Vorrichtung zur Erzeugung von Plasmen mittels Mikrowellen

Plasmen von unterschiedlicher Art werden nach zahlreichen Verfahren erzeugt und z.B. für die Modifikation von Substraten verwendet. Die Plasmabehandlung dient z.B. der Beschichtung, Reinigung und Ätzung von Substraten, in der Medizin zur Behandlung von Implantaten sowie in der Technik zur Abgasreinigung. Die Geometrie der zu behandelnden Werkstücke reicht von flachen Substraten, Faserbündeln oder bahnförmigen Materialien bis zu Formteilen von beliebiger Gestalt. Durch hohe Wirkungsgrade und gute Verfügbarkeit von Mikrowellenerzeugern besitzen Mikrowellenplasmen erhebliche Bedeutung.

Verschiedene Apparate zur Plasmabehandlung sind bekannt. Darin werden Mikrowellen über eine Zuleitung und ggf. eine Kopplung in eine Plasmakammer eingestrahlt. Unterschiedliche Plasmen dienen verschieden Anwendungen. Für die Zuleitung der Mikrowellen werden u.a. Hohlleiter und Koaxial-Kabel, für die Kopplung u.a. Antennen und Schlitze verwendet (DE 4235914).

Zahlreiche Vorrichtungen von verschiedener Art dienen der Erzeugung von Mikrowellenplasmen. Nach dem Stand der Technik enthalten die Vorrichtungen eine Plasmakammer, einen darin liegenden Rezipienten bzw. Nutzraum und einen daran ankoppelnden zuleitenden Hohlleiter, oft als umgebenden Hohlleiterresonator ausgeführt. Zweckmäßig sind diese auf einer gemeinsamen Rotationsachse angeordnet. Durch Einkopplung treten die Mikrowellen aus dem Resonator in die Plasmakammer (FR-A2 26 68 676, EP-A1 0 593 931). Es hat sich aber gezeigt, daß die bekannte Art der Einkopplung z.B. durch Schlitze parallel zu der Rotationsachse und die Ausbildung des Resonators nicht vorteilhaft ist. In nachteiliger Weise können dort, je nach Anordnung der Koppelstellen, bestimmte Feldmuster, z.B. TM01n Moden, nicht angeregt werden. Wichtige Anwendungen sind dann nicht möglich. Es bestand daher die Aufgabe,

eine Vorrichtung für die homogene Anregung von möglichst zahlreichen Moden und/oder die Erzeugung eines großräumigen besonders homogenen Plasmas zu schaffen, die in einem weiten Druckbereich von 10^{-5} mbar bis insbesondere mehr als 1 bar arbeitet

Die Erfindung geht daher von einer Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen mit Mikrowellenerzeuger 1, einer Ankopplung 9 des Mikrowellenerzeugers an den Resonator, einer Plasmakammer 7 mit darin liegendem Rezipienten 8 und mindestens einen diese umschließenden Hohlleiterresonator 5 aus.

Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen der genannten Art, worin erfindungsgemäß die kurze Querschnittsseite des Resonators 5 parallel zur Achse der Vorrichtung bzw. parallel zur Achse der Plasmakammer 7 liegt und die Mikrowellenleistung aus dem Hohlleiterresonator 5 in die Plasmakammer 7 eingekoppelt wird. Der Resonator 5 umfaßt die Kammer 7 und hat mit der Kammer eine gemeinsame Wand, wobei der Resonator bevorzugt als Ring teilweise oder ganz die bevorzugt zylindrische Kammer umfaßt. Eine Ausbildung des Resonators 5 als Hohlleiter mit angepaßtem Abschluß ist ebenso möglich.

Zweckmäßig ist eine symetrische Anordnung von 5, 7 und 8 um eine gemeinsame Achse z, wobei nicht unbedingt Rotationssymetrie ausgebildet sein muß. Bei Notwendigkeit kann von der symetrischen einfachsten Ausbildung abgewichen werden. Der Resonator ist bevorzugt ein Ringresonator, und kann eine ovale oder annäherend rechteckige Form bzw. Kreisform besitzen. Wesentlich ist eine gestreckte Ausbildung des Querschnitts von 5 und die Ausbildung der mit der Kammer 7 gemeinsamen Wandung als die schmalste Querschnittseite des Resonators 5. Sehr bevorzugt bildet der Resonator 5 einen Ring von rechteckigem Querschnitt mit der schmalen, kurzen Rechteckseite der Kammer 7 zugewandt und als gemeinsame Wandung mit dieser ausgebildet.

Möglich ist jedoch auch die Ausbildung des Resonators 5 als Hohlleiter, der die Kammerwandung umfaßt mit z.B. im wesentlichen kreisförmigem Querschnitt.

Mehrere Resonatoren 5 mit gemeinsamer oder getrennten Mikrowellenerzeugern sind möglich und erlauben Kammern 7 von großen Abmessungen. Die Koppelstellen sind bevorzugt Schlitze, sehr bevorzugt schmale Schlitze, jedoch können auch Antennen, Schlaufen oder Verzweigungen die Koppelstellen bilden. Durch die Ausbildung der Koppelstellen in der schmalen bzw. schmalsten Seite kann die Kopplung an beliebigen Stellen der gemeinsamen Wandung von Resonator 5 und Kammer 7 um die Achse-z bzw. parallel zu dieser liegen. Erfindungsgemäß erfolgt eine vereinfachte Einkopplung mit erhöhter Energiedichte in der Plasmakammer. Dadurch ist eine verbesserte Beschichtung großer Werkstücke, verbesserte Leistung bei chemischen Reaktionen z.B. Abgasreinigung möglich.

Zweckmäßig und bevorzugt ist ein rechteckiger Querschnitt ggf. auch ein kreisförmiger Querschnitt des Resonators 5. Weiter bevorzugt ist die toroidale bzw. im wesentlichen ringförmige Ausbildung des Hohlleiterresonators 5.

Nach Anspruch 2 ist es sehr bevorzugt, daß die Koppelstellen 6 als azimutal ausgerichtete Schlitzkoppler, d.h. senkrecht zur z-Achse, ausgebildet sind. Dadurch liegen die Schlitze in Richtung ihrer langen Seite, exakt bzw. annähernd auf einem Kreis um die z-Achse senkrecht zu dieser. Es ist auch möglich, daß die Schlitze auf parallelen Kreisen oder in einem Winkel von z.B. 45° hierzu liegen.

Erfindungsgemäß liegt die kurze Querschnittsseite im Falle eines rechteckigen Querschnitts des Ringresonators 5 senkrecht zu dessen radialer Richtung und parallel zur Rotationsachse der Plasmakammer 7. Die Mikrowellenkopplung über die kurze Rechteckseite von 5 hat zur Folge, daß bei der Verwendung von Koppelschlitzen in der Wand zwischen 5 und 7 diese nicht parallel zur

z-Rotationsachse der Plasmakammer verlaufen dürfen. Im Fall der Verwendung von azimutalen Schlitzen in der Wand zwischen 5 und 7 wird der Ringresonator mit Paralleladmittanzen belastet.

