrequente elektrische Wechselspannung angeschlossen ist, um den Hochfrequenz-Wechselstrom in die Spule einzuleiten, und

10 - dass der von einer Gleichspannung erzeugte Gleichstrom ebenfalls direkt in die Hochfrequenz-Spule eingeleitet wird.

12. Plasmaerzeuger nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,

15 dass die Einspeisung des Gleichstroms an einem anderen Ort der Hochfrequenz-Spule erfolgt, als die Einspeisung des Hochfrequenz-Wechselstroms.

13. Plasmaerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 **dadurch gekennzeichnet,**

dass die Einspeisung des Gleichstroms in eine parallel zur Hochfrequenz-Spule angeordnete Gleichstrom-Spule erfolgt.

14. Plasmaerzeuger nach Anspruch 13,

25 **dadurch gekennzeichnet,**

- dass der Gleichstrom regelbar ist und
- dass eine Regelungseinrichtung vorgesehen ist, die den Gleichstrom proportional zum aus der Ionisationskammer (5) austretenden Ionenstrom regelt.

30

15. Verfahren zum Steuern eines Plasmaerzeugers, insbesondere einer Ionenquelle, bei welchem ein im Plasmaerzeuger erzeugtes Plasma mittels eines

hochfrequenten elektrischen oder elektromagnetischen Wechselfeldes in
Bewegung versetzt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Plasma zusätzlich zum hochfrequenten elektromagnetischen
5 Wechselfeld einem elektromagnetischen Gleichfeld unterworfen wird.

