(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 011 807 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
15.11.2017 Patentblatt 2017/46

(21) Anmeldenummer: **14744363.4**

(22) Anmeldetag: **29.07.2014**

(51) Int Cl.:
H05H 1/46 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2014/066277

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/014839 (05.02.2015 Gazette 2015/05)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG VON PROZESSGASEN IN EINEM PLASMA ANGEREGT DURCH ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN HOHER FREQUENZ**

DEVICE AND METHOD FOR HANDLING PROCESS GASES IN A PLASMA STIMULATED BY HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVES

DISPOSITIF ET PROCÉDÉ POUR TRAITER DES GAZ DE TRAITEMENT DANS UN PLASMA EXCITÉ PAR DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES À HAUTE FRÉQUENCE

(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

(30) Priorität: **02.08.2013 DE 102013215252**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.04.2016 Patentblatt 2016/17

(73) Patentinhaber: **Eeplasma GmbH**
82024 Taufkirchen (DE)

(72) Erfinder: **SCHNEIDER, Stephan**
83104 Tuntenhausen (DE)

(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald Patentanwälte PartmbB**
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 874 537
WO-A2-2013/029593
SU-A1- 397 139
US-A1- 2013 002 137
US-B1- 6 198 224

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).

EP 3 011 807 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Behandlung von Prozessgasen in einem Plasma angeregt durch insbesondere hochfrequente elektromagnetische Wellen umfassend eine Plasmakammer, einen Generator zur Erzeugung der elektromagnetischen Wellen und eine Hohlleiteranordnung zur Zuführung der elektromagnetischen Wellen in die Plasmakammer. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Behandlung von Prozessgasen in einem Plasma, bei dem elektromagnetische Wellen erzeugt und einer Plasmakammer zugeführt werden.

[0002] Plasmavorrichtungen sind seit Jahrzehnten als Stand der Technik bekannt und werden als externe Plasmaquellen zum isotropen Ätzen von unterschiedlichen Schichten auf Halbleitersubstraten sowie zum Entfernen geschädigter Siliziumschichten auf der Rückseite des Halbleitersubstrats nach einem mechanischen Dünnschleifen der Siliziumsubstrate verwendet. Ferner werden externe Plasmaquellen zum Reinigen von Prozesskammern für Beschichtungsprozesse von so genannten chemischen Gasphasenabscheideprozessen mit und ohne Plasmaunterstützung verwendet. Weiter werden sie zur Konditionierung von Oberflächen von Kunststoffen und anderen Materialien durch angeregten Sauerstoff, Stickstoff oder Wasserstoff verwendet. Ein weiteres Anwendungsfeld ist das Zerlegen von grob umweltschädlichen Treibhausgasen wie Kohlenstofftetrafluorid, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid etc., die im Zuge der Herstellung von integrierten Schaltkreisen als Prozessgase verwendet werden und bei den einzelnen Prozessschritten nur teilweise verbraucht werden. Diese unverbrauchten Prozessgase werden entweder in Niederdruckplasmavorrichtungen zerlegt, welche in die Vakuumpumpleitungen der Ätzanlagen integriert sind, oder in Atmosphärendruckplasmavorrichtungen aufgespalten, die der Vakuumpumpe nachgeschaltet sind. Die aufgespalteten Prozessgase werden anschließend standardgemäß in Gaswäschern beziehungsweise Gasabsorbern entsorgt. Das Dokument WO 2013/029593 A2 offenbart eine Vorrichtung zur Erzeugung eines kalten Plasmas unter Standard Atmosphärischen Bedingungen durch Einbringung von Mikrowellenstrahlung in eine Plasmakammer und anschließender Überlagerung mehrerer Wellen in konstruktiver Interferenz.

[0003] Das Dokument SU 397139 offenbart eine Vorrichtung mit einer Vakuumkammer, in der ein durch elektromagnetische Wellen angeregtes Plasma entstehen kann, und mit einem Generator zur Erzeugung der elektromagnetischen Wellen. An der Innenwand der Vakuumkammer ist ein dielektrischer Resonator vorgesehen. Das Dokument US 6,198,224 B1 offenbart eine Vorrichtung mit einer Plasmakammer, in der sich ein dielektrischer Behälter befindet. Die Plasmakammer ist von wenigstens einem Hohlleiterresonator umgeben. In der zwischen dem jeweiligen Hohlleiterresonator und der Plasmakammer angeordneten Wand sind Schlitze vorgesehen, durch die elektromagnetische Wellen aus dem Hohlleiterresonator in die Plasmakammer eingekoppelt werden können.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Behandlung von Prozessgasen in einem Plasma bereitzustellen, das durch seine Konstruktionsmerkmale und Verfahrensschritte geeignet ist, auch bei höheren Leistungen der elektromagnetischen Wellen die zugeführte Energie möglichst gleichmäßig über die Gasentladungskammer zu verteilen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung zur Behandlung von Prozessgasen in einem durch elektromagnetische Wellen angeregten Plasma mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Vorrichtung umfasst eine Plasmakammer, die mit einem Dielektrikum ausgekleidet ist, einen Generator zur Erzeugung der elektromagnetischen Wellen und eine Hohlleiteranordnung zur Zuführung der elektromagnetischen Wellen in die Plasmakammer, wobei die Hohlleiteranordnung wenigstens zwei Einspeisungsstellen aufweist, die jeweils eine E-Feld-Hohlleiterverzweigung aufweisen, um die elektromagnetischen Wellen als fortlaufende Wellen in das Dielektrikum einzuspeisen.

[0004] Eine mehrseitige Einspeisung der elektromagnetischen Wellen ist gegenüber einer einseitigen Einspeisung vorteilhaft, da sich dadurch über den gesamten Umfang der Plasmakammer eine vergleichsweise gleichmäßige Plasmadichte ausbilden kann. Das Dielektrikum, insbesondere ein Hohlzylinder, insbesondere ein Keramikhohlzylinder, das bzw. der die Innenflächen eines Plasmakammergehäuses bedeckt, wird daher gleichmäßig thermisch belastet. Hierdurch kann ein großes Prozessfenster hinsichtlich der Parameter Gasdurchfluss, Prozessdruck und eingespeiste Mikrowellenleistung gewährleistet werden.

[0005] Der vorgenannten Vorteil wird in besonderem Maße erreicht, wenn die Einspeisungsstellen gleichverteilt um die Plasmakammer bzw. das Dielektrikum herum angeordnet sind. Bei zwei Einspeisungsquellen sind diese dann bevorzugt auf einander gegenüberliegenden Seiten der Plasmakammer angeordnet. Bei einer geradzahligen Anzahl an Einspeisungsquellen sind bevorzugt jeweils zwei Einspeisungsquellen auf einander gegenüberliegenden Seiten der Plasmakammer angeordnet. Grundsätzlich ist aber auch eine ungeradzahlige Anzahl an Einspeisungsquellen möglich. Eine Gleichverteilung liegt auch dann vor, wenn die Einspeisungsquellen im Wesentlichen gleichverteilt um die Plasmakammer herum angeordnet sind.

[0006] Vorzugsweise ist die Hohlleiteranordnung derart ausgebildet ist, dass sich von verschiedenen, insbesondere allen Einspeisungsstellen eingespeiste elektromagnetische Wellen insbesondere im Zentrum der Plasmakammer konstruktiv kohärent überlagern. Alternativ und/oder zusätzlich kann die Vorrichtung derart ausgebildet sein, dass die von den Einspeisungsstellen eingespeisten elektromagnetische Wellen von einem einzigen bzw. gemeinsamen Generator erzeugt werden.