Im Resonator 5 liegen bevorzugt die Koppelstellen 6 an den Stellen der elektrischen Feldmaxima der stehenden Welle. Länge und Abstand der Koppelstellen soll regelmäßig sein, doch besteht der Vorteil, daß nicht exakte Regelmäßigkeit nötig ist.

Die Koppelstellen liegen nach bevorzugt an den Stellen der gleichphasigen E-Feldmaxima der stehenden Welle.

Die Länge einer Koppelstelle, vorzugsweise der Schlitze, kann der gesamten Länge einer E-Feldhalbwelle entsprechen.

Die Ankopplung kann mittels Zirkulator, Abstimmeinheit, Zuleitung und Mikrowelleneinkopplung, bevorzugt H-Verzweiger sowie E-Verzweiger, Schlaufen, Antennen o. dgl. erfolgen. Die Abstimmung der Mikrowellenkopplung von 1 nach 5 kann z.B. durch Dreistifttuner, magisches T-Stück, Abschlußschieber oder andere Abstimmelemente, auch auf der gegenüberliegenden Seite der Mikrowelleneinkopplung von 5 erfolgen.

Die Plasmakammer 7 und entsprechend der umlaufende Hohlleiterresonator 5 ist z.B. als Ringresonator zur Anregung bestimmter Moden ausgeführt und kann entsprechend in Form eines Zylinders, besonders von Kreisquerschnitt oder auch in Form eines Würfels, einer quadratischen oder rechteckigen Säule oder dgl., auch in unregelmäßiger Form, ausgebildet sein. Die Speisung der torodialen Recheckhohlleiterresonatoren 5 kann auch durch mehrere Mikrowellenerzeuger erfolgen.

Die Kammer 7 kann mit dem zur Anregung einer TM010 Mode notwendigen Durchmesser und Höhe ausgeführt sein bzw. mit Maßen zur Anregung von TM01n (n=1,2,3,...) Moden. Aufgrund z.B. der dielektrischen Eigenschaften des Rezipienten8 kann die Feldverteilung von der idealen TM01n

(n=0,1,2,...) Feldverteilung des ungestörten Resonators 5 abweichen.
Durch zusätzliche elektrische Spulen oder Permagnentmagnete 8 kann in der Kammer 7 ein Magnetfeld erzeugt werden, wodurch eine Elektronen-Zyklotron-Resonanz zur Generierung hoher Ionendichten bei niedrigen Rezipientendrüken von etwa < 10^{-2} hPa erreicht wird.

In Abhängigkeit der Ausbildung des verwendeten Rezipienten 8 aus z.B. Quarzglas in der Plasmakammer, kann für die Plasmaerzeugung zum einen das Nahfeld der Einkoppelstellen z.B. als Schlitzantennen oder Stabantennen, oder bei entsprechenden Abmessungen der Plasmakammer, ein für den Anwendungsfall gewünschte Resonatormode, z.B. TM01n mit n=0,1,2... bei Zylinderresonatoren, ausgenutzt werden. Bei der TM010 Mode des Zylinderresonators wird ein langgestrecktes Plasma entlang der z-Achse erzeugt. Bei TM01n mit n>0 sind die Durchmesser in Abhängigkeit zur Länge des Resonators wählbar und große Plasmavolumina erreichbar.

Der Mikrowellenerzeuger hat z.B. eine Magnetron-Vakuumröhre der Frequenz: 2,45 GHz.

Bei der Anregung von Mikrowellenmoden in der Plasmakammer, z.B. die Zylindermoden TM01n mit n = 0,1,2 ..., sind die Schlitze so zu wählen, daß sie vor den gleichphasigen Maxima der Ringresonatormode angeordnet sind. Im Falle der Ausnutzung des Nahfeldes der Schlitzkoppler für die Erzeugung des Plasmas ist es jedoch ebenso möglich, die Schlitze bei jedem Maximum anzuordnen. Die Länge der Koppelschlitze sollen die Bereiche gleicher Phase nicht überschreiten, für maximale Leistungseinkopplung soll die Länge genau die Halbwellen abdecken.
Alle Bauteile können auch mehrfach in der Vorrichtung vorhanden sein.

In der Zeichnung wird die Erfindung durch Ausführungsbeispiele erläutert.

Fig.1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung im Schnitt mit darin liegenden Achsen x und z.

Fig.2 eine Aufsicht dieser Vorrichtung in Richtung der z-Achse und

Fig.3 den Schnitt einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Ankopplung von drei Resonatoren 5 an einen gemeinsamen Mikrowellenerzeuger 1 und einer gemeinsamen Plasmakammer 7.

In Fig. 1 liegt ein ringförmiger Hohlleiterresonator 5 mit der kurzen Seite seines rechteckigen Querschnitts in der Zylinderwand der Plasmakammer 7 und wird aus einem Mikrowellenerzeuger 1 über eine Ankopplung 2,3,4,9 aus Zirkulator 2, Abstimmeinheit 3 z.B. 3-Stifttuner, Zuleitung 4 und Mikrowellen-Einkoppelstelle 9 z.B. als H-Verzweiger oder E-Verzweiger mit Mikrowellen versorgt. Der Pfeil in der Zeichnung zeigt die Richtung des E-Feldes an, x und z bezeichnen die Achsen. Die in der Projektion angedeuteten Koppelschlitze 6 durchdringen auf der kurzen Seite des rechteckigen Querschnitts den Ringresonator 5 dessen gemeinsame Wand mit der Plasmakammer 7. Magnetspulen 10 bewirken in diesem Falle eine Elektronen-Zyklotron-Resonanz-Anregung.

In Fig.2 koppeln, entsprechend der in Fig.1 gezeigten Schlitze 6 in der ringförmigen Wand des Resonators 5, die Mirkrowellen in die Kammer 7 mit Rezipienten 8. Im Ringresonator 5 stehen die E-Feldvektoren senkrecht zur Zeichnungsebene.

In Fig. 3 erfolgt über die Zuleitung durch den Speiseresonator 11 eine dreifache bevorzugt phasengleiche Ankopplung von torodialen Rechteckhohlleiterresonatoren 5 an eine Plasmakammer 7. Zur Abstimmung des Speiseresonators dient ein Kurzschlußschieber 12. Mit den Stifttunern 3 werden Resonatoren 5 abgestimmt. Die Pfeile zeigen die

Ausrichtung des E-Feldes im Ringresonator an, welche erfindungsgemäß parallel zur z-Achse und senkrecht zu den Mikrowellenkoppelschlitzen steht.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Vorrichtung für die Erzeugung von Mikrowellenplasmen mit Plasmakammer und Resonator, dadurch gekennzeichnet, daß die kurze Querschnittsseite des Resonators 5 der gemeinsamen Achse z zugewandt in der Wand zwischen Resonator 5 und Plasmakammer 7 liegt und die Mikrowellenleistung aus dem Resonator 5 über Koppelstellen 6 in der kurzen Seite des Querschnitts von Resonator 5 in die Kammer 7 eingekoppelt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen 6 als azimutal ausgerichtete Schlitzkoppler in der gemeinsamen Wand von 5 und 7 ausgebildet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen 6 als Antennen oder als Schlaufen in der gemeinsamen Wand von 5 und 7 ausgeführt sind.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmakammer 7 als Mikrowellenresonator in Form eines Würfels, Quaders, einer quadratischen- oder rechteckigen Säule, eines Zylinders oder dgl. ausgeführt ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch zusätzliche elektrische Spulen 8 oder Permanentmagnete ein Magnetfeld in der Kammer 7 erzeugt wird.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüchen 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator 5 die Kammer 7 umfaßt.

