

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 965 253 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

11.06.2003 Patentblatt 2003/24

(51) Int Cl.7: **H05H 1/30**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/AT98/00048

(21) Anmeldenummer: **98905135.4**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

(22) Anmeldetag: **03.03.1998**

WO 98/039953 (11.09.1998 Gazette 1998/36)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERZEUGEN EINES PLASMAS**

METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING PLASMA

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR PRODUIRE UN PLASMA

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE FR GB IT

(30) Priorität: **04.03.1997 AT 36897**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

22.12.1999 Patentblatt 1999/51

(73) Patentinhaber: **Platzer, Bernhard**

8010 Graz (AT)

(72) Erfinder: **Platzer, Bernhard**

8010 Graz (AT)

(74) Vertreter: **Cunow, Gerda et al**

**Patentanwälte,
Miksovsky & Pollhammer OEG,
Währingerstrasse 3/14,
Postfach 145
1096 Wien (AT)**

(56) Entgegenhaltungen:

GB-A- 1 180 330

US-A- 2 941 063

US-A- 3 097 292

US-A- 3 149 222

US-A- 4 886 966

EP 0 965 253 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen eines RF/HF-induzierten, niederenergetischen Plasmas, insbesondere Edelgasplasmas, sowie auf eine Vorrichtung zum Erzeugen eines RF/HF-induzierten, niederenergetischen Plasmas, insbesondere Edelgasplasmas, mit einem Generator und einer Zufuhr für das Plasmagas.

[0002] Verfahren und Vorrichtungen zum Erzeugen eines Plasmas, insbesondere eines Edelgasplasmas, sind in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt, wobei ein derartiges Plasma beispielsweise als Strahlungsquelle, insbesondere in der Emissionsspektrometrie, verwendet werden kann. Weitere Möglichkeiten des Einsatzes eines derartigen Plasmas bei Vorsehen einer Probe im Plasma liegen beispielsweise im Bereich der Untersuchungen im Zusammenhang mit Atomemission, Chemilumineszenz, der Ionenmobilität und als Ionenquelle für Massenspektrometrie. Ohne Verwendung einer Probe kann ein derartiges Plasma beispielsweise als Quelle für langsame, thermalisierte Elektronen verwendet werden. Im Bereich der Ionisierungstechnik für die Massenspektrometrie wird darüberhinaus mit Hilfe einer elektrischen Entladung, normalerweise einer Corona-Spitzenentladung, ein Gasbestandteil ionisiert, wobei dieser Gasbestandteil seinerseits das Probenmolekül ionisiert. Im Zusammenhang mit einem Photoionisationsdetektor läßt sich ein derartiges Plasma insbesondere als punktförmige Lichtquelle für VUV-Strahlung verwenden. Im Zusammenhang mit der Ozoneerzeugung kann ein Mikroplasma zum Einsatz gelangen, falls bei Anwendungen der gesamte Gasfluß während der Ozoneerzeugung sehr gering sein muß, beispielsweise wenn das Ozon ins Vakuum eines Analysengerätes eingebracht werden soll. Weiters dient ein derartiges Plasma beispielsweise allgemein zur Erzeugung von Redoxreagentien beim Einbringen kleiner Mengen in gasförmige oder flüssige Systeme. Weitere Einsatzmöglichkeiten eines derartigen Plasmas liegen beispielsweise in einer VUV-Lichtquelle zur Oberflächenbehandlung, insbesondere bei Atmosphärendruck.

[0003] Zur Plasmaerzeugung sind unterschiedliche Methoden bekannt, wobei neben der Möglichkeit einer Plasmaerzeugung durch einen Lichtbogen insbesondere Verfahren und Vorrichtungen verwendet werden, bei denen die zur Plasmaerzeugung und -aufrechterhaltung notwendige Energie durch elektromagnetische Schwingungen dem Gas zugeführt wird. Ein derartiges Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Erzeugen eines HF-induzierten Edelgasplasmas ist hiebei beispielsweise der DE-OS 36 38 880 zu entnehmen, wobei eine kapazitive Einkopplung der Energie in das Plasma vorgenommen werden soll. Betreffend ein Mikrowellen-induziertes Edelgasplasma kann beispielsweise auf die EP-A 0 184 912 verwiesen werden, wobei bei dieser bekannten Ausführung das durch Mikrowellen erzeugte

Plasma in weiterer Folge für eine Photoionisationsdetektion eingesetzt werden soll.

[0004] Problematisch bei derartigen bekannten Verfahren und Vorrichtungen ist einerseits die Einkopplung der elektromagnetischen Energie in das Plasmagas, wobei bei den bekannten Verfahren die aufgewendete Leistung beispielsweise im Bereich von etwa hundert Watt liegt. Es ist somit die einzukoppelnde Leistung sehr hoch, wobei darüberhinaus naturgemäß eine entsprechende Wärmeabfuhr in unmittelbarer Nachbarschaft des erzeugten Plasmas vorgenommen werden muß, um eine Beschädigung von Teilen der Apparatur zu vermeiden. Zu diesem Zweck werden beispielsweise Rohre aus einem elektrisch nicht-leitenden, Hochtemperatur-beständigen Material verwendet, um das Gas bzw. Plasma von den verbleibenden Teilen der Apparatur zu trennen, wobei unmittelbar einsichtig ist, daß durch Vorsehen derartiger Einschlußelemente für das Plasma als auch darüberhinaus für entsprechende Kühlvorrichtungen ein großer Bedarf erforderlich ist, welcher die Erzeugung eines Plasmas geringer räumlicher Ausdehnung und vorzugsweise eines im wesentlichen idealisiert als punktförmig zu bezeichnenden Plasmas sehr erschwert bzw. unmöglich macht, wobei eine derartige Einrichtung beispielsweise aus der US-PS 4 654 504 bekannt ist.

[0005] Darüberhinaus ist der DE-A 26 46 785 ein Plasmapaneel bekannt geworden, wobei eine Entladungsstrecke von Isolatorschichten begrenzt ist und zur Erzeugung des Plasmas Ringelektroden vorgesehen sind, welche mit einer Gleichspannung gespeist werden.

[0006] Weiters sind Einrichtungen zum Ätzen als auch zum Beschichten von Oberflächen unter Verwendung eines Plasmas bekannt, wobei beispielsweise auf die EP-A 303 508 oder die JP-A 8274069 verwiesen wird. Eine Plasmabearbeitungseinrichtung läßt sich darüberhinaus beispielsweise der JP-A 8273894 entnehmen.

[0007] Neben oben ausführlich erörterten Einsatzmöglichkeiten für ein niederenergetisches Plasma sind beispielsweise der DE-A 38 14 330 oder der DE-CS 25 25 939 Plasmalichtbogenbrenner zu entnehmen, welche jedoch aufgrund ihres hochenergetischen Plasmas nicht unmittelbar mit Anwendungen in niederenergetischen Bereich vergleichbar sind.

[0008] Die vorliegende Erfindung zielt nun darauf ab, ausgehend von dem eingangs genannten Stand der Technik ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Erzeugen eines niederenergetischen Plasmas zu schaffen, mit welchen in aus verfahrenstechnischer Sicht einfacher und stabiler Weise die Erzeugung eines niederenergetischen Plasmas ermöglicht wird. Hiebei wird insbesondere auf die Erzielung eines eine geringe räumliche Ausdehnung aufweisenden Plasmas unter gleichzeitiger Vereinfachung der Wärmeabfuhr abgezielt.

[0009] Zur Lösung dieser Aufgabe ist das erfindungs-

gemäße Verfahren zum Erzeugen eines RF/HF-induzierten, niederenergetischen Plasmas, insbesondere Edelgasplasmas, im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß die Energie über zwei in Abstand parallel voneinander angeordnete, insbesondere ring- bzw. scheibenförmige, Elektroden mit jeweils wenigstens einer Durchtrittsöffnung eingebracht wird, daß das Plasma von wenigstens einem zwischen den Elektroden angeordneten Isolator mit wenigstens einer der Durchtrittsöffnung der Elektrode zugeordneten, insbesondere kreisförmigen, Durchtrittsöffnung begrenzt wird und daß der Druck des Plasmagases mit wenigstens 0,01 bar, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 bar, gewählt wird. Dadurch, daß erfindungsgemäß das Plasma von wenigstens einem zwischen im wesentlichen parallel zueinander angeordneten, insbesondere ring- bzw. scheibenförmigen Elektroden angeordneten Isolator begrenzt wird, gelingt entsprechend dem Einsatzzweck eine Definierung der gewünschten Abmessungen des Plasmas, welche entsprechend den Anforderungen gewählt werden können. Weiters kann unmittelbar über den Isolator, in dessen insbesondere kreisförmiger Durchtrittsöffnungen das Plasma erzeugt und aufrechterhalten wird, in einfacher Weise und ohne Vorsehen von zusätzlichen Einschlußelementen, wie beispielsweise Röhren bei bekannten Ausbildungen, eine sichere Begrenzung des Plasmas bei gleichzeitiger Sicherstellung der Wärmeabfuhr aus dem unmittelbaren Bereich des Plasmas erzielt werden. Durch die zu beiden Seiten des Isolators angeordneten, insbesondere ring- bzw. scheibenförmigen Elektroden mit einer gegenseitigen Abstimmung der Positionierung der Durchtrittsöffnungen gelingt weiters auf kleinstem Raum die Einbringung der zur Zündung und Aufrechterhaltung des Plasmas notwendigen Energie, sodaß insgesamt ein einfaches Verfahren zur Erzeugung eines derartigen niederenergetischen Plasmas, insbesondere Edelgasplasmas, bei geringer Leistungsaufnahme und geringem Gasverbrauch zur Verfügung gestellt wird.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausbildung wird hiebei vorgeschlagen, daß das Plasma bei atmosphärischem Druck erzeugt wird, sodaß eine weitere Vereinfachung bei Durchführung des Verfahrens zum Erzeugen des niederenergetischen Plasmas bei geringem Gasverbrauch erzielbar ist.