FIG 1

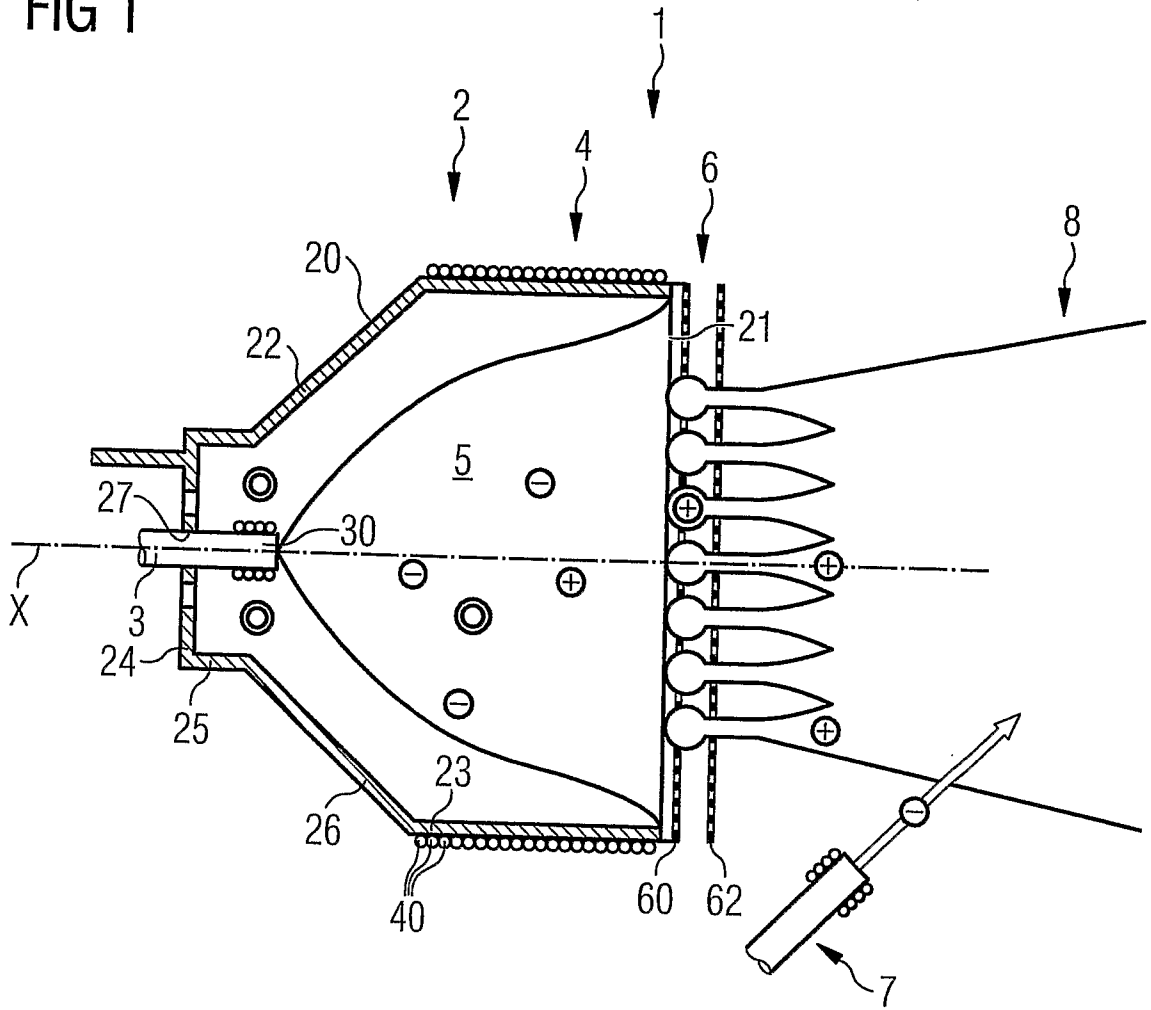


FIG 2

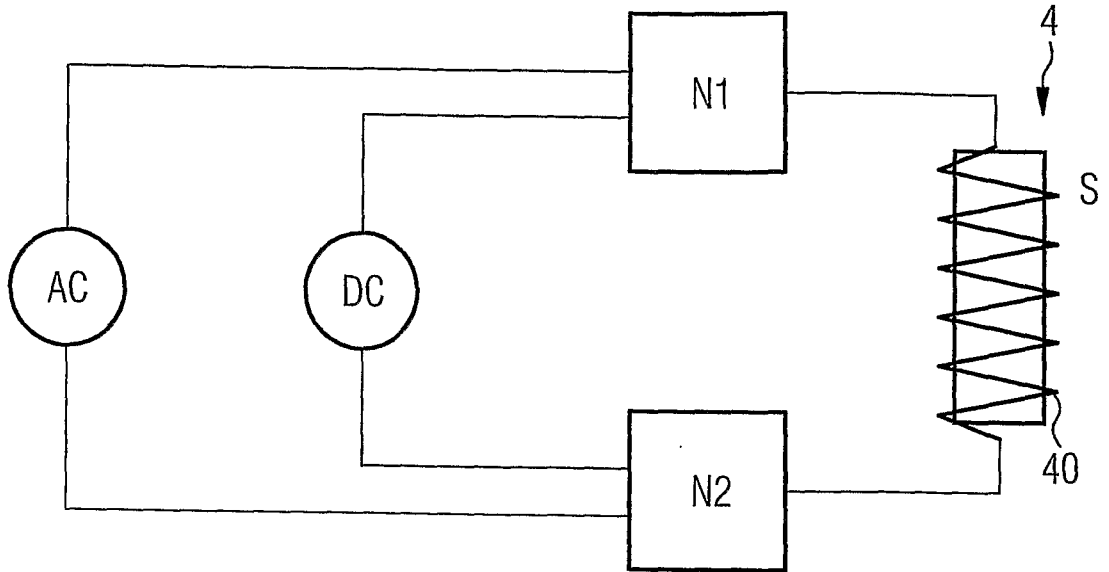


FIG 3

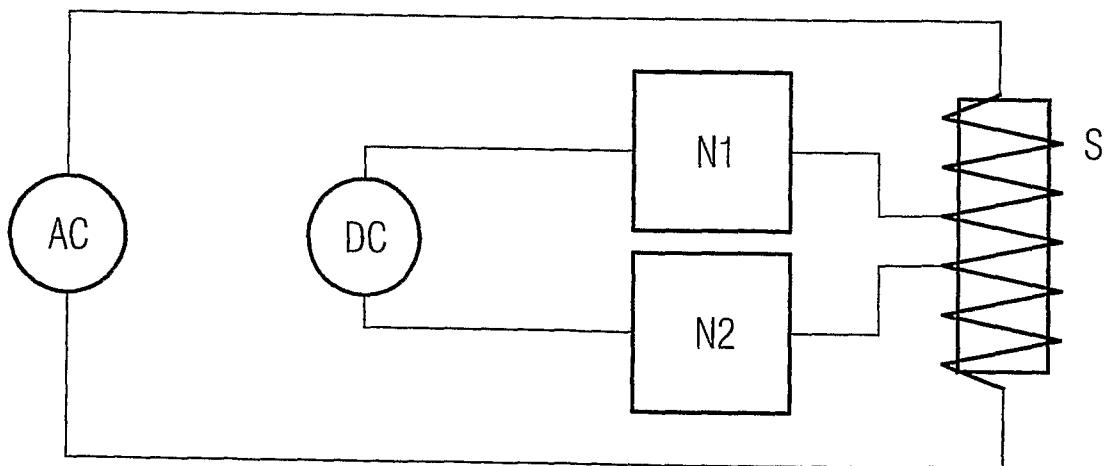


FIG 4

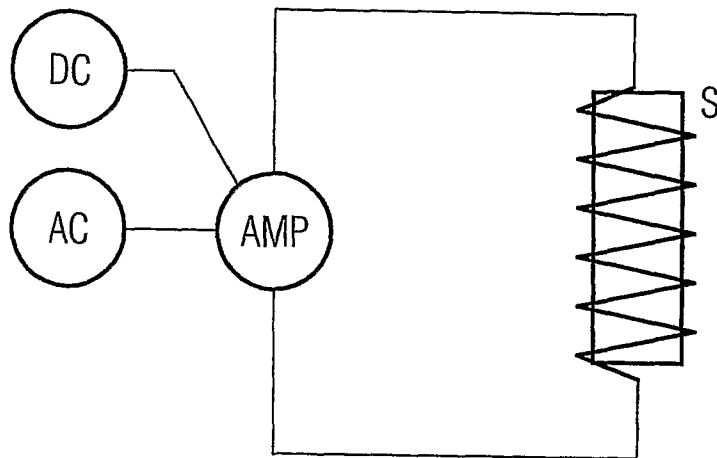