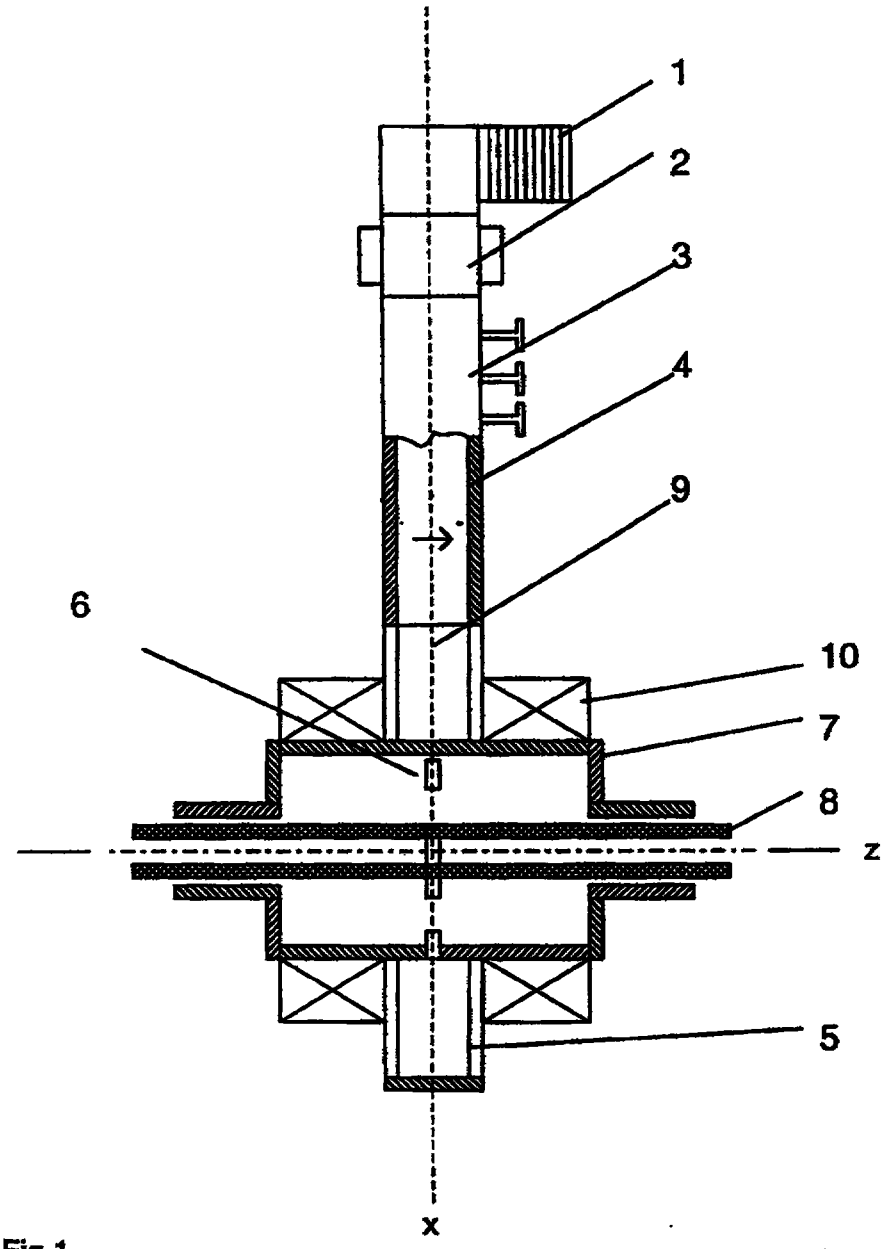


Fig.1

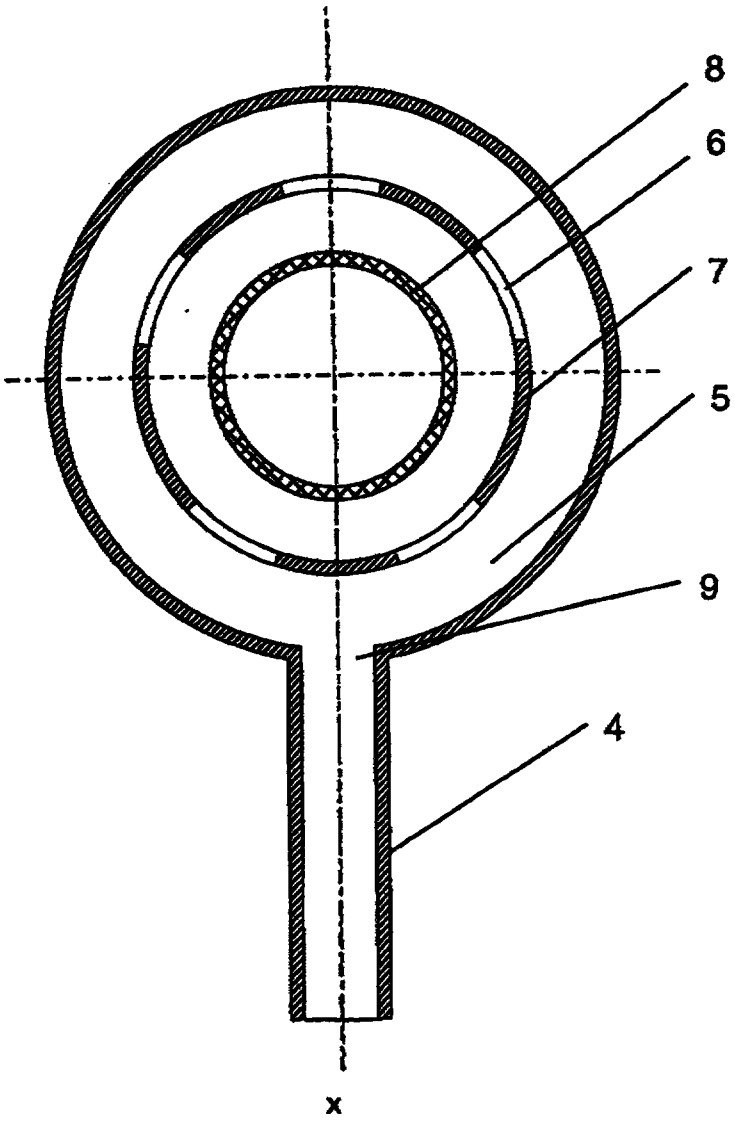


Fig.2

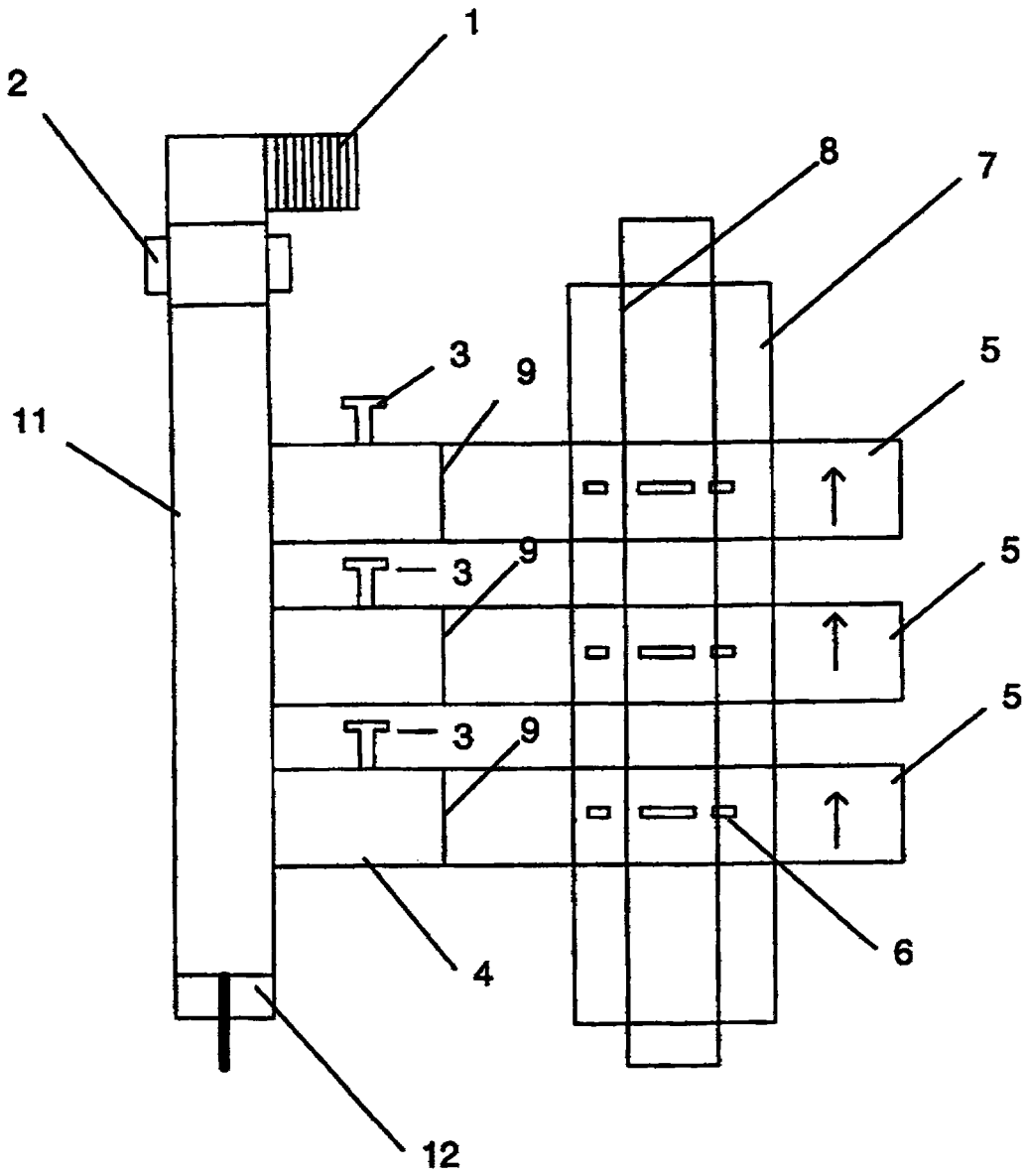


Fig.3

Device for the production of plasmas using microwaves

Various types of plasmas are produced using a wide variety of methods and are used, for example, for the modification of substrates. Plasma treatment is used, for example, for coating, cleaning and etching substrates, in medicine for the treatment of implants and in technology for purifying waste gases. The geometry of the workpieces to be treated ranges from flat substrates, fibre bundles or materials in web form, to any configuration of shaped articles. High efficiency and ready availability of microwave generators have given microwave plasmas considerable importance.

A variety of types of plasma treatment apparatus are known. In them, microwaves are injected into a plasma chamber via a feed and, optionally, a coupler. Different plasmas are used for various applications. Amongst other things, waveguides and coaxial cables are used for feeding the microwaves, and amongst other things antennas and slots are used for the coupling (DE 4235914).

A wide variety of different types of devices are used for the production of microwave plasmas. According to the prior art, the devices contain a plasma chamber, a container or working space contained therein, and a feeding waveguide which can be coupled thereto, often designed in the form of a surrounding waveguide resonator. It is expedient for these to be arranged on a common axis of rotation. Through input coupling, the microwaves emerge from the resonator into the plasma chamber (FR-A2 26 68 676, EP-A1 0 593 931). However, it has been shown that the known type of input coupling, for example through slots parallel to the axis of rotation and the design of the resonator, is not advantageous. A disadvantageous effect in this case is that, depending on

the arrangement of the coupling points, it is not possible to excite particular field patterns, for example TM01n modes. This rules out important applications. There is therefore a need to provide a device for the uniform excitation of as many modes as possible and/or for the production of a large-scale particularly uniform plasma, the device operating in a wide pressure range of from 10^{-5} mbar to, in particular, more than 1 bar.