[0007] Insbesondere hierfür kann die Hohlleiteranordnung wenigstens eine Hohlleiterverzweigung aufweisen, um die elektromagnetischen Wellen mehreren Einspeisungsstellen zuzuführen, wobei die Längen der jeweiligen Abschnitte der Hohlleiteranordnung von der jeweiligen Hohlleiterverzweigung zu den jeweiligen Einspeisungsstellen gleich oder um ein Vielfaches der halben Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen voneinander verschieden sind.

[0008] Um dem Dielektrikum die Energie der elektromagnetischen Wellen möglichst vollständig zuzuführen, ist es bevorzugt, wenn die jeweilige Einspeisungsstelle ein Oszillatorelement aufweist, das zusammen mit der jeweiligen E-Feld-Hohlleiterverzweigung einen Oszillator bildet.

[0009] Gemäß einer Ausbildung der Erfindung ist der Innenquerschnitt des jeweiligen Abschnitts der Hohlleiteranordnung, mit dem die Hohlleiteranordnung an dem Dielektrikum anliegt, von dem Dielektrikum vollständig abgedeckt. Hierdurch kann ebenfalls eine vollständige Zuführung der Energie der elektromagnetischen Wellen an das Dielektrikum gewährleistet werden. Dieser Aspekt wird auch unabhängig von den wenigstens zwei Einspeisungsstellen beansprucht. Die Erfindung betrifft daher auch eine Vorrichtung zur Behandlung von Prozessgasen in einem durch elektromagnetische Wellen angeregten Plasma, umfassend eine Plasmakammer, die mit einem Dielektrikum ausgekleidet ist, einen Generator zur Erzeugung der elektromagnetischen Wellen und eine Hohlleiteranordnung zur Zuführung der elektromagnetischen Wellen in die Plasmakammer, wobei der Innenquerschnitt des jeweiligen Abschnitts der Hohlleiteranordnung, mit dem die Hohlleiteranordnung an dem Dielektrikum anliegt, von dem Dielektrikum vollständig abgedeckt wird.

[0010] Nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung ist eine Zündeinrichtung zur Zündung eines Plasmas in der Plasmakammer vorgesehen, wobei die Zündeinrichtung ein Zündelement mit wenigstens einem länglichen Zündabschnitt umfasst. Mit einer derartigen Zündeinrichtung kann eine Zündung des Plasmas auch bei geringen Leistungen der eingespeisten elektromagnetischen Welle erreicht werden.

[0011] Dabei kann die Zündeinrichtung, insbesondere das Zündelement, derart ausgebildet sein, dass die Längsachse des oder wenigstens eines Zündabschnitts unter einem Winkel von höchstens 45°, insbesondere zumindest im Wesentlichen parallel, zu der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Wellen an zumindest einer Einspeisungsstelle orientiert ist.

[0012] Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Behandlung von Prozessgasen in einem durch elektromagnetische Wellen angeregten Plasma, bei dem die elektromagnetische Wellen erzeugt und einer mit einem Dielektrikum ausgekleideten Plasmakammer derart zugeführt werden, dass die elektromagnetischen Wellen an wenigstens zwei, jeweils eine E-Feld-Hohlleiterverzweigung aufweisende Einspeisungsstellen als fortlaufende Wellen in das Dielektrikum eingespeist werden.

[0013] Fortbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich in analoger Weise aus den Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0014] Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren kommen elektromagnetische Wellen, insbesondere Mikrowellen, insbesondere mit den gebräuchlichen und von Amts wegen zugelassenen Frequenzen von 2,45 GHz, 5,8 GHz und 915MHz, zum Einsatz.

[0015] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind auch in den Unteransprüchen, der Figurenbeschreibung und der Zeichnung beschrieben.

[0016] Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. Es zeigen,

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Plasmavorrichtung,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Plasmavorrichtung,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer weiteren erfindungsgemäßen Plasmavorrichtung,
- Fig. 4 eine erfindungsgemäße Atmosphärendruckplasmavorrichtung im Querschnitt,
- Fig. 5 die Atmosphärendruckplasmavorrichtung aus Fig. 4 im Längsschnitt,
- Fig. 6 eine erfindungsgemäße Niederdruckplasmavorrichtung im Querschnitt,
- Fig. 7 die Niederdruckplasmavorrichtung aus Fig. 6 im Längsschnitt,
- Fig. 8 eine Zündvorrichtung für die Atmosphärendruckplasmavorrichtung aus Fig. 4, und
- Fig. 9 eine weitere Zündvorrichtung für die Atmosphärendruckplasmavorrichtung aus Fig. 4.

[0017] Die elektromagnetischen Wellen werden entsprechend Fig. 1 bis 3 in einem Mikrowellengenerator 11 erzeugt und mittels eines Hohlleiters 12 über eine Abstimmvorrichtung 13 zu einem Plasmakammergehäuse 14 geleitet, in das ein Keramikzylinder 16 oder ein Rohr bzw. ein Röhrchen eingesetzt ist. Im Einzelnen werden dabei die elektromagnetischen Wellen direkt zum Plasmakammergehäuse 14 geleitet (Fig.1) oder an einer insbesondere ersten Hohlleiterverzweigung 15a paarweise aufgeteilt und - falls gewünscht - an zwei weiteren Hohlleiterverzweigungen 15b nochmals verzweigt und zum Plasmakammergehäuse 14 geführt und dort dann zum Keramikzylinder 16 geleitet, wo sie sich durch E-Feld-Hohlleiterverzweigungen 18 als laufende Wellen in der

Keramik ausbreiten können (Fig. 2 und Fig. 3). Die Begrenzungen der elektromagnetischen Wellen in der Keramik bilden dabei einerseits die inneren Oberflächen des Plasmakammergehäuses 14 aus Metall und andererseits eine Schicht aus hoher Elektronenkonzentration im Plasma, die sich nahe der inneren Oberfläche des Keramikzylinders 16 ausbildet.

[0018] In Fig. 4 und 5 ist eine erste erfindungsgemäße Vorrichtung und ein Verfahren beschrieben, das vorwiegend unter Atmosphärendruck angewendet wird, bevorzugt bei einem Druck im Bereich zwischen 10 kPa und 1 MPa, wobei die elektromagnetische Welle in der vorliegenden Vorrichtung von beiden Seiten der Plasmakammer 25 zugeführt wird. Die elektromagnetische Welle kann grundsätzlich aber auch nur von einer Seite der Plasmakammer 25 zugeführt werden und die gegenüberliegende Öffnung zur Zuführung der Mikrowelle ist in diesem Fall geschlossen oder bereits überhaupt nicht vorhanden. Die elektromagnetischen Wellen in Fig. 4 und 5 werden mittels Rechteckhohlleiter 12 im H_{10} Mode der Plasmakammer 25 zugeführt und im Keramikzylinder 16 durch Einspeisungsstellen in Form von E-Feld-Hohlleiterverzweigungen 18 an beiden Seiten des Keramikzylinders 16 jeweils in zwei gleiche Komponenten aufgespalten, die sich dort in einander entgegengesetzter und jeweils axialer Richtung, d.h. entlang der Längsachse des Keramikzylinders 16, als fortlaufende Wellen auszubreiten. Wird in der Plasmakammer 25 das Plasma durch eine Vorrichtung 37 wie in Fig. 8 bzw. Fig. 9 dargestellt gezündet, dann kann sich ein koaxialer TM Mode 19 der elektromagnetischen Welle ausbilden, wobei der koaxiale Außenleiter durch die innere Oberfläche 29 des Plasmakammergehäuses 14 gebildet wird, und der koaxiale Innenleiter durch die kegelstumpfförmige Plasmawolke 25. Eine doppelseitige Einspeisung mittels konstruktiver kohärenter Wellen 17 ist gegenüber einer einseitigen Einspeisung der Mikrowelle vorteilhaft, da dadurch sich bereits an der Einspeisungsebene ein perfekter koaxialer TM Mode 19 ausbildet, der das Plasma über ein sehr großes Prozessfenster hinsichtlich Gasdurchfluss und eingespeister Mikrowellenleistung gut stabilisiert. Zur Illustration der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen im Hohlleiter 12, in der E-Feld-Hohlleiterverzweigung 18 und im Keramikzylinder 16 ist das elektrische Feld der elektromagnetischen Welle schematisch durch die Vektoren 27 dargestellt. Wie sich aus den Fig. 4 und 5 ergibt, wird der Innenquerschnitt der Rechteckhohlleiter 12 an den Einspeisungsstellen von dem Keramikzylinder 16 vollständig abgedeckt.