FIG 5

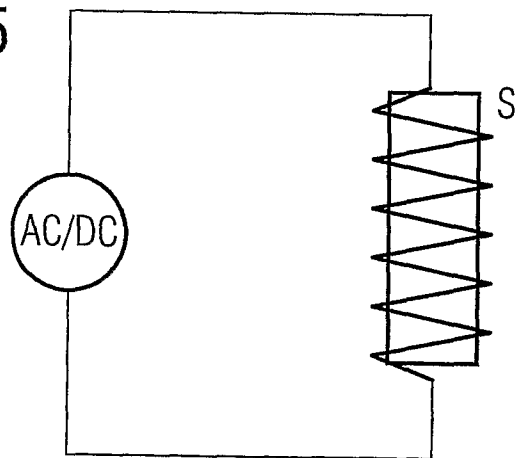


FIG 6

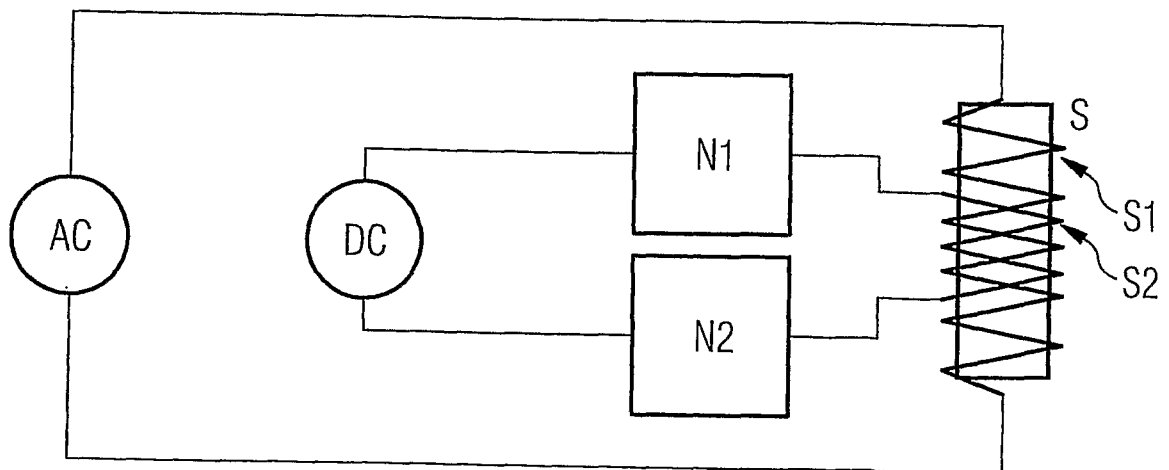


FIG 7A

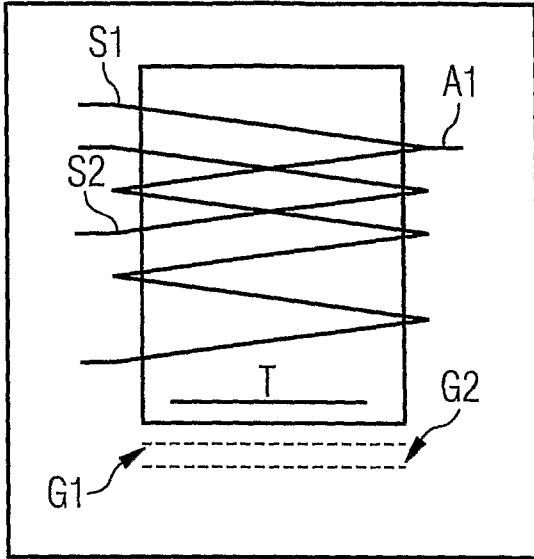


FIG 7B