The invention is therefore based on a device for the production of microwave plasmas, with a microwave generator 1, coupling 9 of the microwave generator to the resonator, a plasma chamber 1 with a container 8 contained therein, and at least one waveguide resonator 5 enclosing this chamber.

The invention relates to a device for the production of microwave plasmas of the said type, in which, according to the invention, the short cross-sectional side of the resonator 5 lies parallel to the axis of the device, or parallel to the axis of the plasma chamber 7, and the microwave power is coupled from the waveguide resonator 5 into the plasma chamber 7. The resonator 5 encloses the chamber 7 and has a common wall with the chamber, the resonator partially or fully enclosing the preferably cylindrical chamber, preferably in the form of a ring. It is also possible to design the resonator 5 in the form of a waveguide with matched termination.

A symmetrical arrangement of 5, 7 and 8 about a common axis z is expedient, the design not necessarily needing to involve rotational symmetry. If necessary, it is possible to depart from the symmetrical simplest design. The resonator is preferably a ring resonator, and may have an oval or approximately rectangular shape, or a circular shape. What is essential is an elongate design of the

cross-section of 5, and the design of the wall common with the chamber 7 as the narrowest cross-sectional side of the resonator 5. It is very preferable for the resonator 5 to form a ring of rectangular cross-section with the narrow, short rectangle side facing the chamber 7 and being designed as a common wall with the latter.

However, it is also possible to design the resonator 5 as a waveguide which encloses the chamber wall with, for example, an essentially circular cross-section.

It is possible to have a plurality of resonators 5 with common or separate microwave generators, such resonators making it possible to have chambers 7 with large dimensions. The coupling points are preferably slots, and very preferably narrow slots, although it is also possible for antennas, loops or junctions to form the coupling points. If the coupling points are formed in the narrow or narrowest side, then the coupling may lie at arbitrary points on the common wall of the resonator 5 and chamber 7, about the z axis or parallel thereto. According to the invention, simplified input coupling with increased energy density takes place in the plasma chamber. This allows improved coating of large work pieces, and increased capacity in the case of chemical reactions, for example for the purification of waste gases.