[0019] Zum Betrieb der Vorrichtung ist auch die Verwendung eines Oszillatorstiftes 28 vorteilhaft, wobei jeweils ein Oszillator gebildet wird, der aus einer E-Feld-Hohlleiterverzweigung 18 im Keramikzylinder 16 und dem benachbarten Oszillatorstift 28 besteht. Die Position, die Höhe und der Querschnitt des Oszillatorstiftes 28 sind so gewählt, dass die eintretende Welle nahezu vollständig über die E-Feld-Hohlleiterverzweigung 18 in den Keramikzylinder 16 eingespeist wird. Der Querschnitt des Oszillatorstiftes 28 kann rund, elliptisch oder rechteckig sein, aber auch eine andere Form aufweisen. Eine restliche Abstimmung der Plasmavorrichtungen in Fig.1 bis Fig. 3 erfolgt über die Abstimmvorrichtungen 13.

[0020] Das Prozessgas wird durch insbesondere zwei Gaseinlässe 21 tangential zum Keramikzylinder 16 in die Plasmakammer 25 eingelassen, um dort eine rotierende Strömung in Richtung Gasauslass 24 zu erzeugen. Das Plasma wird durch eine Zündeinrichtung 37, im Detail 37a, bzw. 37b (Fig. 8 und Fig. 9) gezündet und breitet sich kegelstumpfförmig über die gesamte Länge des Keramikzylinders 16 bis zu einem Reaktorzylinder 34 aus, der aus einer hitzebeständigen Metalllegierung besteht.

[0021] In Fig. 6 und 7 ist eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung und ein Verfahren beschrieben, das vorwiegend im Niederdruckbereich angewendet wird, bevorzugt bei einem Druck im Bereich zwischen 10 Pa und 1500 Pa, besonders bevorzugt bei einem Druck im Bereich zwischen 30 Pa und 300 Pa, wobei die elektromagnetische Welle in der vorliegenden Vorrichtung von beiden Seiten der Plasmakammer 25 zugeführt wird, wobei in diesem Fall das elektrische Feld der Welle senkrecht zur Achse des Keramikzylinders 16 steht. Die elektromagnetische Welle kann grundsätzlich aber auch nur von einer Seite der Plasmakammer 25 zugeführt werden und die gegenüberliegende Öffnung zur Zuführung der Mikrowelle ist in diesem Fall geschlossen oder bereits überhaupt nicht vorhanden. Die elektromagnetischen Wellen in Fig. 6 und 7 werden mittels Rechteckhohlleiter 12 im H_{10} Mode der Plasmakammer 25 zugeführt und im Keramikzylinder 16 durch Einspeisungsstellen in Form von E-Feld-Hohlleiterverzweigungen 18 an beiden Seiten des Keramikzylinders 16 jeweils in zwei gleiche Komponenten aufgespalten, die sich dort in einander entgegengesetzter und jeweils tangentialer Richtung, .d.h. in Umfangsrichtung des Keramikzylinders 16, als fortlaufende Wellen auszubreiten. Wird in der Plasmakammer 25 das Plasma gezündet, dann kann sich ein H-Mode der elektromagnetischen Welle ausbilden, wobei eine Hohleiteroberfläche durch die innere Oberfläche 29 des Plasmakammergehäuses 14 gebildet wird, und die gegenüberliegende Oberfläche durch die hohe Plasmadichte 35 nahe der Keramikoberfläche in der Plasmakammer 25. Eine doppelseitige Einspeisung mittels konstruktiver kohärenter Wellen 17 ist gegenüber einer einseitigen Einspeisung der Mikrowelle vorteilhaft, da dadurch über den gesamten Umfang des Keramikzylinders 16 eine gleichmäßige Plasmadichte sich ausbildet, die eine gleichmäßige thermische Belastung des Keramikzylinders 16 zur Folge hat und dadurch ein sehr großes Prozessfenster hinsichtlich Gasdurchfluss, Prozessdruck und eingespeister Mikrowellenleistung erlaubt. Zur Illustration der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen im Hohlleiter 12, in der E-Feld-Hohlleiterverzweigung 18 und im Keramikzylinder 16 ist das elektrische Feld der elektromagnetischen Welle schematisch durch die Vektoren 27 dargestellt. Wie sich aus den Fig. 6 und 7 ergibt, wird der Innenquerschnitt der Rechteckhohlleiter 12 an den Ein-

speisungsstellen von dem Keramikzylinder 16 vollständig abgedeckt.

[0022] Zum Betrieb der Vorrichtung ist auch die Verwendung eines Oszillatorstiftes 28 vorteilhaft, wobei jeweils ein Oszillator gebildet wird, der aus einer E-Feld-Hohlleiterverzweigung 18 im Keramikzylinder 16 und dem benachbarten Oszillatorstift 28 besteht. Die Position, die Höhe und der Querschnitt des Oszillatorstiftes 28 sind so gewählt, dass die eintretende Welle nahezu vollständig über die E-Feld-Hohlleiterverzweigung 18 in den Keramikzylinder 16 eingespeist wird. Der Querschnitt des Oszillatorstiftes 28 kann rund, elliptisch oder rechteckig sein, aber auch eine andere Form aufweisen. Eine restliche Abstimmung der Plasmavorrichtungen in Fig.1 bis Fig. 3 erfolgt über die Abstimmvorrichtungen 13.

[0023] Das Prozessgas wird durch zwei Gaseinlässe 22 und 23 eingelassen, wobei der Gaseinlass 22 auf der Rückseite des Keramikzylinders 16 einmündet, und der Gaseinlass 23 gegenüber dem Gasauslass 24. Der Gaseinlass 22 an der Rückseite des Keramikzylinders 16 dient zur besseren Kühlung des Keramikzylinders 16 im Falle des Betriebs der Plasmavorrichtung bei sehr geringem Druck. In Fig. 6 und 7 sind zur Abdichtung des Gaseinlasses 22 zusätzlich Keramikbauteile 26 eingefügt, die durch Vakuumdichtungen 36 das Prozessgas gegenüber der Umgebung abdichten. Grundsätzlich und unabhängig von beschriebenen Ausführungsform ist es bevorzugt, wenn ein Gaseinlass vorgesehen ist, der im Bereich der Zylinderfläche des Keramikzylinders in die Plasmakammer eintritt.

[0024] In Fig. 8 und Fig. 9 sind Zündeinrichtungen 37 dargestellt, insbesondere für die Vorrichtung in Fig. 4 und Fig. 5, die vorwiegend für Plasma unter Atmosphärendruck angewendet wird, wobei in Fig. 8 eine rechteckförmige Platte 37a mit abgerundeten Kanten in seiner Längsachse zu den Einfallsrichtungen der elektromagnetischen Welle ausgerichtet ist. Zum Zünden des Plasmas wird diese Platte 37a, beispielsweise mittels eines Stabs, in die Ebene des Rechteckhohleiters 14 hochgefahren, und es entsteht dabei eine entsprechende Feldstärke im Zentrum der Platte 37a, die zur Zündung des Plasmas selbst bei geringen Leistungen der eingespeisten elektromagnetischen Welle ausreichend ist. Die Platte 37a kann an seinen Enden auch pfeilförmig zugespitzt sein oder auch halbrund geformt sein.