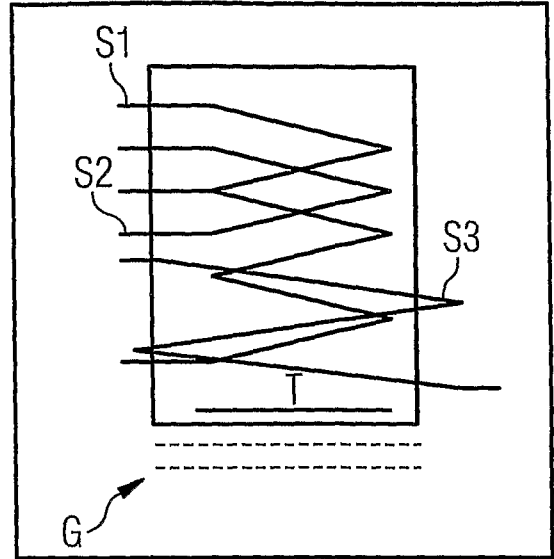


FIG 8A

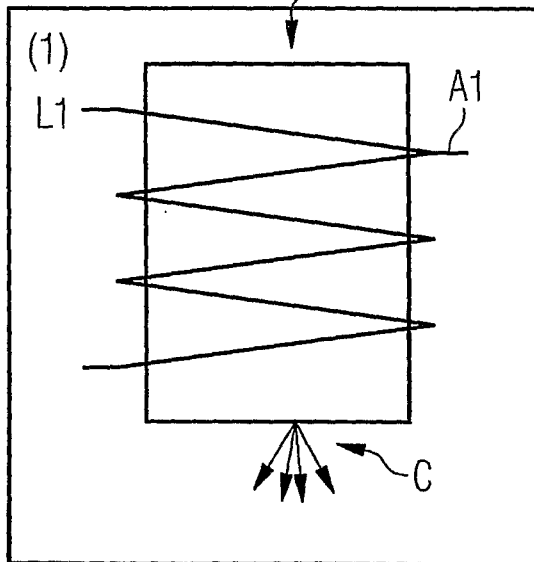


FIG 8B

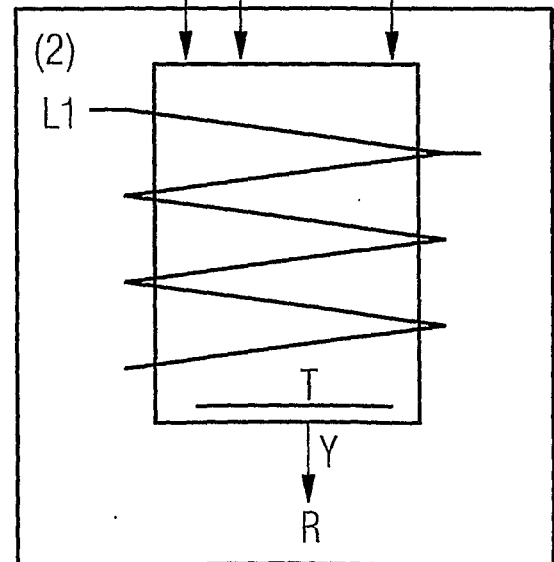
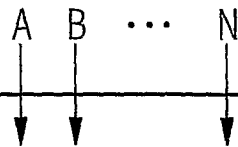