It is expedient and preferable to have a rectangular cross-section, or optionally even a circular cross-section, for the resonator 5. It is also preferable for the design of the waveguide resonator 5 to be toroidal or essentially annular.

According to Claim 2, it is very preferable for the coupling points 6 to be formed as azimuthally oriented slot couplers, that is to say perpendicular to the z axis. As a

result, in the direction of their long side, the slots lie exactly or approximately on a circle around the z axis, perpendicular thereto. It is also possible for the slots to lie on parallel circles, or at an angle of, for example, 45° thereto.

According to the invention, in the case when the ring resonator 5 has a rectangular cross-section, the short cross-sectional side is perpendicular to the radial direction of this resonator and parallel to the axis of rotation of the plasma chamber 7. Coupling the microwaves via the short rectangle side of 5 has the result that when coupling slots are used in the wall between 5 and 7, they need not extend parallel to the axis of rotation z of the plasma chamber. In the case when azimuthal slots are used in the wall between 5 and 7, the ring resonator has parallel admittances.

In the resonator 5, the coupling points 6 preferably lie at the points of the electric field maxima of the standing wave. Although the length and separation of the coupling points ought to be uniform, there is an advantage in that exact uniformity is not required.

It is preferable for the coupling points to lie at the points of the in-phase E field maxima of the standing wave.

The length of a coupling point, preferably of the slots, may correspond to the full length of an E field half-wave.

Coupling may take place using a circulator, tuning unit, feed and input microwave coupler, preferably H junctions and E junctions, loops, antennas or the like. The microwave coupling from 1 to 5 may be tuned, for example,

This Sheet Has Been Replaced



THIS SHEET HAS BEEN REPLACED

by three-pin tuners, a magic T piece, termination discs or other tuning elements, even on the opposite side of the input microwave coupling from 5.

The plasma chamber 7, and accordingly the waveguide resonator 5 around it, is designed for example as a ring resonator for the excitation of particular modes, and may accordingly be designed in the form of a cylinder, in particular with circular cross-section, or alternatively in the form of a cube, a square or rectangular column or the like, even with an irregular shape. The toroidal rectangular waveguide resonators 5 may also be fed by a plurality of microwave generators.

The chamber 7 may be designed with the diameter and height needed for the excitation of a TM010 mode, or with dimensions for the excitation of TM01n, (n = 1,2,3,...) modes. On account, for example, of the dielectric properties of the container 8, the field distribution may differ from the ideal TM01n (n = 0,1,2,...) field distribution of the unperturbed resonator 5.

Through additional electric coils or permanent magnets 8, it is possible to produce a magnetic field in the chamber 7, by means of which it is possible to achieve electron cyclotron resonance for the generation of high ion densities at low container pressures, of about $< 10^{-2}$ hPa.

Depending on the design of the container 8, for example made of quartz glass, which is used in the plasma chamber, it is possible, on the one hand, for the near field of the input coupling points, for example in the form of slot antennas or rod antennas, or when the plasma chamber is correspondingly dimensioned, a resonator mode desired for the application case, for example TM01n with n = 0,1,2... in the case of cylinder resonators, to be

employed for the plasma production. In the case of the TM010 mode of the cylinder resonator, an extended plasma along the z axis is produced. In the case of TM01n with n>0, the diameters may be selected as a function of the length of the resonator, and large plasma volumes can be achieved.

The microwave generator has, for example, a magnetron vacuum tube of frequency: 2.45 GHz.

In the case of exciting microwave modes in the plasma chamber, for example the cylinder modes TM01n with n = 0,1,2 ..., the slots should be chosen in such a way that they are arranged in front of the in-phase maxima of the ring resonator mode. However, in the case when the near field of the slot couplers is used for producing the plasma, it is also possible to arrange the slots at every maximum. The length of the coupling slots should not exceed the in-phase regions, and for maximum input power coupling the length should exactly cover the half-waves.

It is also possible for the device to contain several of all the components.

The invention will be explained by illustrative embodiments in the drawing.

Fig. 1 shows a device according to the invention in section, with the x and z axes lying therein.

Fig. 2 shows a plan view of this device in the direction of the z axis, and

Fig. 3 shows the section of a device according to the invention, with the coupling of three resonators 5 to a common microwave generator 1 and a common plasma chamber 7.

In Fig. 1, an annular waveguide resonator 5 has the short side of its rectangular cross-section in the cylinder wall of the plasma chamber 7, and is supplied with microwaves from a microwave generator 1 via a coupling system 2, 3, 4, 9 consisting of a circulator 2, tuning unit 3, for example 3-pin tuner, feed 4 and input microwave coupling point 9, for example in the form of a H junction or E junction. The arrow in the drawing indicates the direction of the E field, and x and z denote the axes. On the short side of the rectangular cross-section of the ring resonator 5, the coupling slots 6 indicated in the projection pass through the wall of this resonator common with the plasma chamber 7. In this case, magnet coils 10 lead to electron cyclotron resonance excitation.

In Fig. 2, in accordance with the slots 6 shown in Fig. 1 in the annular wall of the resonator 5, the microwaves couple into the chamber 7 with container 8. In the ring resonator 5, the E field vectors are perpendicular to the plane of the drawing.

In Fig. 3, via the feed through the delivery resonator 11, there is triple, preferably in-phase coupling of toroidal rectangular waveguide resonators 5 to a plasma chamber 7. A short-circuit disc 12 is used for tuning the delivery resonator. Resonators 5 are tuned using the pin tuners 3. The arrows indicate the orientation of the E field in the ring resonator, which according to the invention is parallel to the z axis and perpendicular to the microwave coupling slots.

PATENT CLAIMS

1. Device for the production of microwave plasmas with a plasma chamber and a resonator, characterized in that the short cross-sectional side of the resonator 5 lies facing the common axis z in the wall between the resonator 5 and the plasma chamber 7, and the microwave power is coupled from the resonator 5 into the chamber 7 via coupling points 6 in the short side of the cross-section of the resonator 5.

2. Device according to Claim 1, characterized in that the coupling points 6 are formed as azimuthally oriented slot couplers in the common wall of 5 and 7.

3. Device according to Claim 1, characterized in that the coupling points 6 are formed as antennas or loops in the common wall of 5 and 7.

4. Device according to one of Claims 1 to 3, characterized in that the plasma chamber 7 is designed as a microwave resonator in the form of a cube, cuboid, a square or rectangular column, a cylinder or the like.

5. Device according to one of Claims 1 to 4, characterized in that a magnetic field is produced in the chamber 7 by additional electrical coils 8 or permanent magnets.

6. Device according to one of Claims 1 or 3, characterized in that the resonator 5 encloses the chamber 7.

ABSTRACT

A device for the production of microwave plasmas with a microwave generator 1 and its coupling system to a waveguide resonator 5 which encloses a plasma chamber 7 is proposed, the short side of the cross-section of the resonator 5 lying parallel, facing the z axis, in the common wall with the chamber 7, and the microwave power being coupled from the resonator 5 into the chamber 7 via coupling points 6 in this short cross-sectional side. The coupling points are preferably formed as azimuthal slot couplers in the common wall of 5 and 7. The reference numbers relate to
Figure 1.