[0025] In Fig. 9 ist eine sternförmige Platte 37b mit 6 Enden abgebildet, deren Enden ebenso ausgebildet sind wie die Enden der Platte 37a. Der Vorteil von Platte 37b gegenüber Platte 37a ist dadurch gegeben, dass in jeder Drehlage der Platte 37b eine sichere Zündung des Plasma erfolgt. Die Zündeinrichtung 37 kann aber auch 5, 7, 8 und noch weitere Enden aufweisen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Behandlung von Prozessgasen in einem durch elektromagnetische Wellen angeregten Plasma, umfassend eine Plasmakammer (25), einen Generator (11) zur Erzeugung der elektromagnetischen Wellen und eine Hohlleiteranordnung (12) zur Zuführung der elektromagnetischen Wellen in die Plasmakammer (25), **dadurch gekennzeichnet,**
dass die Plasmakammer (6) mit einem Dielektrikum (16) ausgekleidet ist, wobei die Hohlleiteranordnung (12) wenigstens zwei, jeweils eine E-Feld-Hohlleiterverzweigung (18) aufweisende Einspeisungsstellen zur Einspeisung der elektromagnetischen Wellen als fortlaufende Wellen in das Dielektrikum (16) aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einspeisungsstellen gleichverteilt um die Plasmakammer (25) herum, insbesondere jeweils zwei Einspeisungsquellen auf einander gegenüberliegenden Seiten der Plasmakammer (25), angeordnet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Hohlleiteranordnung (12) derart ausgebildet ist, dass sich von verschiedenen Einspeisungsstellen eingespeiste elektromagnetische Wellen in der Plasmakammer konstruktiv kohärent überlagern.

4. Vorrichtung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Hohlleiteranordnung (12) wenigstens eine Hohlleiterverzweigung (15a, 15b) aufweist, um die elektromagnetischen Wellen mehreren Einspeisungsstellen zuzuführen, wobei die Längen der jeweiligen Abschnitte der Hohlleiteranordnung (12) von der jeweiligen Hohlleiterverzweigung (15a, 15b) zu den jeweiligen Einspeisungsstellen gleich oder um ein Vielfaches der halben Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen voneinander verschieden sind.

5. Vorrichtung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die jeweilige Einspeisungsstelle ein Oszillatorelement (28) aufweist, das zusammen mit der jeweiligen E-Feld-Hohlleiterverzweigung (18) einen Oszillator bildet.

6. Vorrichtung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Dielektrikum (16) als Hohlzylinder ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Innenquerschnitt des jeweiligen Abschnitts der Hohlleiteranordnung (12), mit dem die Hohlleiteranordnung (12) an dem Dielektrikum (16) anliegt, von dem Dielektrikum (16) vollständig abgedeckt wird.

8. Vorrichtung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Zündeinrichtung (37) zur Zündung eines Plasmas in der Plasmakammer (25) vorgesehen ist, wobei die Zündeinrichtung (37) ein Zündelement (37a, 37b) mit wenigstens einem länglichen Zündabschnitt umfasst.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zündeinrichtung (37), insbesondere das Zündelement (37a, 37b), derart ausgebildet ist, dass die Längsachse des oder wenigstens eines Zündabschnitts unter einem Winkel von höchstens 45°, insbesondere zumindest im Wesentlichen parallel, zu der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Wellen an zumindest einer Einspeisungsstelle orientiert ist.

10. Verfahren zur Behandlung von Prozessgasen in einem durch elektromagnetische Wellen angeregten Plasma, bei dem die elektromagnetische Wellen erzeugt und einer mit einem Dielektrikum ausgekleideten Plasmakammer derart zugeführt werden, dass die elektromagnetischen Wellen an wenigstens zwei, jeweils eine E-Feld-Hohlleiterverzweigung aufweisende Einspeisungsstellen als fortlaufende Wellen in das Dielektrikum eingespeist werden.

Claims

1. An apparatus for treating process gases in a plasma excited by electromagnetic waves, said apparatus comprising a plasma chamber (25); a generator (11) for generating the electromagnetic waves; and a waveguide arrangement (12) for supplying the electromagnetic waves into the plasma chamber (25),
characterized in that
the plasma chamber (6) is lined with a dielectric (16), wherein the waveguide arrangement (12) has at least two feeding points, each having an E-field waveguide branch (18), for feeding the electromagnetic waves into the dielectric (16) as continuous waves.

2. An apparatus in accordance with claim 1,
characterized in that
the feeding points are arranged evenly distributed around the plasma chamber (25), with in particular a respective two feeding sources being arranged at mutually oppositely disposed sides of the plasma chamber (25).

3. An apparatus in accordance with claim 1 or claim 2,
characterized in that
the waveguide arrangement (12) is configured such that electromagnetic waves fed from different feeding points are superposed constructively and coherently in the plasma chamber.

4. An apparatus in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
the waveguide arrangement (12) has at least one waveguide branch (15a, 15b) to supply the electromagnetic waves to a plurality of feeding points, with the lengths of the respective sections of the waveguide arrangement (12) from the respective waveguide branch (15a, 15b) to the respective feeding points being the same or differing from one another by a multiple of half the wavelength of the electromagnetic waves.

5. An apparatus in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
the respective feeding point has an oscillator element (28) which forms an oscillator together with the respective E-field waveguide branch (18).

6. An apparatus in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
the dielectric (16) is configured as a hollow cylinder.

7. An apparatus in accordance with claim 6,
characterized in that
the inner cross-section of the respective section of the waveguide arrangement (12) by which the waveguide arrangement (12) contacts the dielectric (16) is completely covered by the dielectric (16).

8. An apparatus in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
an ignition device (37) is provided for igniting a plasma in the plasma chamber (25), with the ignition device (37) comprising an ignition element (37a, 37b) having at least one elongate ignition section.

9. An apparatus in accordance with claim 8,
characterized in that
the ignition device (37), in particular the ignition element (37a, 37b), is configured such that the longitudinal axis of the ignition section or of at least one ignition section is oriented at an angle of at most 45°,

in particular at least substantially in parallel, with respect to the direction of propagation of the electromagnetic waves at at least one feeding point.

10. A method of treating process gases in a plasma excited by electromagnetic waves, in which the electromagnetic waves are generated and are supplied to a plasma chamber lined with a dielectric such that the electromagnetic waves are fed into the dielectric as continuous waves at at least two feeding points which each have an E-field waveguide branch.

Revendications

1. Dispositif de traitement de gaz de processus dans un plasma excité par des ondes électromagnétiques, comportant une chambre à plasma (25), un générateur (11) pour générer les ondes électromagnétiques et un agencement de guide d'ondes (12) pour amener les ondes électromagnétiques dans la chambre à plasma (25),
caractérisé en ce que
la chambre à plasma (6) est revêtue d'un diélectrique (16), l'agencement de guide d'ondes (12) comprenant au moins deux emplacements d'alimentation présentant chacun une ramification de guide d'ondes (18) en champ électrique et destinés à alimenter les ondes électromagnétiques à titre d'ondes continues dans le diélectrique (16).

2. Dispositif selon la revendication 1,
caractérisé en ce que
les emplacements d'alimentation sont disposés en étant équi-répartis autour de la chambre à plasma (25), en particulier deux sources d'alimentation respectives sont disposées sur des côtés opposés de la chambre à plasma (25).