[0011] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, daß die Leistung des Plasmas unter 30 W, vorzugsweise unter 10 W, gewählt wird, sodaß auch mit einfachen Mitteln eine sichere und ausreichende Wärmeabfuhr ohne Vorsehen von aufwendigen Kühlmechanismen erzielbar ist, wobei bei einem Array von Plasmaentladungen die Leistung für jede einzelne Entladung erzielbar ist.

[0012] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird darüberhinaus weiters bevorzugt vorgeschlagen, daß die Frequenz mit wenigstens 5 kHz, vorzugsweise im Bereich zwischen 50 kHz und 5 GHz, insbesondere mindestens 10 MHz, gewählt wird, wobei die

obere Grenze im wesentlichen dadurch gegeben ist, daß die elektromagnetische Energie mit diskreten Komponenten erzeugt und über Leitungen transportiert werden kann. Besonders bevorzugt ergeben sich hiebei beispielsweise im Bereich zwischen etwa 25 und 45 MHz als auch über 1000 MHz, insbesondere bei etwa 2450 MHz, einfache und günstig einsetzbare, elektronische Bauteile.

[0013] Als Plasmagas wird gemäß einer weiteren bevorzugten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgeschlagen, daß das Plasmagas gewählt ist aus Helium oder Argon, wobei insbesondere Helium als Plasmagas aufgrund seiner niedrigen Atommasse bevorzugt wird, da es kaum Erosionen an den Elektroden verursacht. Außerdem bietet ein Heliumplasma die besten Anregungsbedingungen für Halogene und andere Nichtmetalle, während Argon vor allem in technischen Anwendungen vorgesehen sein kann.

[0014] Zum Aufbau des Plasmas kann neben der Verwendung von Plasmagas für unterschiedliche Einsatzzwecke vorgesehen sein, daß dem Plasmagas ein Zuzugsmischgas in einer Menge von maximal 35 Vol.-%, vorzugsweise max. 25 Vol.-%, zugemischt wird, wobei das Zuzugsmischgas insbesondere aus CO₂, Luft, Wasserstoff und Sauerstoff gewählt wird, wie dies einer weiteren bevorzugten Ausführungsform entspricht. Hiebei kann insbesondere Wasserstoff bei vermindertem Druck in einem relativ hohen Anteil beigesetzt werden, wobei darüberhinaus Wasserstoff insbesondere für die Photoionisation wichtig ist. Als Zuzugsmischgas findet Sauerstoff insbesondere zur Ozonherstellung oder zur Erzeugung von Sauerstoffatom-Emissionsstrahlung Verwendung in einem Photoionisationsdetektor oder als Zuzugsmischgas in der Gaschromatographie zur Verhinderung von Rußablagerungen bei der Zersetzung organischer Verbindungen Verwendung.

[0015] Zur Lösung der obengenannten Aufgaben ist weiters eine Vorrichtung zum Erzeugen eines RF/HF-induzierten, niederenergetischen Plasmas, insbesondere Edelgasplasmas, mit einem RF/HF-Generator und einer Zufuhr für das Plasmagas im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß der Generator mit zwei in Abstand parallel voneinander angeordneten, insbesondere ring- bzw. scheibenförmigen, Elektroden mit jeweils wenigstens einer Durchtrittsöffnung gekoppelt ist, daß zwischen den Elektroden wenigstens ein Isolator mit wenigstens einer der Durchtrittsöffnungen der Elektroden zugeordnet, insbesondere kreisförmigen, Durchtrittsöffnung zur Begrenzung des von einem Plasmagas unter einem Druck von wenigstens 0,01 bar, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 bar, gebildeten Plasmas angeordnet ist und daß die lichte Weite der Durchtrittsöffnung der Elektroden wenigstens das Zweifache, insbesondere etwa das Vier- bis Achtfache, der lichten Weite der Durchtrittsöffnung im Isolator zur Begrenzung des Plasmas beträgt. Derart gelingt eine äußerst kleinstbauende Ausbildung einer Vorrichtung zur Erzeugung des niederenergetischen Plasmas, dessen Abmessun-

gen und Leistung in einfacher Weise an die Erfordernisse angepaßt werden können, wobei gleichzeitig mit aufeinander abgestimmten Elementen einfacher geometrischer Form das Auslangen gefunden werden kann. Dadurch, daß die lichte Weite der Durchtrittsöffnung der Elektroden wenigstens das Zweifache, insbesondere etwa das Vier- bis Achtfache, der lichten Weite der Durchtrittsöffnungen im Isolator zur Begrenzung des Plasmas beträgt, ist darüberhinaus bei kleiner Bauweise und zuverlässiger Einbringung der für die Zündung und Aufrechterhaltung des Plasmas erforderlichen Energie ein Schutz des Elektrodenmaterials vor dem Plasma ohne zusätzliche Einschlußelemente für das Plasma erzielbar.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist hierbei die Ausbildung so getroffen, daß die Elektroden mit jeweils einer im wesentlichen zentrischen, insbesondere zylindrischen oder kegelstumpfförmigen, Durchtrittsöffnung ausgebildet sind, wodurch sich bei kompakter Bauweise eine eng begrenzte, räumlich stabile Entladungszone ausbilden läßt.

[0017] Zur Verringerung von Sputter-Effekten an den Elektroden bei gleichzeitiger Erzielung einer ausreichenden Elektroden-Innenfläche, um die Stromdichte niedrig zu halten und gleichzeitig die Kapazität der Glimmhaut zu erhöhen, ist darüberhinaus bevorzugt vorgesehen, daß die Durchtrittsöffnungen der Elektroden mit abgerundeten Kanten ausgebildet sind.

[0018] Wie oben bereits mehrfach angedeutet, wird erfindungsgemäß auf die Ausbildung eines eine geringe räumliche Ausdehnung und idealisiert als punktförmig zu bezeichnenden Plasmas mit einer eng begrenzten, räumlich stabilen Entladungszone abgezielt, wobei in diesem Zusammenhang besonders bevorzugt vorgeschlagen wird, daß die lichte Weite der Durchtrittsöffnung im das Plasma begrenzenden Isolator maximal 1 mm, vorzugsweise mindestens 0,01 mm, insbesondere etwa 0,05 bis 0,3 mm, beträgt, wobei die Dicke der Elektroden in diesem Fall zwischen 0,1 bis 1,5 mm beträgt.

[0019] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß in Zufuhrrichtung des Gases gesehen der ersten Elektrode ein weiterer Isolator mit einer der Durchtrittsöffnung im zwischen den Elektroden angeordneten Isolator zur Begrenzung des Plasmas im wesentlichen entsprechenden Durchtrittsöffnung vorgeschaltet ist. Durch einen in Zufuhrrichtung des Gases gesehen der ersten Elektrode vorgeschalteten, weiteren Isolator mit einer entsprechend engen Durchtrittsöffnung wird eine Abschirmung in Richtung zur Zufuhr des Plasmagases erzielt, sodaß eine Beeinträchtigung des zuzuführenden Plasmagases vor dem durch den zwischen den Elektroden definierten Ort der tatsächlichen Plasmaerzeugung mit gegebenenfalls auftretenden, unerwünschten Nebeneffekten vermieden wird. Weiters wird vermieden, daß derart den Elektroden und dem Isolator vorgeschaltete Elemente der erfindungsgemäßen Vorrichtung einem Verschleiß bzw. einer Beeinflussung ausgesetzt sind, welche eine Än-

derung der tatsächlichen Zusammensetzung des Plasmagases bewirken könnten. Der dem Plasma vorgeschaltete Isolator könnte, wenn diese Seite auf Erdpotential liegt, auch aus Metall, beispielsweise Pt/Ir, bestehen. Zur Verringerung der Anzahl der Bauteile wird in diesem Zusammenhang gemäß einer weiters bevorzugten Ausführungsform vorgeschlagen, daß die in Zufuhrrichtung des Gases gesehen erste Elektrode mit dem vorgeschalteten Isolator in einem gemeinsamen Bauteil einstückig ausgebildet ist und daß an die der Durchtrittsöffnung im Isolator zur Begrenzung des Plasmas entsprechende Durchtrittsöffnung eine sich insbesondere konisch erweiternde Ausnehmung anschließt.

[0020] Für einen Schutz von der Einheit aus den zwei Elektroden und dem zwischengeschalteten Isolator zur Erzeugung des Plasmas nachgeschalteten, operativen Einrichtungen wird, insbesondere wenn der Einheit eine optische Analyseeinrichtung nachgeschaltet ist, vorgeschlagen, daß in Zufuhrrichtung des Gases gesehen der zweiten Elektrode ein zusätzlicher Isolator nachgeschaltet ist, dessen Durchtrittsöffnung vorzugsweise geringfügig kleiner ist als die Durchtrittsöffnung der benachbarten Elektrode, wie dies einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung entspricht. Dadurch, daß die Durchtrittsöffnung dieses zusätzlichen, nachgeschalteten Isolators geringfügig kleiner ist als die Durchtrittsöffnung der unmittelbar benachbarten Elektrode wird wiederum der Schutz der Oberfläche der Elektroden verbessert und insbesondere eine räumliche Begrenzung der Glimmentladung auf der Elektrode erzielt wrd, wodurch die Energieaufnahme des gesamten Plasmas als auch der analytisch interessanten Zone in der Öffnung des mittleren Isolators stabilisiert wird. Durch Wahl der Geometrie und der Abmessungen der Durchtrittsöffnung des nachgeschalteten Isolators gelingt eine Anpassung an nachgeschaltete Einrichtungen, wie sie beispielsweise bei Verwendung des Plasmas im Zusammenhang mit Detektoren betreffend den Öffnungswinkel der ausgesendeten Strahlung als auch das Blickfeld der nachgeschalteten Optik wesentlich sein kann, wobei der nachgeschaltete Isolator eine möglichst große Öffnung aufweisen soll, wenn der große Öffnungswinkel der vom Plasma ausgesendeten Strahlung voll genutzt werden soll.