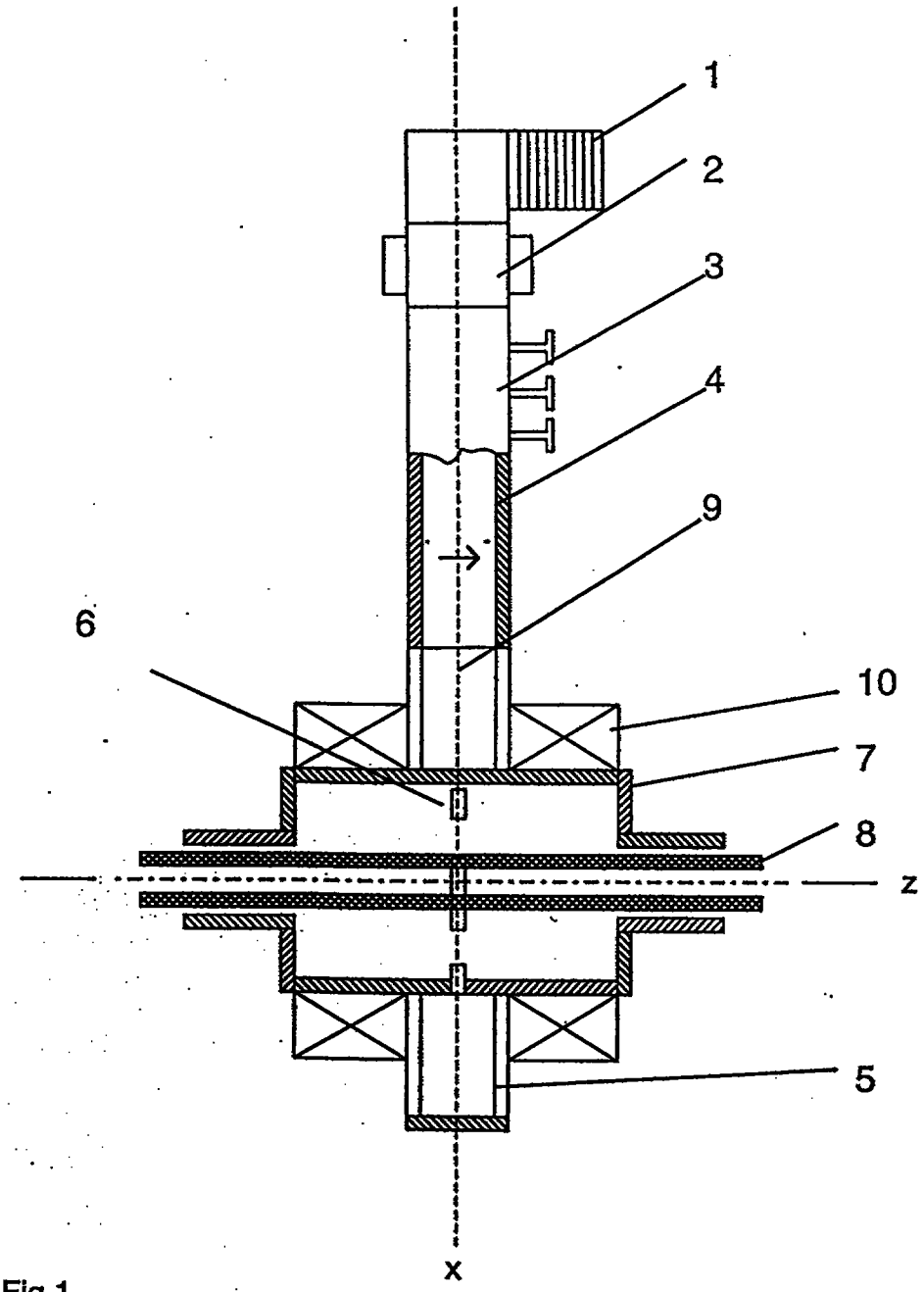


Fig.1

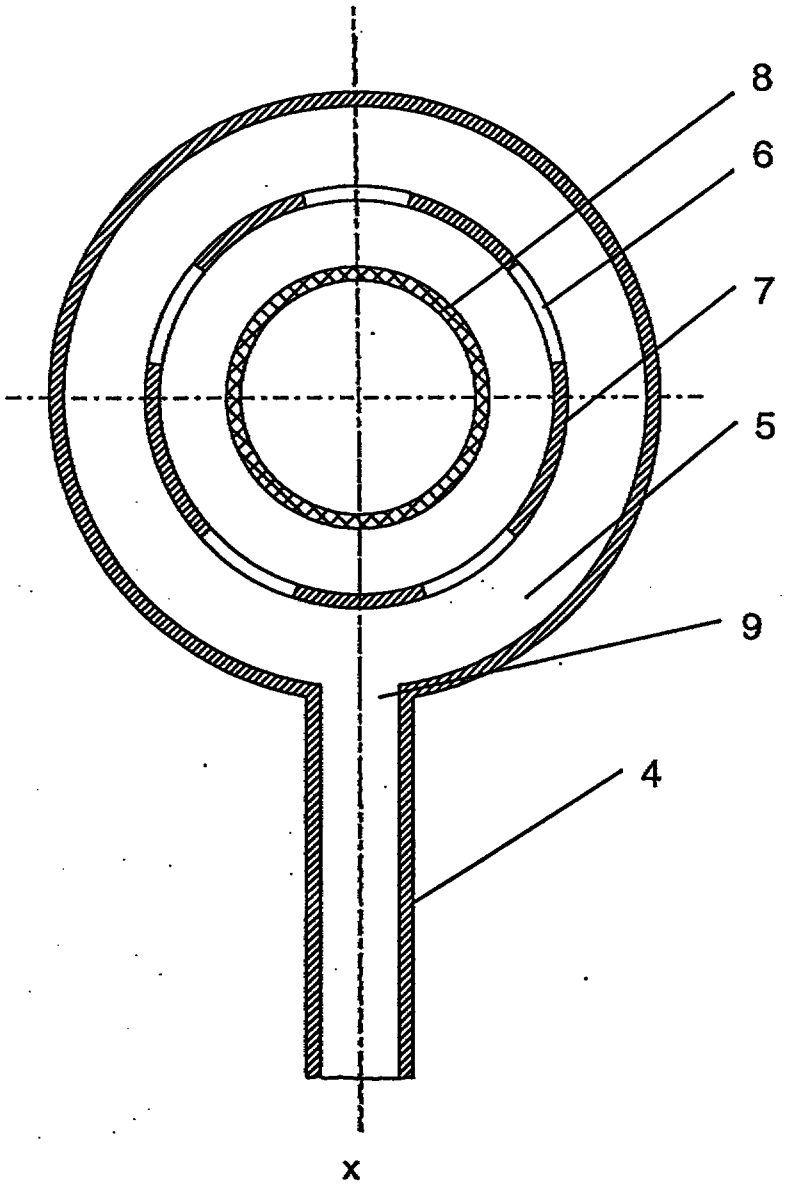


Fig.2

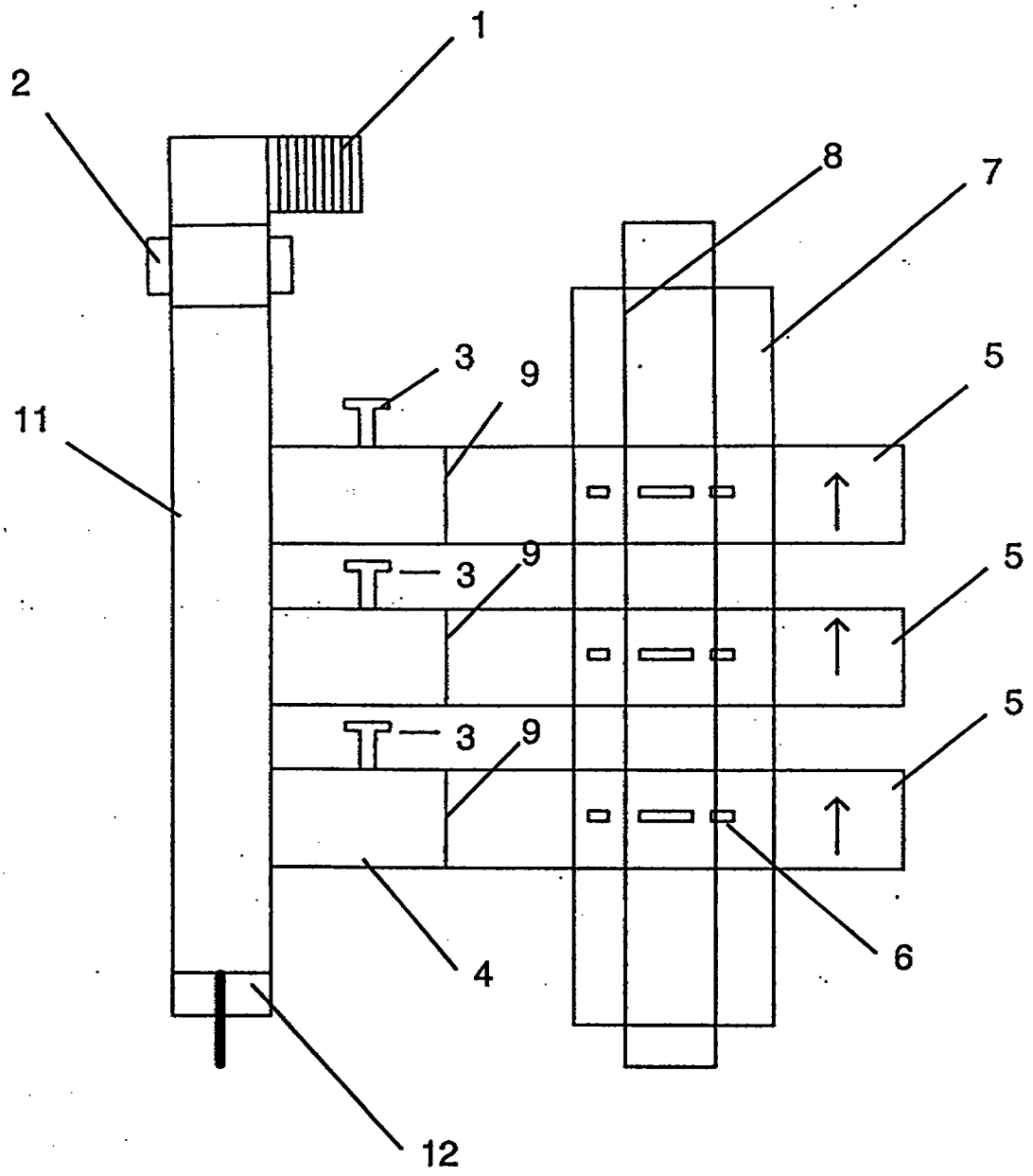


Fig.3

(n=0,1,2,...) Feldverteilung des ungestörten Resonators 5 abweichen.
Durch zusätzliche elektrische Spulen oder Permagnentmagnete 10 kann in der Kammer 7 ein Magnetfeld erzeugt werden, wodurch eine Elektronen-Zyklotron-Resonanz zur Generierung hoher Ionendichten bei niedrigen Rezipientendrükken von etwa < 10^{-3} hPa erreicht wird.

In Abhängigkeit der Ausbildung des verwendeten Rezipienten 8 aus z.B. Quarzglas in der Plasmakammer, kann für die Plasmaerzeugung zum einen das Nahfeld der Einkoppelstellen z.B. als Schlitzantennen oder Stabantennen, oder bei entsprechenden Abmessungen der Plasmakammer, ein für den Anwendungsfall gewünschte Resonatormode, z.B. TM01n mit n=0,1,2... bei Zylinderresonatoren, ausgenutzt werden. Bei der TM010 Mode des Zylinderresonators wird ein langgestrecktes Plasma entlang der z-Achse erzeugt. Bei TM01n mit n>0 sind die Durchmesser in Abhängigkeit zur Länge des Resonators wählbar und große Plasmavolumina erreichbar.

Der Mikrowellenerzeuger hat z.B. eine Magnetron-Vakuumröhre der Frequenz: 2,45 GHz.

Bei der Anregung von Mikrowellenmoden in der Plasmakammer, z.B. die Zylindermoden TM01n mit n = 0,1,2 ..., sind die Schlitze so zu wählen, daß sie vor den gleichphasigen Maxima der Ringresonatormode angeordnet sind. Im Falle der Ausnutzung des Nahfeldes der Schlitzkoppler