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2,
caractérisé en ce que
l'agencement de guide d'ondes (12) est réalisé de telle sorte que des ondes électromagnétiques alimentées par différents emplacements d'alimentation se superposent de façon constructive et cohérente dans la chambre à plasma.

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
l'agencement de guide d'ondes (12) comprend au moins une ramification de guide d'ondes (15a, 15b) pour amener les ondes électromagnétiques à plusieurs emplacements d'alimentation, et les longueurs des portions respectives de l'agencement de guide d'ondes (12) depuis la ramification de guide d'ondes (15a, 15b) respective jusqu'aux emplacements d'alimentation respectifs sont égales ou diffèrent l'une de l'autre d'un multiple de la demi-longueur des ondes électromagnétiques.

5. Dispositif selon l'une au moins des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
l'emplacement d'alimentation respectif comprend un élément oscillateur (28) qui, conjointement avec la ramification de guide d'ondes (18) en champ électrique, constitue un oscillateur.

6. Dispositif selon l'une au moins des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
le diélectrique (16) est réalisé sous forme de cylindre creux.

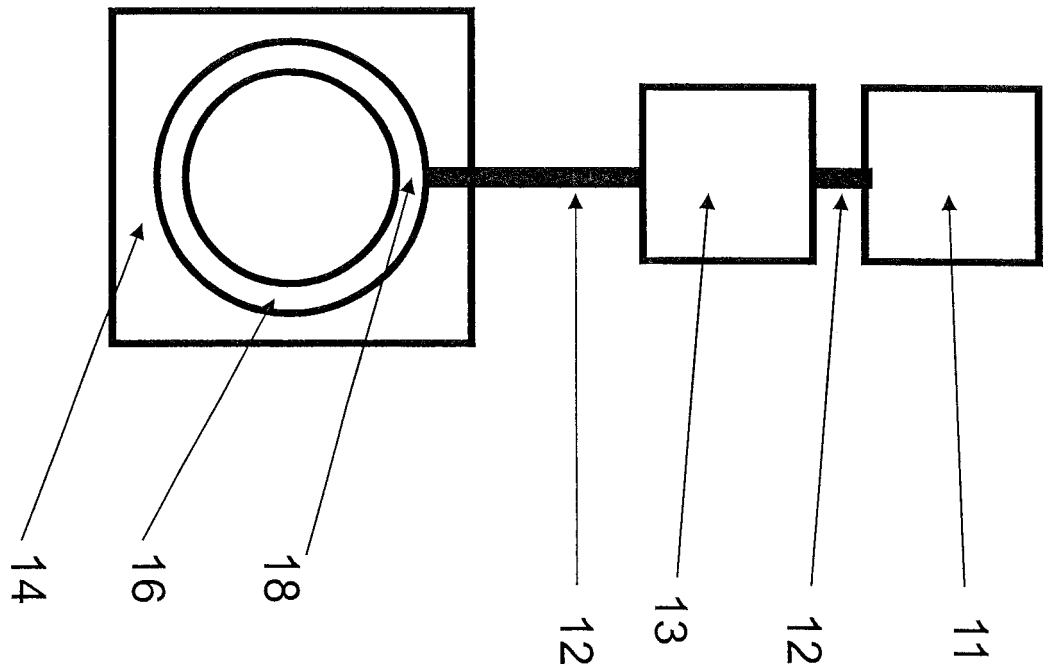
7. Dispositif selon la revendication 6,
caractérisé en ce que
la section transversale intérieure de la portion respective de l'agencement de guide d'ondes (12) par laquelle l'agencement de guide d'ondes (12) prend appui contre le diélectrique (16) est complètement recouverte par le diélectrique (16).

8. Dispositif selon l'une au moins des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
il est prévu un moyen d'allumage (37) pour allumer le plasma dans la chambre à plasma (25), et le moyen d'allumage (37) comprend un élément d'allumage (37a, 37b) ayant au moins une portion d'allumage allongée.

9. Dispositif selon la revendication 8,
caractérisé en ce que
le moyen d'allumage (37), en particulier l'élément d'allumage (37a, 37b), est réalisé de telle sorte que l'axe longitudinal de ladite portion ou d'au moins une portion d'allumage est orienté sous un angle de 45° au maximum, en particulier sensiblement parallèlement, par rapport à la direction de propagation des ondes électromagnétiques, à au moins un emplacement d'alimentation.

10. Procédé de traitement de gaz de processus dans un plasma excité par des ondes électromagnétiques, dans lequel les ondes électromagnétiques sont générées et alimentées à une chambre à plasma revêtue d'un diélectrique de telle sorte que les ondes électromagnétiques sont alimentées sous forme d'ondes continues dans le diélectrique à au moins deux emplacements d'alimentation présentant chacun une ramification de guide d'ondes en champ électrique.