[0021] Für eine entsprechend einfache Ausbildung und exakte räumliche Begrenzung des zu erzeugenden Plasmas wird weiters bevorzugt vorgeschlagen, daß der das Plasma begrenzende Isolator scheibenförmig ausgebildet ist und in seinem die Durchtrittsöffnung aufweisenden mittleren Bereich mit gegenüber den Randbereichen verringerter Dicke ausgebildet ist. Dadurch, daß der Isolator in seinem Randbereich eine größere Dicke aufweist, gelingt ein zuverlässiger Schutz gegen elektrische Überschläge der im wesentlichen von den Elektroden und dem zwischengeschalteten Isolator gebildeten Einheit zur Erzeugung des Plasmas, wobei durch eine geringe Dicke im mittleren Bereich des Isolators bei Wahl einer geeigneten Geometrie tatsächlich

ein im wesentlichen punktförmiges Plasma bei entsprechend niedriger Leistung unter atmosphärischem Druck erzielbar ist. In diesem Zusammenhang wird darüberhinaus bevorzugt vorgeschlagen, daß die Verringerung der Dicke des Isolators im mittleren Bereich im Querschnitt längs einer bogenförmigen, insbesondere kreisbogenförmigen, parabelförmigen oder kegeligen, Erzeugenden verläuft, wobei durch derartige bogenförmige Begrenzungen des verjüngten bzw. verkleinerten, mittleren Abschnittes eine gegebenenfalls bestehende Abrasion des Isolators und der Elektroden reduziert werden kann und gleichzeitig eine definierte Geometrie der dem Plasma unmittelbar vor- bzw. nachgeschalteten Glimmentladungen erzielbar ist. Durch die bogenförmigen Verjüngungen des Isolators im mittleren Bereich wird insbesondere das Strömungsprofil des Gases verbessert und überdies werden durch eine derartige Struktur des Isolators die Elektroden besser der UV-Strahlung des Plasmas ausgesetzt.

[0022] Durch die erfindungsgemäß vorgeschlagene Geometrie der Elektroden als auch der Isolatoren wird es möglich, die erfindungsgemäße Vorrichtung für unterschiedlichste Einsatzzwecke zu verwenden. So kann beispielsweise bei Anwendungen ohne Analysenproben im Plasma, bei denen es auf ein vergleichsweise geringes Totvolumen nicht in erster Linie ankommt, vor allem die stromaufwärtige Elektrode im wesentlich scheibenförmig sein, wobei eine beliebige Öffnung für die Plasmagaszufuhr vorgesehen sein muß, welche in Abwandlung der Geometrie der Isolatoren beispielsweise auch seitlich angeordnet sein kann oder gegebenenfalls von Poren gebildet sein kann.

[0023] Bei der Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung als Plasmareaktor, beispielsweise für eine Ionenmobilitätsspektrometrie oder zur Ozonerzeugung, ermöglicht die enge räumliche Begrenzung der Entladung des Plasmas, welche idealisiert als punktförmig betrachtet werden kann, einen steilen Temperaturgradienten, wobei dies insbesondere beim Abkühlen der Plasmagase beim Austritt aus der Plasmadüse bzw. dem nachgeschalteten Isolator wichtig ist, und damit verbunden die Bildung thermodynamisch instabiler Reaktionsprodukte durch Quenchen. Demgegenüber kann bei Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Erzeugung eines Mikroplasmas, beispielsweise zur Ozon- oder zur Wasserstoffatomerzeugung, eine Austrittsdüse bzw. ein nachgeschalteter Isolator verwendet werden, welche eine enge Isolatordüse ist oder eine dem zweiten Isolator nachgeschaltete Metaldüse sein kann, wobei jedoch zur Extraktion von Ionen ein elektrischer Isolator vorteilhaft ist.

[0024] Bei Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung im Bereich der Massenspektrometrie kann durch Verwendung einer kleinen Durchtrittsöffnung des in Zufuhrrichtung letzten Isolators zusammen mit einem entsprechend hohen Gasfluß eine große Druckdifferenz an dem Übergang zwischen Plasma und Vakuum eingestellt werden, wobei in diesem Fall die Öffnung der von

dem Isolator gebildeten Austrittsdüse typischerweise kleiner ist als die der verwendeten Durchtrittsöffnung des vor den Elektroden vorgesehenen Isolators. Insgesamt ermöglicht die erfindungsgemäß vorgesehene, enge räumliche Begrenzung des Plasmas sowie der Durchtrittsöffnung des nachgeschalteten Isolators, welcher eine Austrittsdüse definiert, die Verwendung kleiner Gasflüsse bei gleichzeitig hohem Druck im Plasma unter exakter räumlicher Begrenzung. Derartig kleine Gasflüsse resultieren in weiterer Folge in vergleichsweise niedrigen Anforderungen an Vakuumpumpen, wobei darüberhinaus für eine Optimierung der Energiezufuhr bei einer derartigen Ausbildung die dem Vakuumbereich näher liegende Elektrode vorzugsweise auf oder nahe Erdpotential gehalten wird, während ein Einspeisen der RF-Leistung an der anderen Elektrode erfolgt. Weiters kann insbesondere für eine weitere Druckerhöhung im Plasma die Zufuhr eines Zumsch- oder Hilfs-gases, beispielsweise im Bereich zwischen dem zwischen den Elektroden angeordneten Isolator und dem nachgeschalteten Isolator, welcher die Austrittsdüse definiert, vorgesehen sein, um den Druck im Plasma zu erhöhen. Für spezielle Einsatzzwecke kann auch in einem derartigen, im wesentlichen seitlichen Bereich stromabwärts des eigentlichen Plasmas eine zu untersuchende Probe bzw. ein Reagensgas eingebracht werden.

[0025] Weiters ermöglicht die erfindungsgemäße Anordnung der Elektroden sowie der Isolatoren, daß die Elektroden bzw. insbesondere deren zylindrische Innenfläche vom Plasma möglichst direkt beleuchtet werden, wodurch sich eine Stabilisierung der Entladung durch Freisetzung von Photoelektronen aus der Metalloberfläche ergibt.

[0026] Um mit kleinbauenden Elektroden die zur Zündung und Aufrechterhaltung des Plasmas erforderliche Energie einbringen zu können und eine entsprechende Widerstandsfähigkeit der Elektroden zu erhalten, wird erfindungsgemäß bevorzugt vorgeschlagen, daß das Material der Elektrode gewählt ist aus Gold, Platin, Tantal, Niob, Iridium, Aluminium, Platin/ Iridium-Legierungen, vergoldetem Metall oder mit Edelmetallen galvanisch beschichteten, unedlen Metallen. Für die Erzielung der erforderlichen elektrischen Isolationseigenschaften und einer ausreichenden Wärmeleitfähigkeit der das Plasma begrenzenden Elemente bei gleichzeitiger Möglichkeit einer exakten Bearbeitung wird weiters vorgeschlagen, daß der das Plasma begrenzende Isolator von Scheiben aus Aluminiumoxidkeramik, Quarz, Saphir, Rubin, Diamant oder elektrisch nicht- bzw. schlecht leitender Oxid-, Nitrid- oder Carbidkeramik gebildet ist, wie dies einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung entspricht.

[0027] Zur Erleichterung des Zusammenbaues der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei der aus den Elektroden und den Isolatoren bestehende, zentrale Bereich zur Plasmaerzeugung beispielsweise vorgefertigt werden kann, wird darüberhinaus bevorzugt vorge-

schlagen, daß die Elektroden und Isolatoren entweder mechanisch, beispielsweise durch Federwirkung, miteinander zusammengepreßt sind oder durch an sich bekannte Metall-Keramik-Verbindungen, insbesondere durch Löten im Vakuum oder unter Wasserstoffatmosphäre, miteinander verbunden sind.

[0028] Für eine besonders einfache Lagerung der Einheit zur Plasmaerzeugung wird darüberhinaus bevorzugt vorgeschlagen, daß die Elektroden sowie der bzw. die Isolatoren in Halterungen aufgenommen und gasdicht gelagert sind. Aufgrund der Tatsache, daß insbesondere die räumlichen Abmessungen des Plasmas äußerst gering sind, wird darüberhinaus bevorzugt vorgeschlagen, daß die Halterungen mit zentriereinrichtungen für die Elektroden und/oder Isolatoren ausgebildet sind, um eine gleichmäßige Einbringung der Energie zur Zündung und Aufrechterhaltung des Plasmas zu erzielen.

[0029] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist darüberhinaus vorgesehen, daß die Halterungen Abführ- und/oder Spülöffnungen, insbesondere für die Zufuhr eines Zumischgases, aufweisen, wodurch insbesondere neben der Zufuhr von Zumischgasen gegebenenfalls entstehende Reaktionsprodukte, welche beispielsweise bei Verwendung des Plasmas im Zusammenhang mit Analyse- oder Detektoreinrichtungen im Bereich der plasmaerzeugenden Einheit auftreten können, einfach abgeführt werden können.