für die Erzeugung des Plasmas ist es jedoch ebenso möglich, die Schlitze bei jedem Maximum anzuordnen. Die Länge der Koppelschlitze sollen die Bereiche gleicher Phase nicht überschreiten, für maximale Leistungseinkopplung soll die Länge genau die Halbwellen abdecken.
Alle Bauteile können auch mehrfach in der Vorrichtung vorhanden sein.

GEÄNDERTES BLATT

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Vorrichtung für die Erzeugung von Mikrowellenplasmen mit Plasmakammer und Resonator, dadurch gekennzeichnet, daß die kurze Querschnittsseite des Resonators 5 der gemeinsamen Achse z zugewandt in der Wand zwischen Resonator 5 und Plasmakammer 7 liegt und die Mikrowellenleistung aus dem Resonator 5 über Koppelstellen 6 in der kurzen Seite des Querschnitts von Resonator 5 in die Kammer 7 eingekoppelt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen 6 als azimutal ausgerichtete Schlitzkoppler in der gemeinsamen Wand von 5 und 7 ausgebildet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen 6 als Antennen oder als Schlaufen in der gemeinsamen Wand von 5 und 7 ausgeführt sind.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmakammer 7 als Mikrowellenresonator in Form eines Würfels, Quaders, einer quadratischen- oder rechteckigen Säule, eines Zylinders oder dgl. ausgeführt ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch zusätzliche elektrische Spulen oder Permanentmagnete (10) ein Magnetfeld in der Kammer 7 erzeugt wird.