Fig. 1



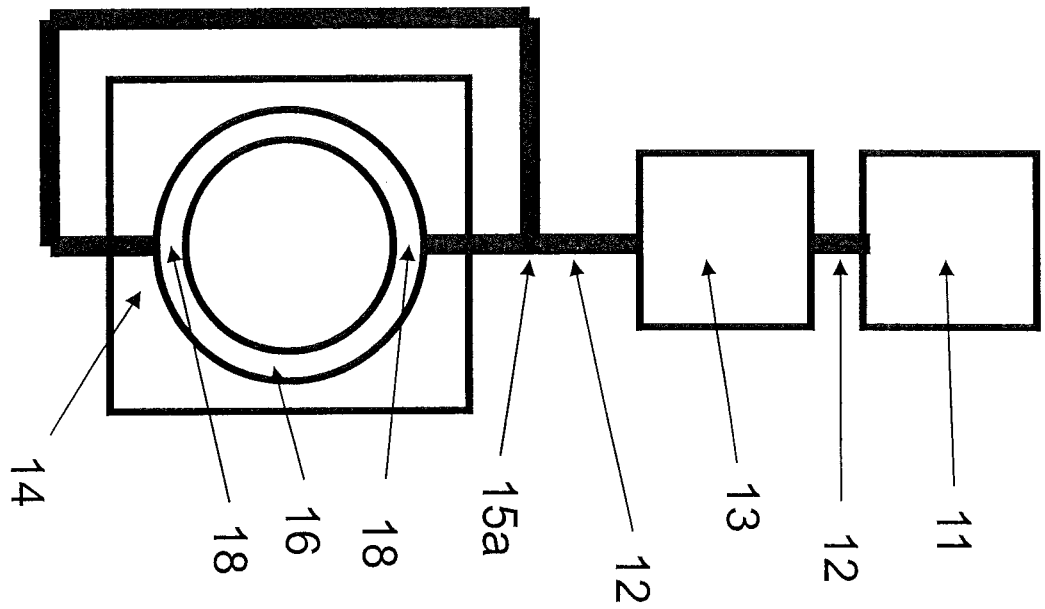


Fig. 2

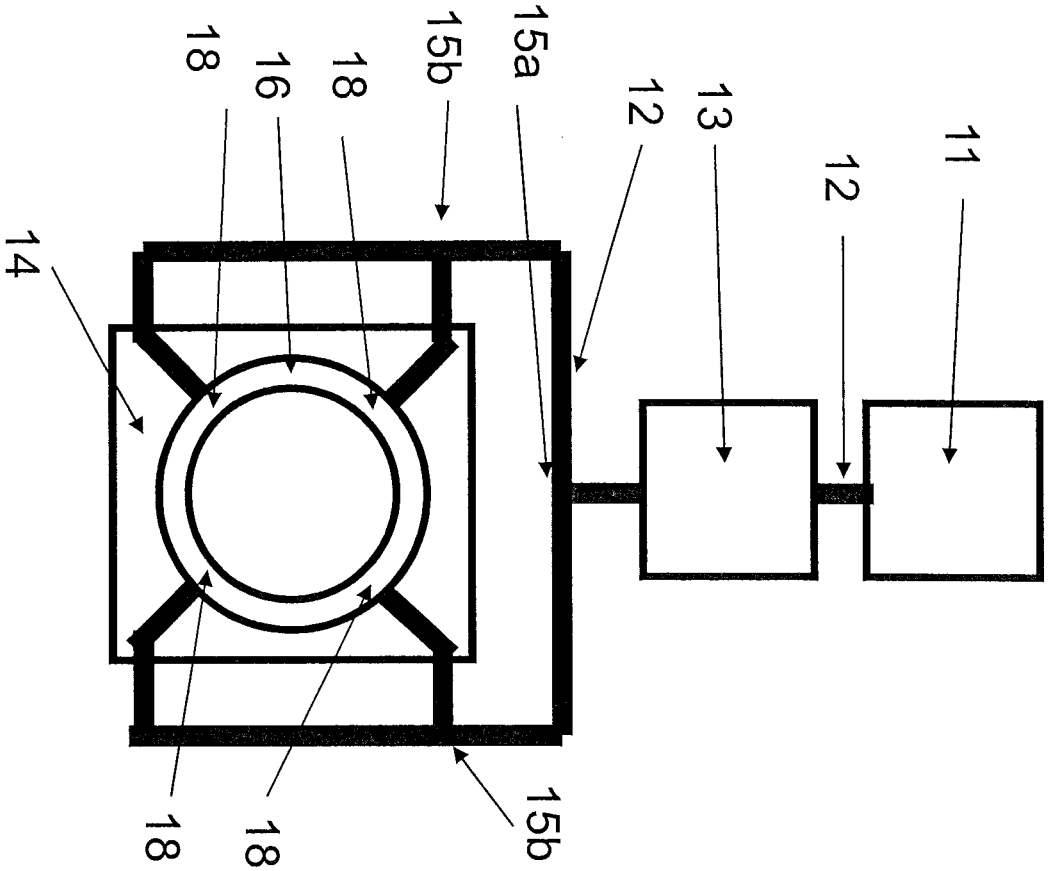


Fig. 3

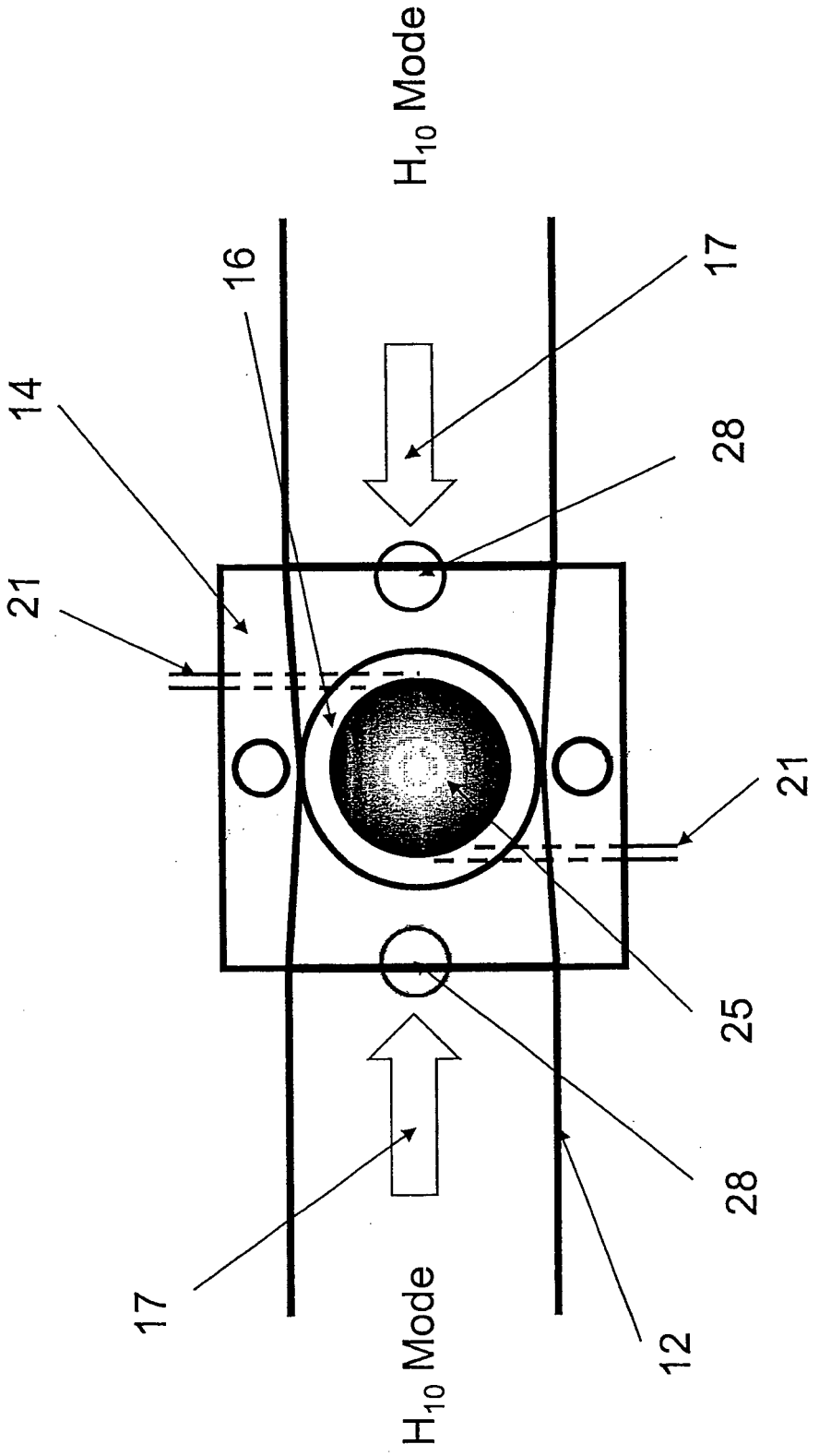
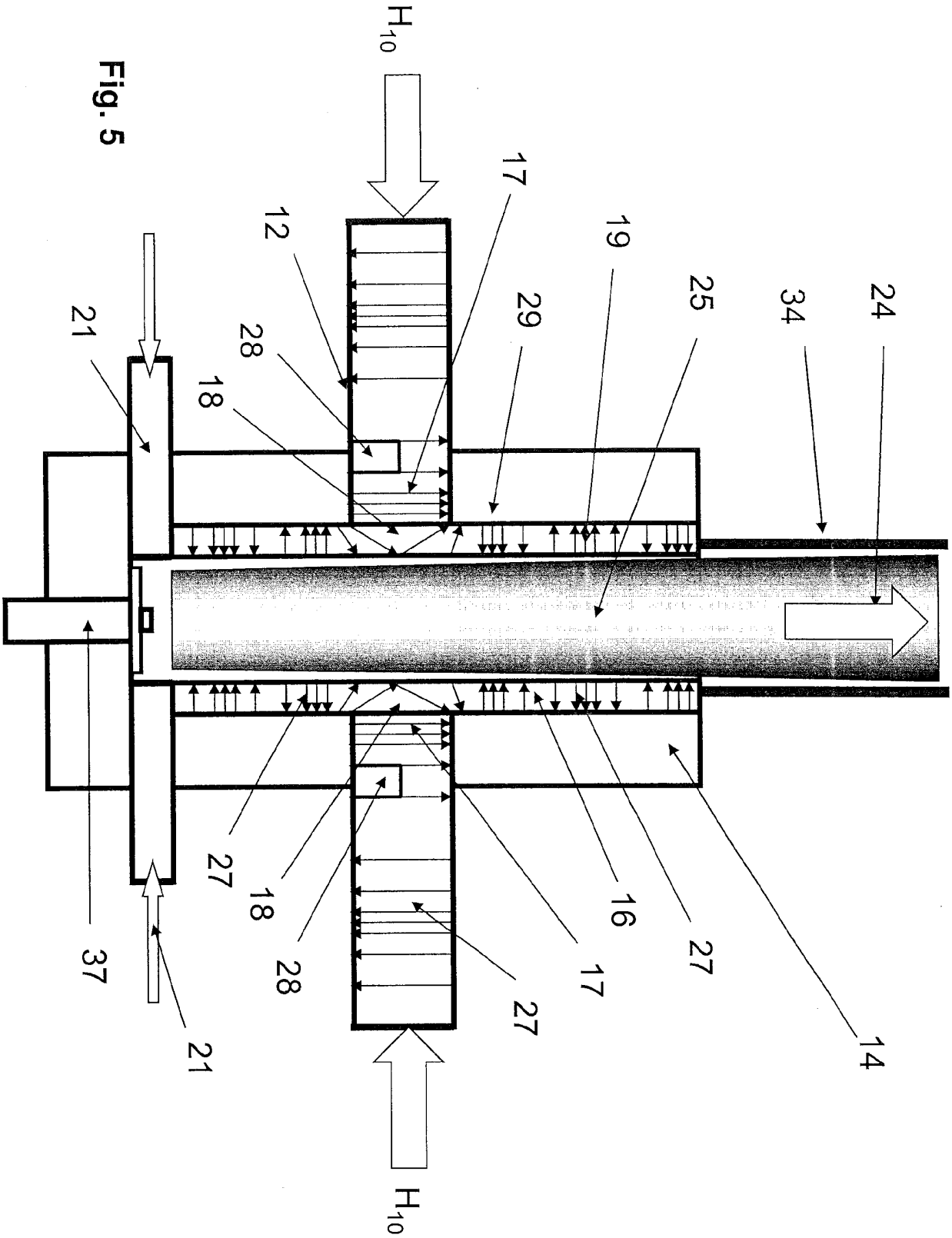