[0030] Für die Erzielung einer entsprechenden Dichtigkeit bei hoher Temperatur zwischen den einzelnen Elementen wird darüberhinaus bevorzugt vorgeschlagen, daß die Halterungen wenigstens im Bereich ihrer an den Elektroden und/oder Isolatoren anliegenden bzw. angrenzenden Dichtfläche beschichtet, beispielsweise vergoldet, sind.

[0031] Zur Erzielung einer äußerst kleinbauenden Einheit bei entsprechender Sicherstellung der Einkopplung der elektrischen Energie ist darüberhinaus bevorzugt vorgesehen, daß die Halterungen für die Elektroden mit Anschlüssen für die Zufuhr der RF/HF-Energie ausgebildet sind.

[0032] Wie oben angedeutet, ist der das Plasma begrenzende Isolator unter Umständen aus äußerst aufwendig herstellbaren und kostspieligen Materialien gefertigt, um die gewünschten Eigenschaften des im wesentlichen punktförmigen, niederenergetischen Plasmas zu erhalten, sodaß darauf abgezielt wird, mit möglichst geringem Materialeinsatz für den Isolator im unmittelbaren Bereich der Plasmaerzeugung das Auslangen zu finden. Für eine weitere Wärmeabfuhr und Isolierung bzw. Halterung des die Durchtrittsöffnung aufweisenden Isolators wird darüberhinaus vorgeschlagen, daß der das Plasma begrenzende Isolator von einem weiteren Isolator umgeben ist, welcher den Isolator zentriert und die Elektroden voneinander abschirmt, wobei dieser weitere Isolator aus entsprechend kostengünstigerem Material, wie beispielsweise Bornitrat, Polymid, je nach Temperatur hergestellt werden kann.

[0033] Wie oben bereits angedeutet, läßt sich ein derartiges Plasma für unterschiedlichste Einsatzzwecke verwenden, wobei in diesem Zusammenhang besonders bevorzugt vorgeschlagen wird, daß der Plasmaerzeugung eine Einrichtung zur Analyse von in das Plasma eingebrachten, zu untersuchenden Materialien nachgeschaltet ist.

[0034] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in der beiliegenden Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In dieser zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erzeugen eines RF/HF-induzierten, niederenergetischen Plasmas zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 in vergrößertem Maßstab eine teilweise Darstellung einer abgewandelten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 3 in einer zu Fig. 2 ähnlichen Darstellung eine weitere abgewandelte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 4 einen Schnitt durch eine weitere abgewandelte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei Verwendung der Vorrichtung als Plasmareaktor;

Fig. 5 einen Schnitt durch eine weitere abgewandelte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei Verwendung der Vorrichtung in Verbindung mit einem Massenspektrometer; und

Fig. 6 einen Schnitt durch eine weitere abgewandelte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0035] In Fig. 1 sind mit 1 zwei parallel zueinander angeordnete, scheibenförmige bzw. ringförmige Elektroden bezeichnet, zwischen welchen ein Isolator 2, beispielsweise aus Rubin, Saphir oder allgemein einer nicht- bzw. schlecht leitenden Oxidkeramik, angeordnet ist, wobei der Isolator 2 eine Durchtrittsöffnung 3 aufweist, in welcher in weiterer Folge ein Plasma mit geringen Abmessungen, welche idealisiert als punktförmig zu betrachten sind, erzeugt wird. Jede Elektrode 1 weist hierbei eine Durchtrittsöffnung 4 auf, welche die Abmessungen der Durchtrittsöffnung 3 des Isolators, welche die Abmessungen des zu erzeugenden, schematisch mit 17 angedeuteten, Plasmas definieren, beträchtlich übersteigt und etwa das Zwei- bis Zehnfache der lichten Weite der Öffnung 3 beträgt. Die Elektroden 1 sind in schematisch angedeuteten Halterungen 5 bzw. 6 gelagert, über welche in nicht näher dargestellter Weise, beispielsweise über einen gefederten Kontaktstift, eine

Verbindung mit einem Generator zur Zufuhr der Energie zur Zündung und Aufrechterhaltung des in der Durchtrittsöffnung 3 des Isolators 2 zu erzeugenden Plasmas erfolgt, wobei eine Zufuhr für eine Probe mit 7 bezeichnet ist. Die Zufuhr 7, welche beispielsweise von einem Quarz-Kapillarrohr gebildet ist, wird von einer weiteren rohrförmigen Öffnung 18 umgeben, über welche entsprechend den Pfeilen 19 eine Zufuhr eines Plasmagases, wie beispielsweise Helium oder Argon, und gegebenenfalls eines Zmischgases, wie beispielsweise CO₂, Luft, Wasserstoff oder Sauerstoff, in den Bereich der Elektroden und Isolatoren erfolgt.

[0036] Aus Fig. 1 ist ersichtlich, daß der in Zufuhrrichtung 8 bzw. 19 der Probe und des Plasmagases ersten Elektrode vorgeschaltet ein weiterer Isolator 9 vorgesehen ist, dessen Durchtrittsöffnung 10 Abmessungen aufweist, welche im wesentlichen den Abmessungen der Durchtrittsöffnung 3 des Isolators 2, in welchem das Plasma 17 erzeugt wird, entsprechen. Dieser in Strömungsrichtung 8 vorgeschaltete Isolator 9 dient hierbei im wesentlichen dazu, um ein Durchschlagen des Plasmas in die Zuführung 7 sowie eine Beschädigung der umliegenden Elemente zu vermeiden. Weiters ist ersichtlich, daß in Zufuhrrichtung 8 des Plasmagases gesehen der zweiten Elektrode 1 ein weiterer Isolator 11 nachgeschaltet ist, dessen Durchtrittsöffnung 12 geringfügig kleiner ist als die lichte Öffnung der unmittelbar benachbarten Elektrode 1. Durch diesen nachgeschalteten Isolator 11 gelingt entsprechend den Erfordernissen eine Optimierung bzw. genaue Definition der durch das Plasma 17 in der Öffnung 3 erzeugten Strahlung. Dadurch, daß die Durchtrittsöffnung 12 zumindest geringfügig kleiner ist als die Durchtrittsöffnung 4 der benachbarten Elektrode 1, wird die Elektrodenoberfläche geschützt, und insbesondere eine räumliche Begrenzung der Glimmentladung auf der Elektrode erzielt, wodurch die Energieaufnahme des gesamten Plasmas als auch der analytisch interessanten Zone in der Öffnung des mittleren Isolators stabilisiert wird. Zur Vermeidung von Sputter-Effekten können die Elektroden 1 an ihren Kanten abgerundet sein bzw. dürfen sie keine scharfen Grate aufweisen. Weiters ist vorgesehen, daß der Isolator 2 an seiner in Strömungsrichtung 8 gesehen hinteren Oberfläche von einer bogenförmigen Erzeugenden 13 begrenzt ist, sodaß sich im Isolator 2 in seinem mittleren Bereich ein verringerter Querschnitt ergibt, sodaß durch die im Querschnitt gesehen im wesentlichen quadratischen Abmessungen der Durchtrittsöffnung 3 ein kugelförmiges und idealisiert als punktförmig zu bezeichnendes Plasma 17 erzeugtbar ist.

[0037] Der Durchmesser der Durchtrittsöffnung 3 im Isolator 2, welcher die Abmessungen des zu erzeugenden Plasmas definiert, kann hierbei unter 0,5 mm und beispielsweise bei etwa 0,1 bis 0,2 mm liegen. Demgegenüber beträgt der Durchmesser 4 der Öffnungen der Elektroden 1 beispielsweise etwa 0,5 - 1 mm. Die Dicke der Elektroden 1 als auch der Isolatoren 2, 9 und 11 kann beispielsweise etwa 0,5 mm betragen, wobei

durch die Verjüngung des Isolators 2 in einem mittleren Bereich eine entsprechend verringerte Dicke erzielbar ist.

[0038] Es gelingt somit, mit baulich einfachen Mitteln eine Plasmaquelle zur Verfügung zu stellen, bei welcher die räumlichen Abmessungen des Plasmas sehr klein und exakt definierbar sind, sodaß bei Atmosphärenbedingungen ein niederenergetisches Plasma mit einer Leistung von beispielsweise unter 20 W und vorzugsweise zwischen 5 und 10 W erzielbar ist. Aufgrund der geringen Leistung wird es darüberhinaus möglich, über den Isolator 2 sicher die entstehende Wärme abzuführen, wobei, wie aus Fig. 1 ersichtlich, der Isolator 2 von einem weiteren Isolator 14 umgeben ist, welcher sowohl der weiteren Wärmeableitung dient als auch eine sichere Abschirmung der beiden Elektroden 1, welche zu beiden Seiten des Isolators 2 angeordnet sind, ermöglicht. Weiters sind insbesondere in der Halterung 6 Abführ- oder Spülöffnungen 15 angedeutet, über welche entsprechend den Pfeilen 20 ein Austrag erfolgt.

[0039] Durch Vorsehen der Halterungen 5 und 6 sowie des den Isolator 2 umgebenden, zusätzlichen Isolators 14 gelingt eine sichere Festlegung der lediglich geringe Abmessungen aufweisenden Einzelelemente, wobei darüberhinaus für eine entsprechende gasdichte Festlegung der einzelnen Elemente Sorge getragen werden muß. Die Halterungen 5, 6 sind hierbei mit Zentriereinrichtungen ausgebildet oder dienen selbst als Zentrierung der aufeinander abzustimmenden Durchtrittsöffnungen 3, 10, 12 der einzelnen Elemente, wobei ein umgebendes, elektrisch isolierendes Gehäuse schematisch mit 16 angedeutet ist.