FIG 9

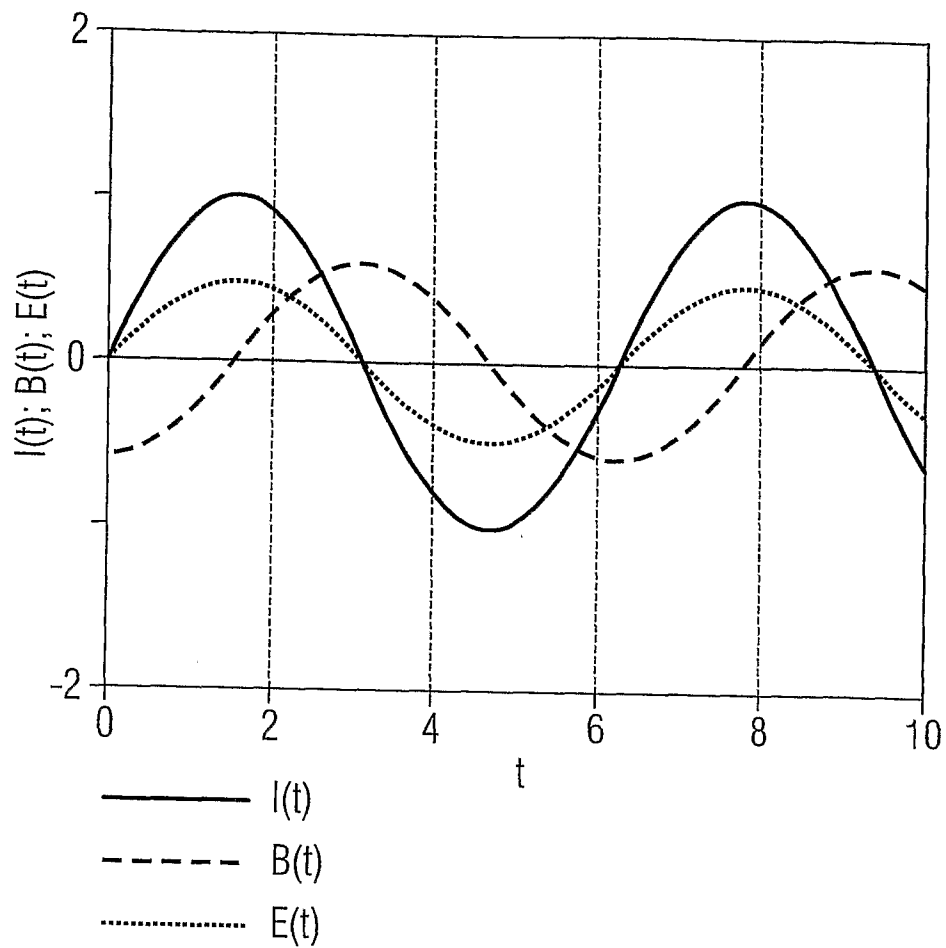


FIG 10