Fig. 4

Fig. 5



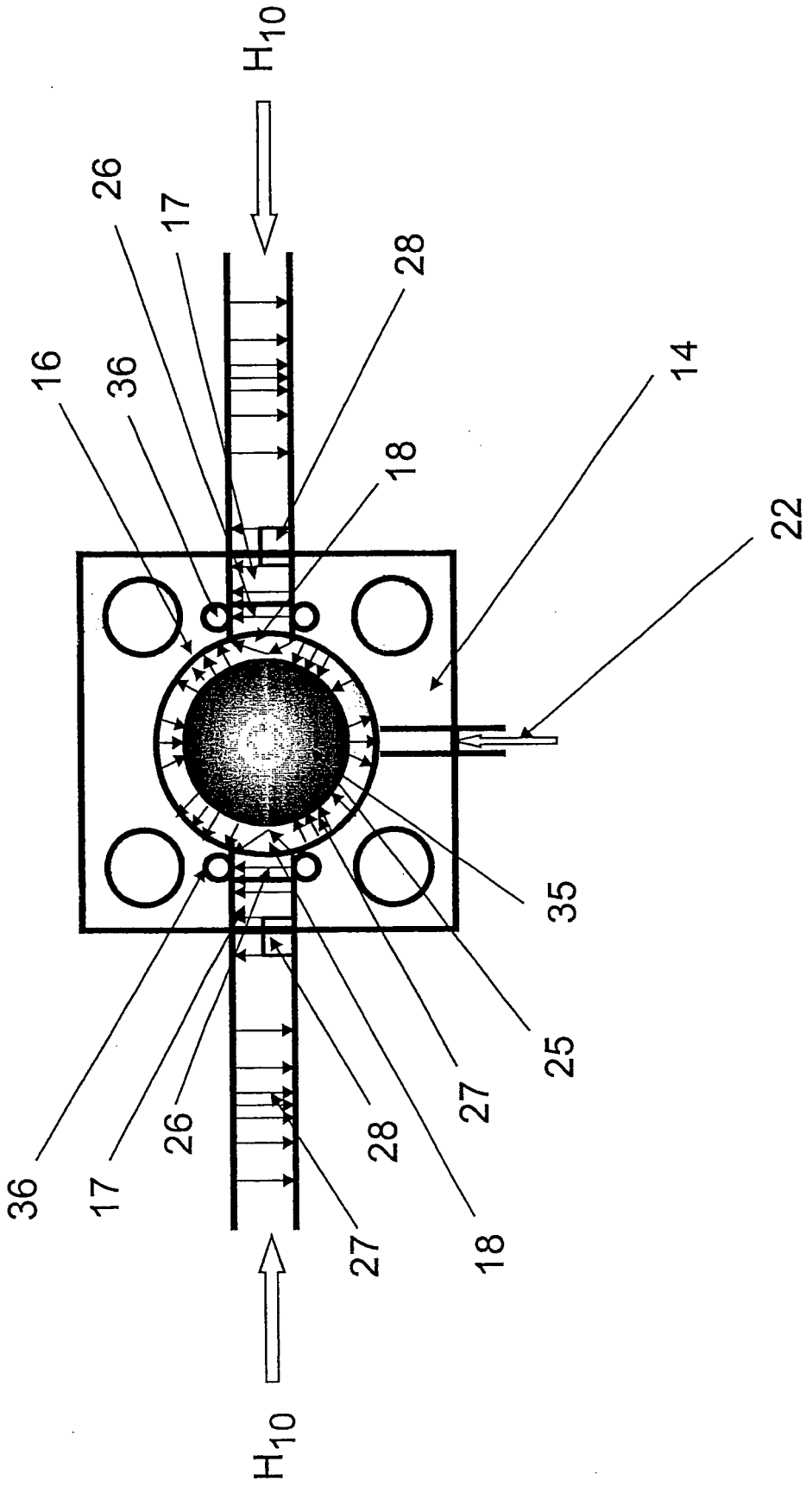
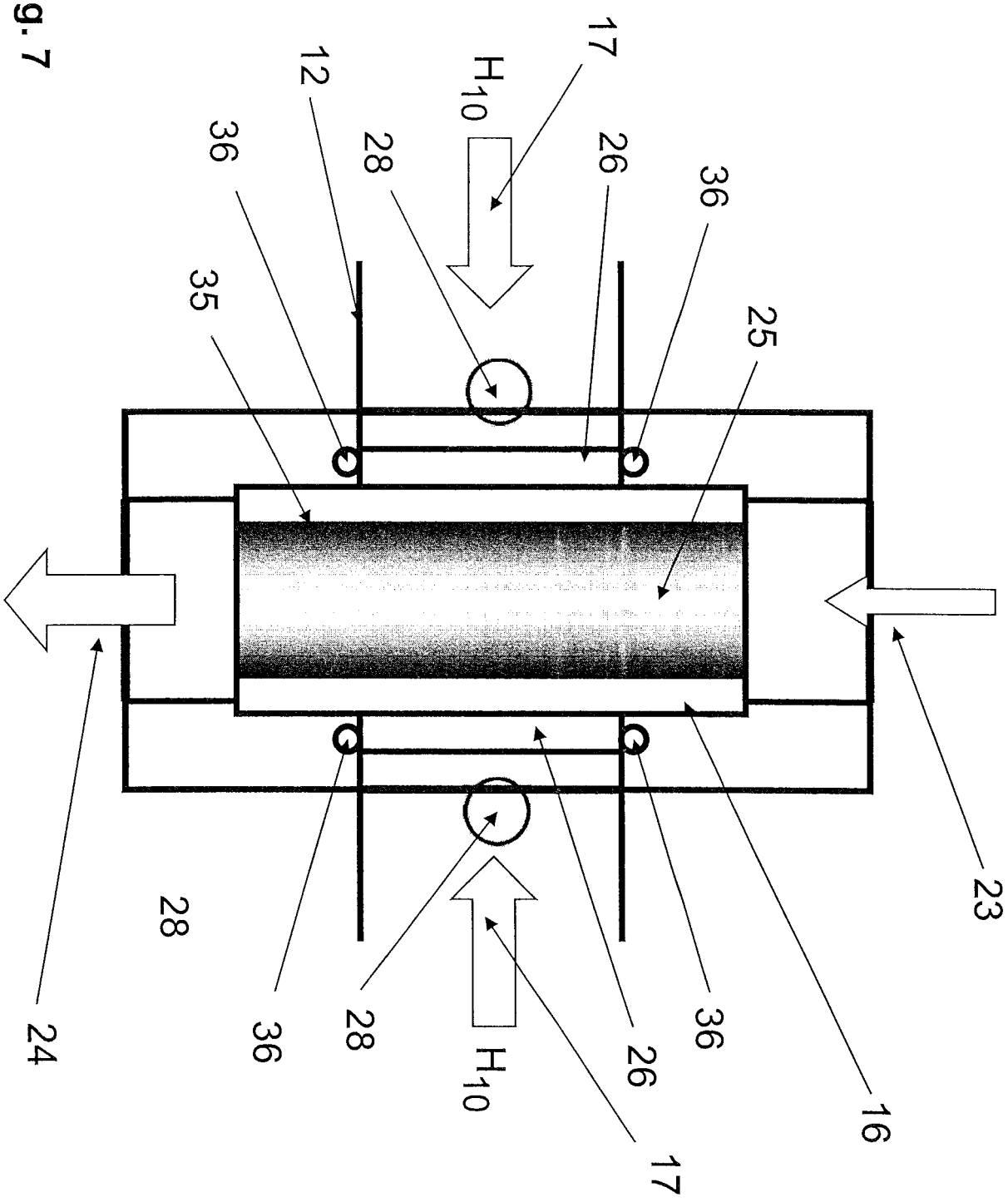