[0040] Zur Erzielung einer entsprechenden Dichtheit kann darüberhinaus vorgesehen sein, daß die Halterungen 5 bzw. 6 wenigstens im Bereich der an den Elektroden 1 und/oder Isolatoren 2, 9 und 11 anliegenden bzw. angrenzenden Dichtflächen beschichtet, beispielsweise vergoldet, sind.

[0041] Die Verbindung der Elektrode 1 mit den Isolatoren 2, 9 bzw. 11 kann beispielsweise mechanisch unter Vorsehen von entsprechenden Federn, welche ein Zusammenpressen der Elektroden 1 und Isolatoren 2, 9 und 11 mit sich bringen, erfolgen oder es können an sich bekannte Metall-Keramik-Verbindungen, wie beispielsweise Löten im Vakuum oder unter wasserstoffatmosphäre, eingesetzt werden, um eine entsprechend dichte Einheit der Elektroden 1 sowie der Isolatoren 2, 9 und 11 in den Halterungen 5 und 6 bzw. zwischen denselben zu erzielen.

[0042] Bei den Darstellungen gemäß den Fig. 2 und 3, welche in größerem Maßstab lediglich den Teilbereich der Elektroden 1 sowie des Isolators 2 und der gegebenenfalls vor- bzw. nachgeschalteten Isolatoren 9 und 11 darstellen, sind für gleiche Elemente die Bezugszeichen der vorangehenden Figur beibehalten worden.

[0043] So ist bei der Ausführungsform gemäß der Fig. 2 vorgesehen, daß sämtliche Isolatoren 2, 9 und 11 im wesentlichen scheibenförmig mit im wesentlichen

gleichbleibender Dicke ausgebildet sind, während bei der Ausbildung gemäß Fig. 3 der das Plasma 17 begrenzende Isolator 2 in seinem mittleren Bereich dadurch verjüngt ausgebildet ist, daß an beiden Seitenflächen jeweils eine Querschnittsverminderung entlang von bogenförmigen Erzeugenden 13 erfolgt. Derart ist eine vollkommen mittige Positionierung des Plasmas zwischen den zwei an den Isolator 2 anschließenden Elektroden 1 möglich. Die Elektroden 1 sind hiebei zur Erzielung einer möglichst hohen Feldstärke im Bereich des Plasmas in Richtung zu dem Isolator 2 geneigt, d. h. kegelstumpfförmig, ausgebildet.

[0044] Bei der in Fig. 4 dargestellten, abgewandelten Ausführungsform einer Vorrichtung, welche als Plasma-Reaktor verwendet wird, sind zur Plasmaerzeugung wiederum zwei im wesentlichen ringförmige Elektroden 1 vorgesehen, welchen Isolatoren 2, 9 bzw. 11 mit sehr geringen Durchtrittsquerschnitten zwischen- bzw. vorder- nachgeschaltet sind. Die Lagerung der von den Elektroden 1 und den Isolatoren 2, 9 bzw. 11 gebildeten Einheit erfolgt wiederum in Halterungen 5 und 6. Dabei liegt die in Zufuhrrichtung 8 bzw. 19 stromabwärts liegende Elektrode 1 unter Kopplung mit der Halterung 6 mit einer gegebenenfalls gekühlten, weiteren Halterung 21 im wesentlichen auf Erdpotential, während an der Halterung 5, in welcher die in Strömungsrichtung erste Elektrode 1 gelagert ist, die RF-Energie angelegt wird. Die Halterungen 5 und 6 sind von weiteren elektrischen Isolatoren 22 und 23 wenigstens teilweise übergriffen. Bei Einsatz der in Fig. 4 dargestellten Vorrichtung als Plasmareaktor erfolgt über eine zentrale Zufuhr 7 die Zufuhr einer Probe, während in der das Probenrohr 7 umgebenden Ausnehmung 18 entsprechend dem Pfeil 19 die Zufuhr eines Plasmagases und gegebenenfalls eines Zuzugsgases erfolgt. Hiebei kann weiters eine vorgeschaltete Halterung 24, über welche die Probe und das Plasmagas geführt werden, gegebenenfalls beheizt sein.

[0045] Weiters ist aus Fig. 4 ersichtlich, daß über in der Halterung 21 vorgesehene Zuführöffnungen 25 darüberhinaus zusätzlich ein Zuzugsgas in den Bereich der Elektroden 1 und Isolatoren 2, 9 bzw. 11 entgegen der Zufuhrrichtung 8 bzw. 19 sowohl der Probe als auch des Plasmagases erfolgen kann, wobei dieses Zuzugsgas beispielsweise Kühlzwecke erfüllt, den Druck im Bereich der Plasmaerzeugung anhebt und gleichzeitig als Transportgas dient. Die Reaktionsprodukte, welche in weiterer Folge beispielsweise zur Massenspektrometrie oder Chemilumineszenz verwendet werden, werden über eine beispielsweise wiederum von einem Quarz-Kapillarrohr ausgebildete Ausfuhr 26 entsprechend dem Pfeil 27 gegebenenfalls in einen Vakuumbereich bzw. für eine nähere Analyse ausgebracht.

[0046] Für entsprechende Einsatzzwecke, insbesondere als Ionenquelle, kann ein gegenüber der Darstellung gemäß Fig. 4 abgeänderter Anschluß der Versorgungsquelle an der Elektrode, beispielsweise unter Tausch des Anschlusses für das Erdpotential, und für

die Einspeisung der RF-Energie gewählt werden.

[0047] Bei der Ausbildung gemäß Fig. 5, welche insbesondere im Zusammenhang mit einem Massenspektrometer einsetzbar ist, sind für gleiche Bauteile wiederum die Bezugszeichen der vorangehenden Figuren beibehalten worden. Auch bei dieser Ausbildung sind insbesondere die Isolatoren 2, 9 und 11 mit sehr geringen Durchtrittsöffnungen ausgebildet, wobei wiederum die in Zufuhrrichtung 8 bzw. 19 zweite Elektrode 1 über die Halterung 21 auf Erdpotential liegt, während unter Zwischenschaltung der Halterung 5 die erste Elektrode 1 mit RF/HF-Energie gespeist wird. Dem Bereich der Plasmaerzeugung, wie er durch die Elektroden 1 sowie die Isolatoren 2, 9 bzw. 11 definiert wird, ist eine schematisch angedeutete Abschirmeinrichtung 28 nachgeschaltet, wobei vor dieser Abschirmeinrichtung 28 für die Verwendung in einem Massenspektrometer entsprechend dem Pfeil 29 ein Vorvakuum aufgebaut wird, während in weiterer Folge im Bereich der gemäß dem Pfeil 30 ausgebrachten Reaktionsprodukte ein entsprechend höheres Vakuum vorzusehen ist.

[0048] Gegebenenfalls kann auch in den Bereich unmittelbar vor dem in Strömungsrichtung gesehen letzten Isolator 11 eine Zufuhr eines Zuzugsgases vorgesehen sein. Weiters kann die vorgeschaltete Halterung 24 wiederum mit entsprechenden, nicht näher dargestellten Heizeinrichtungen versehen sein.

[0049] Bei der in Fig. 6 dargestellten, abgewandelten Ausführungsform sind wiederum die Bezugszeichen der vorangehenden Darstellungen für gleiche Bauteile beibehalten worden. So weist wiederum der Isolator 2 eine Durchtrittsöffnung 3 auf, in welcher in weiterer Folge das Plasma 17 begrenzt wird. Die Zufuhr für eine Probe ist mit 7 bezeichnet. Der Isolator 2 zur Begrenzung des Plasmas 17 ist wiederum zwischen zwei ring- bzw. scheibenförmigen Elektroden angeordnet, wobei die in Zufuhrrichtung nachgeschaltete Elektrode 1 wiederum ähnlich zu den vorangehenden Ausführungsformen ausgebildet ist. Im Gegensatz zu vorangehenden Ausführungsformen ist die in Zufuhrrichtung gesehen vorgeschaltete Elektrode gemeinsam mit einem der ersten Elektrode vorgeschalteten Isolator ausgebildet, wobei diese Einheit mit 31 bezeichnet ist. Die Einheit 31 weist ähnlich den vorangehenden Ausführungsformen wiederum eine Eintritts- bzw. Durchtrittsöffnung 10 auf, welche im wesentlichen der Durchtrittsöffnung 3 des Isolators 2 zur Begrenzung des Plasmas 17 entspricht. Ausgehend von der Durchtrittsöffnung 10 der Einheit 31 ist diese mit einer sich konisch erweiternden bzw. im wesentlichen topfförmigen Ausnehmung 32 ausgebildet, sodaß sich insgesamt für die zwischen den Elektroden auszubildenden Feldlinien zur Begrenzung des Plasmas 17 wiederum eine im wesentlichen den vorangehenden Ausführungsformen entsprechende Konfiguration ergibt. Hiebei kann die sich konisch erweiternde bzw. topfförmige Ausnehmung 32 zur Erzielung der entsprechenden geometrischen Erfordernisse mit einer Tiefe ausgebildet sein, welche etwa dem zweifachen

Durchmesser derselben entspricht.

[0050] Die von den Elektroden und den Isolatoren gebildete Einheit ist wiederum in Halterungen aufgenommen, welche bei der in Fig. 6 gezeigten Ausführungsform mit 33 und 34 bezeichnet sind. Aus Fig. 6 ist weiters ersichtlich, daß sich ungleich den vorangehenden Ausführungsformen der Isolator 2 zur Begrenzung des Plasmas 7 bis zu den Halterungen 33 bzw. 34 erstreckt, so daß insgesamt bei der in Fig. 6 dargestellten Ausführungsform mit einer verringerten Anzahl von aufeinander abzustimmenden bzw. miteinander zu verbindenden Einzelteilen das Auslangen gefunden werden kann.