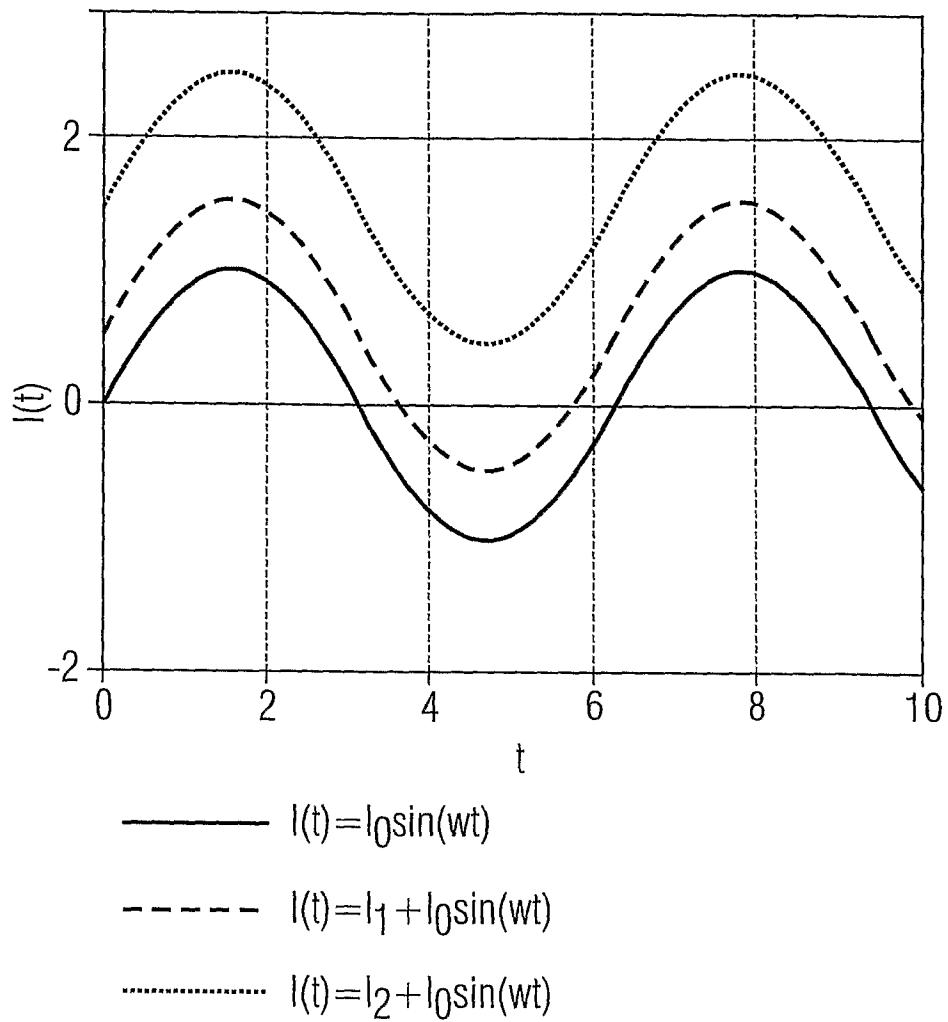
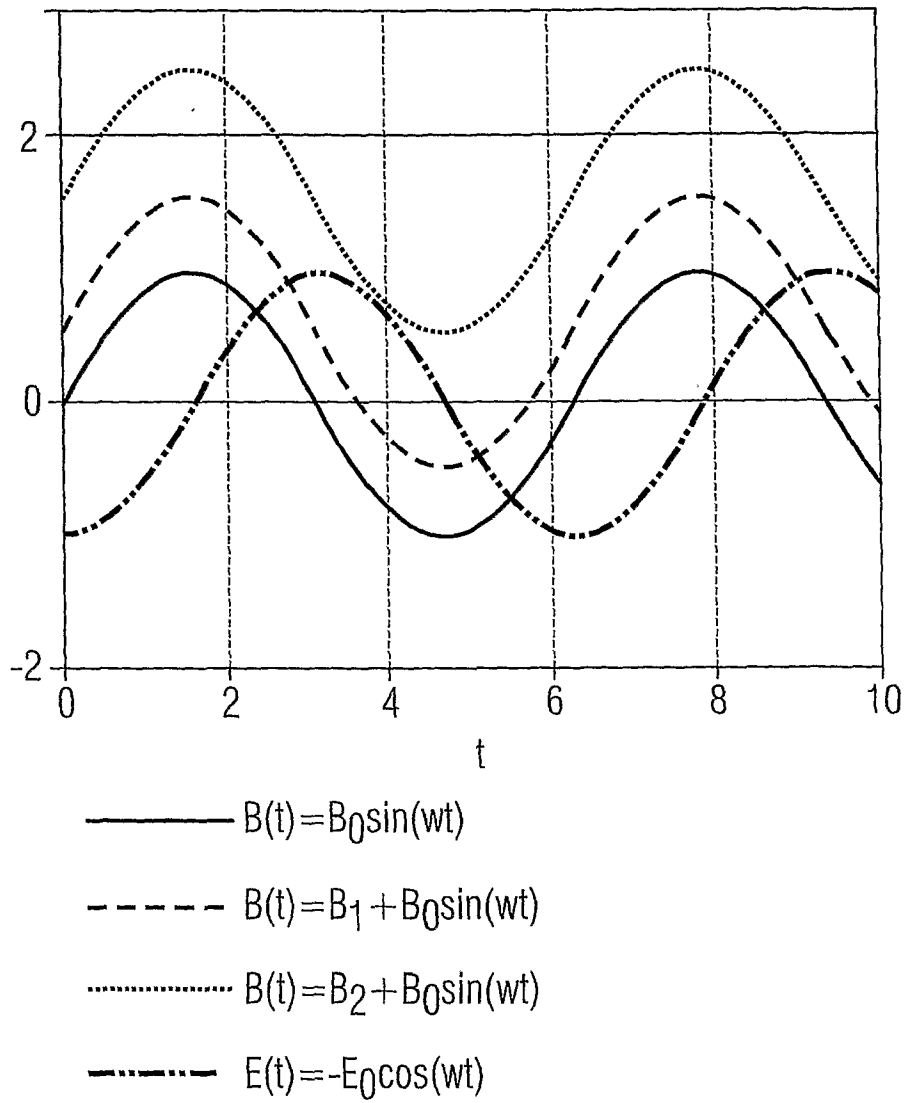