(12) In the application, except in the drawings -

(a) all sheets in the request shall, when filed, be numbered consecutively; and

(b) all other sheets shall, when filed, be numbered consecutively as a separate series,

and all such numbering shall be in Arabic numerals placed at the top of the sheet, in the middle, but not in the top margin.

(13) All sheets of drawings contained in the application shall be numbered consecutively as a separate series.

(14) Such numbering shall be in Arabic numerals placed at the top of the sheet, in the middle, but not in the top margin.

(15) Every document (other than drawings) referred to in paragraph (1) shall be typed or printed in a dark, indelible colour in at least 1½ line spacing and in characters of which the capital letters are not less than 0.21 cm high:

Provided that Patents Form 1 may be completed in writing, and that graphic symbols and characters and chemical and mathematical formulae may be written or drawn, in a dark indelible colour.

(16) The request for the grant of a patent, the description, the claims and the abstract shall not contain drawings.

(17) The description, the claims and the abstract may contain chemical or mathematical formulae.

(18) The description and the abstract may contain tables.

(19) The claims may contain tables only if their subject-matter makes the use of tables desirable.

(20) In all documents referred to in paragraph (1), units of weights and measures shall be expressed in terms of the metric system.

(21) If a different system is used they shall also be expressed in terms of the metric system.

(22) Temperatures shall be expressed in degrees Celsius.

(23) For the other physical values, the units recognised in international practice shall be used, for mathematical formulae the symbols in general use, and for chemical formulae the symbols, atomic weights and molecular formulae in general use shall be employed.

(24) In general, use should be made of technical terms, signs and symbols generally accepted in the field in question.

(25) If a formula or symbol is used in the specification a copy thereof prepared in the same manner as drawings, shall be furnished if the Registrar so directs.

(26) The terminology and the signs shall be consistent throughout the application.

(27) All documents referred to in paragraph (1) shall be reasonably free from deletions and other alterations, over-writings and interlineations and shall, in any event, be legible.

(28) Non-compliance with this rule may be authorised by the Registrar if the authenticity of the content is not in question and the requirements for good reproduction are not in jeopardy.

PATENT CLAIMS

1. Device for the production of microwave plasmas with a plasma chamber and a resonator, characterized in that the short cross-sectional side of the resonator 5 lies facing the common axis z in the wall between the resonator 5 and the plasma chamber 7, and the microwave power is coupled from the resonator 5 into the chamber 7 via coupling points 6 in the short side of the cross-section of the resonator 5.

2. Device according to Claim 1, characterized in that the coupling points 6 are formed as azimuthally oriented slot couplers in the common wall of 5 and 7.

3. Device according to Claim 1, characterized in that the coupling points 6 are formed as antennas or loops in the common wall of 5 and 7.

4. Device according to one of Claims 1 to 3, characterized in that the plasma chamber 7 is designed as a microwave resonator in the form of a cube, cuboid, a square or rectangular column, a cylinder or the like.

5. Device according to one of Claims 1 to 4, characterized in that a magnetic field is produced in the chamber 7 by additional electrical coils or permanent magnets (10).

6. Device according to one of Claims 1 or 3, characterized in that the resonator 5 encloses the chamber 7.

980358-7

REPLACEMENT SHEETS
☑ Description : paged 5/5A to paged .....
☐ Claim(s) : paged ..... to paged .....
☐ Drawing(s) : paged ..... to paged .....
☐ Abstract : paged ..... to paged .....

DATE OF RECEIPT 23/11/98

by three-pin tuners, a magic T piece, termination discs or other tuning elements, even on the opposite side of the input microwave coupling from 5.

The plasma chamber 7, and accordingly the waveguide resonator 5 around it, is designed for example as a ring resonator for the excitation of particular modes, and may accordingly be designed in the form of a cylinder, in particular with circular cross-section, or alternatively in the form of a cube, a square or rectangular column or the like, even with an irregular shape. The toroidal rectangular waveguide resonators 5 may also be fed by a plurality of microwave generators.

The chamber 7 may be designed with the diameter and height needed for the excitation of a TM010 mode, or with dimensions for the excitation of TM01n, (n = 1,2,3,...) modes. On account, for example, of the dielectric properties of the container 8, the field distribution may differ from the ideal TM01n (n = 0,1,2,...) field distribution of the unperturbed resonator 5.

Through additional electric coils or permanent magnets 10, it is possible to produce a magnetic field in the chamber 7, by means of which it is possible to achieve electron cyclotron resonance for the generation of high ion densities at low container pressures, of about $< 10^{-2}$ hPa.

Depending on the design of the container 8, for example made of quartz glass, which is used in the plasma chamber,

This is the replacement s:

Date: 23 NOV 1998

it is possible, on the one hand, for the near field of the input coupling pints, for example in the form of slot antennas or rod antennas, or when the plasma chamber is correspondingly dimensioned, a resonator mode desired for the application case, for example TM01n with n = 0,1,2... in the case of cylinder resonators, to be

This is the replacement s
Date: 23 NOV 1998

980 3558-7

PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : H05H 1/46, H01J 37/32 — A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: **WO 97/25837**

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 17. Juli 1997 (17.07.97)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/05821

(22) Internationales Anmeldedatum: 23. December 1996 (23.12.96)

(30) Prioritätsdaten:
196 00 223.0 5. Januar 1996 (05.01.96) DE

(71)(72) Anmelder und Erfinder: SPITZL, Ralf [DE/DE]; Niederscheuren 27a, D-53639 Königswinter (DE). ASCHERMANN, Benedikt [DE/DE]; Ilexweg 1a, D-42111 Wuppertal (DE).

(74) Anwalt: FLACCUS, Rolf-Dieter; Sperlingsweg 32, D-50389 Wesseling (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: AU, BR, CA, CN, JP, KR, RU, SG, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: DEVICE FOR THE PRODUCTION OF PLASMAS BY MICROWAVES

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON PLASMEN MITTELS MIKROWELLEN

(57) Abstract

The invention relates to a device for the production of microwave plasmas with a microwave generator (1) and a wave guide resonator (5) which comprises a plasma chamber (7). The short side of the cross-section of the resonator (5) is turned to be parallel to the axis y and is in a common wall with the chamber (7). The microwave power from the resonator (5) is coupled into the chamber (7) at coupling points (6) in said short cross section side. The coupling points are preferably in the form of azimuthal slot couplers in the common wall of (5) and (7).

(57) Zusammenfassung

Eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen mit einem Mikrowellenerzeuger (1) und dessen Ankopplung an einen Hohlleiterresonator (5), der eine Plasmakammer (7) umfaßt, wird vorgeschlagen, worin die kurze Seite des Querschnitts des Resonators (5) parallel der Achsez zugewandt in der gemeinsamen Wand mit der Kammer (7) liegt und die Mikrowellenleistung aus dem Resonator (5) über Koppelstellen (6) in dieser kurzen Querschnittsseite in die Kammer (7) eingekoppelt wird. Die Koppelstellen sind bevorzugt als azimutale Schlitzkoppler in der gemeinsamen Wand von 5 und 7 ausgeführt.