[0051] Für eine erhöhte Gesamtleistung kann darüberhinaus allgemein vorgesehen sein, daß sowohl die Elektroden als auch der Isolator 2 zur Begrenzung des Plasmas jeweils mit einer Vielzahl von aufeinander abgestimmten Durchtrittsöffnungen ausgebildet sind, wobei diese Durchtrittsöffnungen hierbei derart angeordnet sind, daß eine Konzentration der von den einzelnen Plasmaquellen abgegebenen Leistung auf einen gemeinsamen Mittelpunkt bzw. Fokussierungspunkt erzielbar ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines RF/HF-induzierten, niederenergetischen Plasmas (17), insbesondere Edelgasplasmas, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Energie über zwei in Abstand parallel voneinander angeordnete, insbesondere ring- bzw. scheibenförmige, Elektroden (1, 31) mit jeweils wenigstens einer Durchtrittsöffnungen (4, 32) eingebracht wird, daß das Plasma (17) von wenigstens einem zwischen den Elektroden angeordneten Isolator (2) mit wenigstens einer der Durchtrittsöffnung (4, 32) der Elektrode (1, 31) zugeordneten, insbesondere kreisförmigen, Durchtrittsöffnung (3) begrenzt wird und daß der Druck des Plasmagases mit wenigstens 0,01 bar, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 bar, gewählt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Plasma (17) bei atmosphärischem Druck erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Leistung des Plasmas (17) unter 30 W, vorzugsweise unter 10 W, gewählt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Frequenz mit wenigstens 5 kHz, vorzugsweise im Bereich zwischen 50 kHz und 5 GHz, insbesondere mindestens 10 MHz, gewählt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Plasmagas ge-

wählt ist aus Helium oder Argon.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Plasmagas ein Zumischgas in einer Menge von maximal 35 Vol.-%, vorzugsweise max. 25 Vol.-%, zugemischt wird, wobei das Zumischgas insbesondere aus CO₂, Luft, Wasserstoff und Sauerstoff gewählt wird.
7. Vorrichtung zum Erzeugen eines RF/HF-induzierten, niederenergetischen Plasmas, insbesondere Edelgasplasmas, mit einem RF/HF- Generator und einer Zufuhr (7) für das Plasmagas, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Generator mit zwei in Abstand parallel voneinander angeordneten, insbesondere ring- bzw. scheibenförmigen, Elektroden (1, 31) mit jeweils wenigstens einer Durchtrittsöffnung (4, 32) gekoppelt ist, daß zwischen den Elektroden (1, 31) wenigstens ein Isolator (2) mit wenigstens einer der Durchtrittsöffnungen der Elektroden (1) zugeordneten, insbesondere kreisförmigen, Durchtrittsöffnung (3) zur Begrenzung des von einem Plasmagas unter einem Druck von wenigstens 0,01 bar, vorzugsweise zwischen 0,1 und 5 bar, gebildeten Plasmas (17) angeordnet ist und daß die lichte Weite der Durchtrittsöffnung (4, 32) der Elektroden (1) wenigstens das Zweifache, insbesondere etwa das Vier- bis Achtfache, der lichten Weite der Durchtrittsöffnung (3) im Isolator (2) zur Begrenzung des Plasmas (17) beträgt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektroden (1, 31) mit jeweils einer im wesentlichen zentrischen, insbesondere zylindrischen oder kegelförmigen, Durchtrittsöffnung (4, 32) ausgebildet sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Durchtrittsöffnungen (4, 32) der Elektroden (1) mit abgerundeten Kanten ausgebildet sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die lichte Weite der Durchtrittsöffnung (3) im das Plasma (17) begrenzenden Isolator (2) maximal 1 mm, vorzugsweise mindestens 0,01 mm, insbesondere etwa 0,05 bis 0,3 mm, beträgt.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** in Zufuhrrichtung (8) des Gases gesehen der ersten Elektrode (1) ein weiterer Isolator (9) mit einer der Durchtrittsöffnung (3) im zwischen den Elektroden (1) angeordneten Isolator (2) zur Begrenzung des Plasmas (17) im wesentlichen entsprechenden Durchtrittsöffnung (10) vorgeschaltet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** die in Zufuhrrichtung des Gases gesehen erste Elektrode mit dem vorgeschalteten Isolator in einem gemeinsamen Bauteil (31) einstückig ausgebildet ist und daß an die der Durchtrittsöffnung (3) im Isolator (2) zur Begrenzung des Plasmas (17) entsprechende Durchtrittsöffnung (10) eine sich insbesondere konisch erweiternde Ausnehmung (32) anschließt. 5
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** in Zufuhrrichtung (8) des Gases gesehen der zweiten Elektrode (1) ein zusätzlicher Isolator (11) nachgeschaltet ist, dessen Durchtrittsöffnung (12) vorzugsweise geringfügig kleiner ist als die Durchtrittsöffnung (4) der benachbarten Elektrode (1). 10
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** der das Plasma begrenzende Isolator (2) scheibenförmig ausgebildet ist und in seinem die Durchtrittsöffnung (3) aufweisenden mittleren Bereich mit gegenüber den Randbereichen verringerter Dicke ausgebildet ist. 20
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Verringerung der Dicke des Isolators (2) im mittleren Bereich im Querschnitt längs einer bogenförmigen, insbesondere kreisbogenförmigen, parabelförmigen oder kegelförmigen, Erzeugenden (13) verläuft. 25
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Material der Elektroden (1, 31) gewählt ist aus Gold, Platin, Tantal, Niob, Iridium, Aluminium, Platin/Iridium-Legierungen, vergoldetem Metall oder mit Edelmetallen galvanisch beschichteten, unedlen Metallen. 30
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** der das Plasma begrenzende Isolator (2) von Scheiben aus Aluminiumoxidkeramik, Quarz, Saphir, Rubin, Diamant oder elektrisch nicht- bzw. schlecht leitender Oxid-, Nitrid- oder Carbidkeramik gebildet ist. 40
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektroden (1, 31) und Isolatoren (2, 9, 11) entweder mechanisch, beispielsweise durch Federwirkung, miteinander zusammengepreßt sind oder durch an sich bekannte Metall-Keramik-Verbindungen, insbesondere durch Löten im Vakuum oder unter Wasserstoffatmosphäre, miteinander verbunden sind. 50
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Elektroden (1, 31) sowie der bzw. die Isolatoren (2, 9, 11) in Halterun-

gen (5, 6, 21, 22, 23, 24, 33, 34) aufgenommen und gasdicht gelagert sind.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Halterungen (5, 6) mit Zentrier-einrichtungen für die Elektroden (1) und/oder Isolatoren (2, 9, 11) ausgebildet sind.
21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Halterungen (6) Abführ- und/oder Spülöffnungen (15), insbesondere für die Zufuhr eines Zumischgases, aufweisen.
22. Vorrichtung nach Anspruch 19, 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Halterungen (5, 6) wenigstens im Bereich ihrer an den Elektroden (1) und/oder Isolatoren (2, 9, 11) anliegenden bzw. angrenzenden Dichtfläche beschichtet, beispielsweise vergoldet, sind.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Halterungen (5, 6) für die Elektroden (1) mit Anschlüssen für die Zufuhr der RF/HF-Energie ausgebildet sind.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** der das Plasma (17) begrenzende Isolator (2) von einem weiteren Isolator (14) umgeben ist, welcher den Isolator (2) zentriert und die Elektroden (1) voneinander abschirmt.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Plasmaerzeugung eine Einrichtung zur Analyse von in das Plasma (17) eingebrachten, zu untersuchenden Materialien nachgeschaltet ist.

Claims

1. Method for producing a RF/HF induced low-energy plasma (17), in particular noble gas plasma, **characterized in that** the energy is coupled to two in particular ring- or disk-shaped parallel, interspaced electrodes (1, 31), each having at least one through-opening (4, 32), that the plasma (17) is confined by at least one isolator (2), positioned between said electrodes, having at least one particularly circular through-opening (3) assigned to the through-opening (4, 32) of the electrode (1, 31) and that the pressure of the plasma gas is selected to be at least 0.01 bars, but preferably between 0.1 and 5 bars.
2. Method as claimed in claim 1, **characterized in that** the plasma (17) is produced at atmospheric pressure.
3. Method as claimed in claim 1 or 2, **characterized**

in that the power of the plasma (17) is selected below 30 W, and preferably below 10 W.