FIG 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/000615

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01J27/16 H01J27/18 H01J37/32 F03H1/00
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01J F03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 169 744 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK [GB]) 29 January 1986 (1986-01-29) abstract; figure 1 page 2, line 24 - page 3, line 18	1, 2, 4, 6, 11, 12, 14, 15
Y	-----	7-9
X	US 2004/036032 A1 (LEUNG KA-NGO [US] ET AL) 26 February 2004 (2004-02-26) abstract; figure 1 paragraph [0036]	1-6, 10, 13-15
Y	-----	7
	WO 2008/009898 A (AVIZA TECHNOLOGY LTD [GB]; PROUDFOOT GARY [GB]; GREEN GORDON ROBERT [G]) 24 January 2008 (2008-01-24) abstract; figure 1 ----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
E earlier document but published on or after the international filing date	*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	*Z* document member of the same patent family
P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 8 Oktober 2009	Date of mailing of the international search report 19/10/2009
--	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Crescenti, Massimo
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2009/000615

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 378 290 B1 (KILLINGER, RAINER [DE] ET AL) 30 April 2002 (2002-04-30) abstract; figure 1 column 5, lines 26-36	8,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2009/000615

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0169744	A	GB 2162365 A	29-01-1986
US 2004036032	A1	NONE	
WO 2008009898	A	EP 2044608 A1	08-04-2009
US 6378290	B1	DE 19948229 C1	03-05-2001
		FR 2799576 A1	13-04-2001
		GB 2357908 A	04-07-2001
		IT MI20002113 A1	29-03-2002
		JP 2001159387 A	12-06-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/000615

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01J27/16 H01J27/18 H01J37/32 F03H1/00		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01J F03H		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 169 744 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK [GB]) 29. Januar 1986 (1986-01-29) Zusammenfassung; Abbildung 1 Seite 2, Zeile 24 - Seite 3, Zeile 18	1,2,4,6, 11,12, 14,15
Y	-----	7-9
X	US 2004/036032 A1 (LEUNG KA-NGO [US] ET AL) 26. Februar 2004 (2004-02-26) Zusammenfassung; Abbildung 1 Absatz [0036]	1-6,10, 13-15
Y	WO 2008/009898 A (AVIZA TECHNOLOGY LTD [GB]; PROUDFOOT GARY [GB]; GREEN GORDON ROBERT [G]) 24. Januar 2008 (2008-01-24) Zusammenfassung; Abbildung 1	7
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 8. Oktober 2009		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 19/10/2009
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2260 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Crescenti, Massimo

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/000615

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 378 290 B1 (KILLINGER RAINER [DE] ET AL) 30. April 2002 (2002-04-30) Zusammenfassung; Abbildung 1 Spalte 5, Zeilen 26-36	8,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2009/000615

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0169744	A	29-01-1986	GB 2162365 A	29-01-1986
US 2004036032	A1	26-02-2004	KEINE	
WO 2008009898	A	24-01-2008	EP 2044608 A1	08-04-2009
US 6378290	B1	30-04-2002	DE 19948229 C1	03-05-2001
			FR 2799576 A1	13-04-2001
			GB 2357908 A	04-07-2001
			IT MI20002113 A1	29-03-2002
			JP 2001159387 A	12-06-2001