Fig. 6

Fig. 7



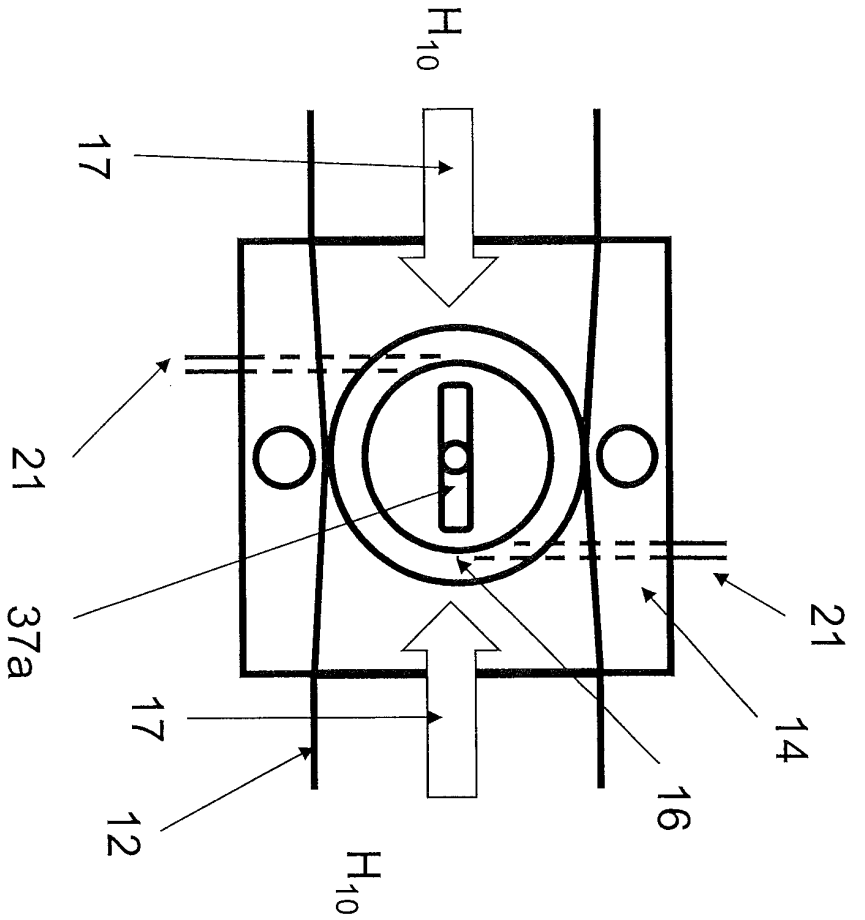


Fig. 8

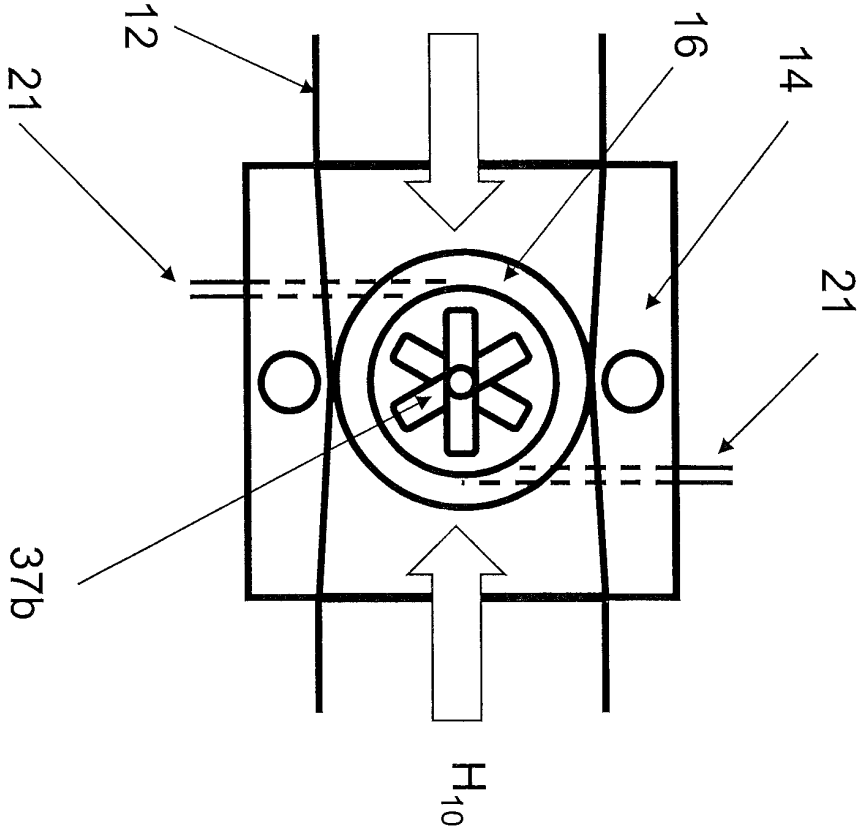


Fig. 9

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

- WO 2013029593 A2 **[0002]**
- SU 397139 **[0003]**
- US 6198224 B1 **[0003]**