4. Method as claimed in any one of claims 1 to 3, **characterized in that** the frequency is selected to be at least 5 kHz, preferably in the range of 50 kHz to 5 GHz, and more preferably above 10 MHz. 5
5. Method as claimed in any one of claims 1 to 4, **characterized in that** the plasma gas is selected from helium or argon. 10
6. Method as claimed in any one of claims 1 to 5, **characterized in that** an additive gas is admixed to said plasma gas at a level of at most 35% v/v, preferably less than 25% v/v, whereby said additive gas is selected from CO₂, air, hydrogen and oxygen. 15
7. Device for producing a RF/HF induced low-energy plasma, in particular noble gas plasma, comprising a RF/HF generator and a supply element (7) for the plasma gas **characterized in that** said generator is coupled to two in particular ring- or disk-shaped parallel, interspaced electrodes (1, 31), each having at least one through-opening (4, 32), that at least one isolator (2) is positioned between said electrodes (1, 31), having at least one particularly circular through-opening (3) assigned to said through-openings of said electrodes (1), designed to confine said plasma (17) formed by a plasma gas at a pressure of at least 0.01 bars, but preferably between 0.1 and 5 bars and that said inside diameter of said through-opening (4, 32) of said electrodes (1) is at least double, in particular approximately four to eight times that of said inside diameter of said through-opening (3) of said isolator (2) for confining said plasma (17). 20
25
30
35
8. Device as claimed in claim 7 **characterized in that** the electrodes (1, 31) each have an essentially concentric through-opening (4, 32), preferably in the shape of a cylinder or a truncated cone. 40
9. Device as claimed in of claim 7 or 8, **characterized in that** said through-openings (4, 32) of said electrodes (1) are provided with rounded edges. 45
10. Device as claimed in any one of claims 7 to 9, **characterized in that** the internal diameter of said through-opening (3) in said isolator confining said plasma (17) is less than 1 mm, preferably at least 0.01 mm, and more preferably about 0.05 to 0.3 mm. 50
11. Device as claimed in any one of claims 7 to 10, **characterized in that**, viewed with respect to the direction of gas flow (8), another isolator (9) with a through-opening (10), which is essentially equivalent

to said through-opening (3) of said isolator (2) positioned between said electrodes (1) and confining said plasma (17), is positioned upstream of said first electrode (1).

12. Device as claimed in claim 11, **characterized in that** the first electrode, viewed with respect to the direction of gas flow, and the isolator positioned upstream of it are combined into one single component (31), and that the through-opening (10) corresponding to said through-opening (3) in the isolator (2) confining said plasma is followed by a preferably conically expanding duct (32).
13. Device as claimed in any one of claims 7 to 12, **characterized in that** an additional isolator (11) is positioned downstream of the, viewed with respect to the direction (8) of gas flow, second electrode (1), the through-opening (12) of said isolator being slightly smaller than said through-opening (4) of the adjacent electrode (1).
14. Device as claimed in any one of claims 7 to 13, **characterized in that** said isolator (2) confining said plasma is disk-shaped, and that its central region, showing said through-opening (3), is of diminished thickness compared to the peripheral regions.
15. Device as claimed in claim 14, **characterized in that** the decrease of thickness of the central region of said isolator (2) in its cross-sectional view follows an arc-shaped, in particular circular arc-shaped, parabolic or cone-shaped contour.
16. Device as claimed in any one of claims 7 to 15, **characterized in that** the material of the electrodes (1, 31) is selected from gold, platinum, tantalum, niobium, iridium, aluminum, platinum/iridium alloys, gold plated metal or base metals galvanically coated with noble metals.
17. Device as claimed in any one of claims 7 to 16, **characterized in that** said isolator (2) confining the plasma is formed by disks of aluminum-oxide ceramics, quartz, sapphire, ruby, diamond, or electrically poorly conducting or non-conducting nitride- or carbide-ceramics.
18. Device as claimed in any one of claims 7 to 17, **characterized in that** said electrodes (1, 31) and isolators (2, 9, 11) are either pressed together mechanically, for example by spring action or bonded together by known techniques of metal-ceramic bonding, in particular by soldering in vacuum or hydrogen atmosphere.
19. Device as claimed in any one of claims 7 to 18, **characterized in that** said electrodes (1, 31) and

said isolator or isolators (2, 9, 11) are held in fixtures (5, 6, 21, 22, 23, 24, 33, 34) and mounted in a gas-tight manner.

20. Device as claimed in claim 19, **characterized in that** the fixtures (5, 6) are equipped with centering mounts for said electrodes (1) and/or isolators (2, 9, 11). 5
21. Device as claimed in claim 19 or 20, **characterized in that** said fixtures (6) have outlets or purging holes (15), in particular for supplying an additive gas. 10
22. Device as claimed in claim 19, 20 or 21, **characterized in that** said fixtures (5, 6) are coated, for example gold plated, at least in the section of the sealing surfaces facing said electrodes (1) and/or isolators (2, 9, 11). 15
23. Device as claimed in any one of claims 19 to 22, **characterized in that** said fixtures (5, 6) for said electrodes (1) are provided with connectors for the supply of RF/HF energy. 20
24. Device as claimed in any one of claims 7 to 23, **characterized in that** said isolator (2) confining said plasma (17) is enclosed in a further isolator (14) which centers the isolator (2) and shields the electrodes (1) from each other. 25
25. Device as claimed in any one of claims 7 to 24, **characterized in that** the plasma production is followed by a device for analyzing sample materials introduced into said plasma (17). 30

Revendications

1. Procédé de production d'un plasma basse énergie, induit par effet RF/HF (17), en particulier d'un plasma de gaz rares, **caractérisé en ce que** l'énergie est introduite à l'aide de deux électrodes, en particulier sous forme d'anneaux ou de disques, disposées à une certaine distance parallèlement l'une de l'autre (1, 31) avec, à chaque fois, au moins un orifice de passage (4, 32), **en ce que** le plasma (17) est limité par au moins un isolateur disposé entre les électrodes (2), avec, au moins, un orifice de passage, en particulier circulaire (3), attribué au moins à un des orifices de passage (4, 32) des électrodes (1, 31), et **en ce que** la pression du gaz de plasma est choisie pour être au moins de 0,01 bar, de préférence pour être comprise entre 0,1 et 5 bars. 40
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le plasma (17) est produit à la pression atmosphérique. 45

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** la puissance du plasma (17) est choisie pour être inférieure à 30 W, de préférence inférieure à 10 W.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la fréquence est choisie pour être au moins de 5 kHz, de préférence pour être dans le domaine compris entre 50 kHz et 5 GHz, en particulier pour être au moins de 10 MHz.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le gaz de plasma est choisi parmi l'hélium ou l'argon.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'on mélange au gaz de plasma un gaz d'admixture dans une quantité d'au maximum 35% en volume, de préférence d'au maximum 25% en volume, le gaz d'admixture étant choisi en particulier parmi le CO₂, l'air, l'hydrogène et l'oxygène.
7. Dispositif de production d'un plasma basse énergie, induit par effet RF/HF, en particulier d'un plasma de gaz rares, avec un générateur RF/HF et une admission (7) pour le gaz de plasma, **caractérisé en ce que** le générateur est couplé à deux électrodes, en particulier sous forme d'anneaux ou de disques, disposées à une certaine distance parallèlement l'une de l'autre (1, 31), avec au moins, à chaque fois, un orifice de passage (4, 32), **en ce qu'**entre les électrodes est disposé au moins un isolateur (2), avec un orifice de passage (3), en particulier circulaire, attribué à au moins un des orifices de passage des électrodes (1), en vue de la limitation d'un plasma (17), formé à partir d'un gaz de plasma sous une pression d'au moins 0,01 bar, de préférence comprise entre 0,1 et 5 bars, et **en ce que** la lumière de l'orifice de passage (4, 32) des électrodes (1) est au moins le double, en particulier environ le quadruple jusqu'à l'octuple, de la lumière de l'orifice de passage (3) dans l'isolateur (2), en vue de la limitation du plasma (17). 30
8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** les électrodes (1, 31) sont formées avec, à chaque fois, un orifice de passage, pour l'essentiel central, en particulier cylindrique ou sous forme de tronc de cône (4, 32). 35
9. Dispositif selon la revendication 7 ou 8, **caractérisé en ce que** les orifices de passage (4, 32) des électrodes (1, 31) sont formées avec des arêtes arrondies. 40
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce que** la lumière de 45

l'orifice de passage (3) dans l'isolateur (2) limitant le plasma (17) est au maximum de 1 mm, de préférence d'au moins 0,01 mm, en particulier d'environ 0,05 à 0,3 mm.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, **caractérisé en ce que**, dans la direction d'alimentation (8) du gaz, vue de la première électrode (1), un isolateur supplémentaire (9) est intercalé avec l'un des orifices de passage (3) dans l'isolateur (2) disposé entre les électrodes en vue de la limitation du plasma (17) avant l'orifice de passage correspondant pour l'essentiel (10).

12. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'électrode qui est en première position, vue dans la direction d'alimentation du gaz, est formé d'une seule pièce avec l'isolateur intercalé dans un module de construction commun (31) et **en ce qu'à** l'orifice de passage (10) correspondant à l'orifice de passage (3) dans l'isolateur en vue de la limitation du plasma (17) s'adjoint un évidement s'élargissant d'une manière conique (32).

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 12, **caractérisé en ce que**, dans la direction d'alimentation (8) du gaz, vue de la deuxième électrode (1), est intercalé un isolateur supplémentaire (11), dont l'orifice de passage (12) est inférieur, de préférence très faiblement inférieur à l'orifice de passage (4) de l'électrode voisine (1).

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 13, **caractérisé en ce que** l'isolateur limitant le plasma (2) est réalisé sous la forme d'un disque et est formé dans son domaine médian présentant l'orifice de passage (3) avec une épaisseur diminuée par rapport aux zones de bordure.

15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** la diminution de l'épaisseur de l'isolateur (2) dans le domaine médian se déroule en section transversale selon une ligne génératrice (13) courbée, en particulier circulaire, parabolique ou conique.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 15, **caractérisé en ce que** le matériau des électrodes (1, 31) est sélectionné parmi l'or, le platine, le tantale, le niobium, l'iridium, l'aluminium, des alliages platine/iridium, du métal plaqué or ou des métaux non précieux, revêtus par voie galvanique de métaux précieux.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 16, **caractérisé en ce que** l'isolateur limitant le plasma (2) est réalisé à partir de disques faits de céramique d'oxyde d'aluminium, de quartz, de

saphir, de rubis, de diamant ou d'une céramique d'oxyde, de nitrure ou de carbure, non conductrice de l'électricité ou mauvaise conductrice de l'électricité.

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 17, **caractérisé en ce que** les électrodes (1, 31) et les isolateurs (2, 9, 11) sont, soit pressés ensemble par voie mécanique, par exemple sous l'effet de ressorts, soit liés les uns aux autres par des liaisons en soi connues métal-céramique, en particulier par soudure sous vide ou sous atmosphère d'hydrogène.

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 18, **caractérisé en ce que** les électrodes (1, 31) ainsi que le ou les isolateurs (2, 9, 11) sont logés dans des supports (5, 6, 21, 22, 23, 24, 33, 34) et sont mis en place d'une manière étanche aux gaz.

20. Dispositif selon la revendication 19, **caractérisé en ce que** les supports (5, 6) sont formés avec des équipements de centrage pour les électrodes (1) et/ou les isolateurs (2, 9, 11).

21. Dispositif selon la revendication 19 ou 20, **caractérisé en ce que** les supports (6) présentent des orifices d'évacuation et/ou de purge, en particulier pour l'alimentation d'un gaz d'admixtion.

22. Dispositif selon la revendication 19, 20 ou 21, **caractérisé en ce que** les supports (5, 6), tout au moins dans le domaine de leurs surfaces d'étanchéification touchant ou à proximité des électrodes (1) et/ou des isolateurs (2, 9, 11) sont pourvus d'un revêtement, par exemple d'un revêtement d'or.

23. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 19 à 22, **caractérisé en ce que** les supports (5, 6) pour les électrodes sont formés avec des connexions pour l'apport de l'énergie RF/HF.

24. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 23, **caractérisé en ce que** l'isolateur limitant le plasma (17) est entouré d'un isolateur supplémentaire (14), qui centre l'isolateur (2) et qui protège les électrodes (1) l'une de l'autre.

25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 24, **caractérisé en ce qu'un** équipement, destiné à l'analyse des matériaux à examiner, introduits dans le plasma (17), est placé à la suite de la production de plasma.

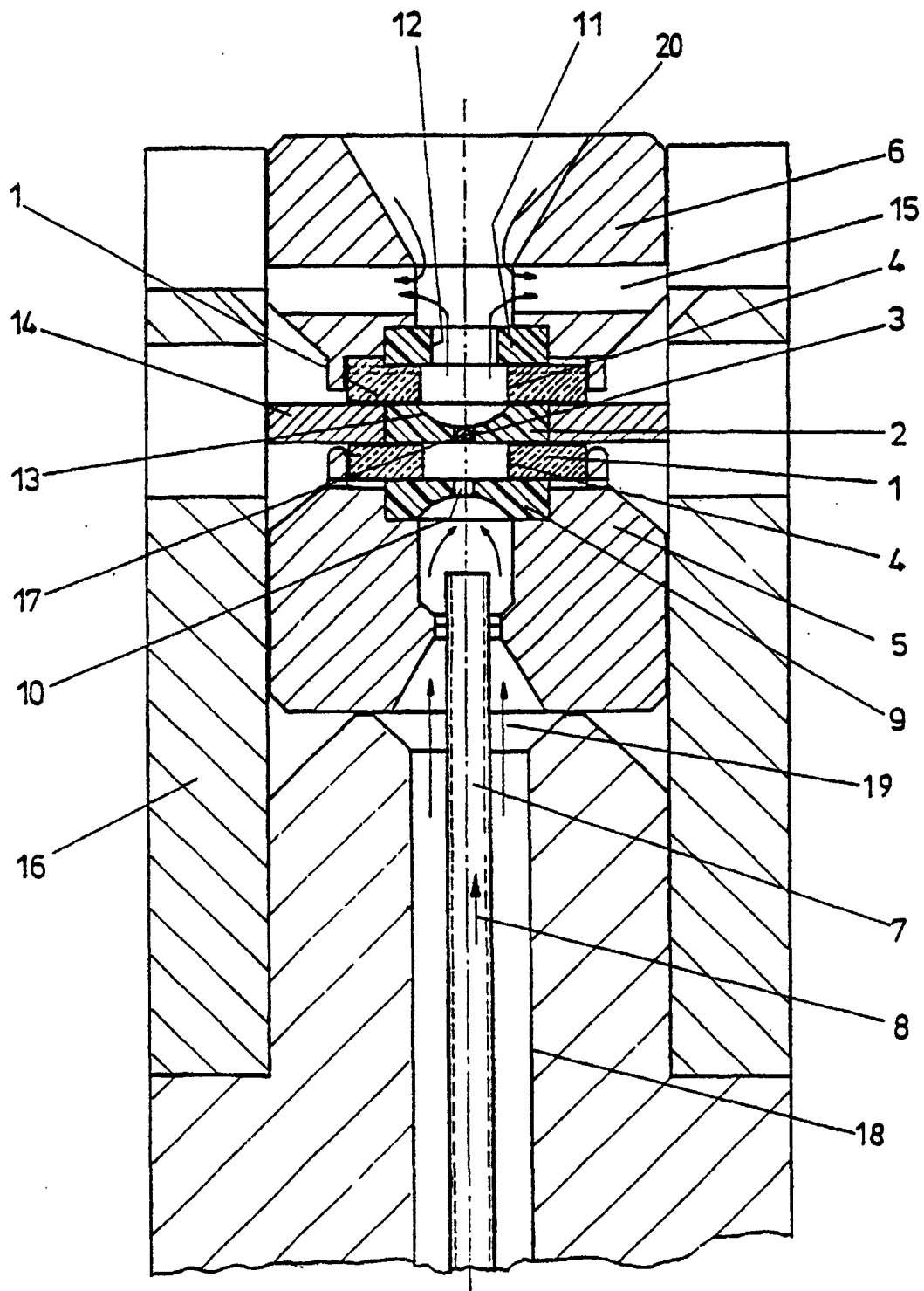


FIG.1

FIG. 2

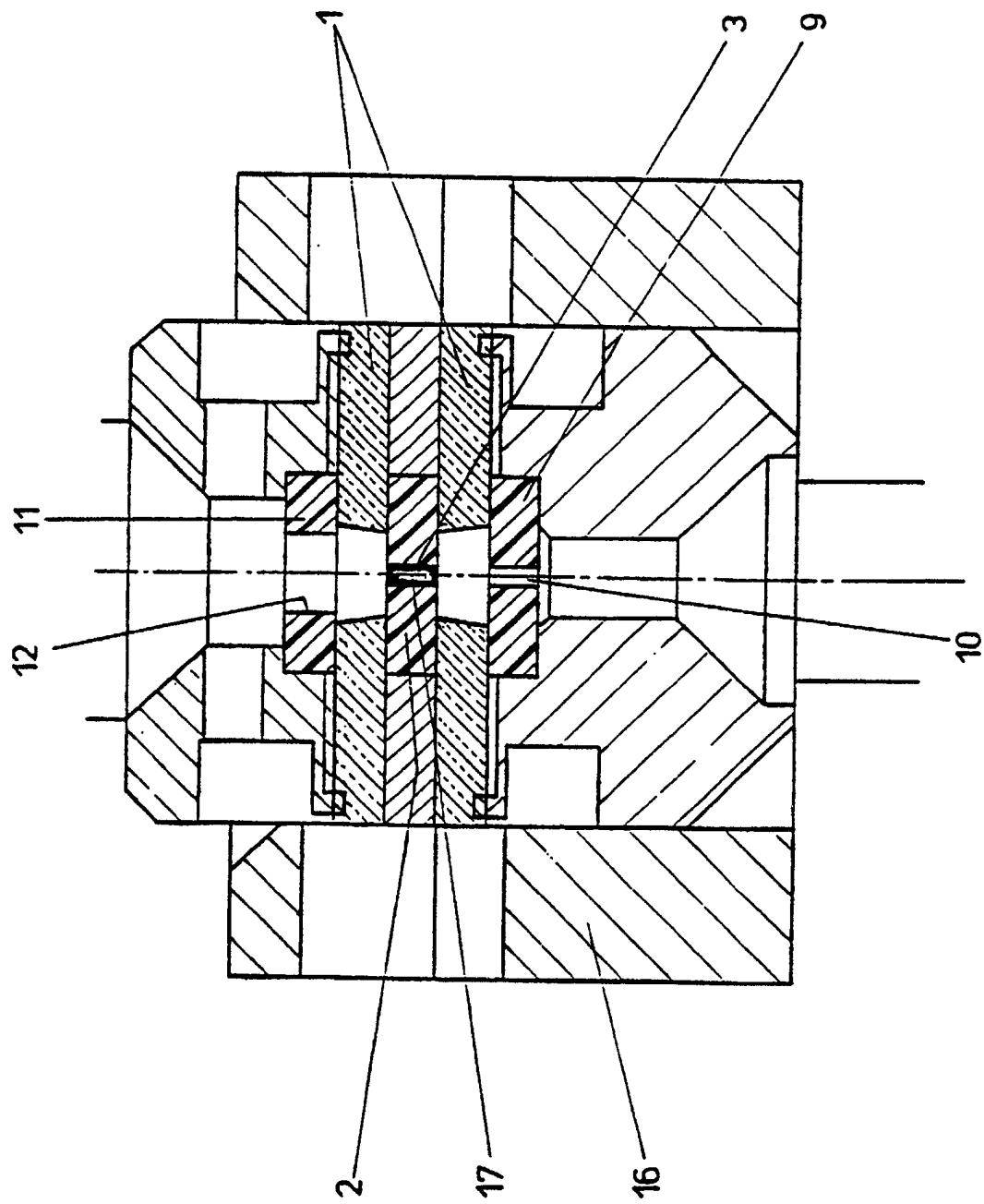
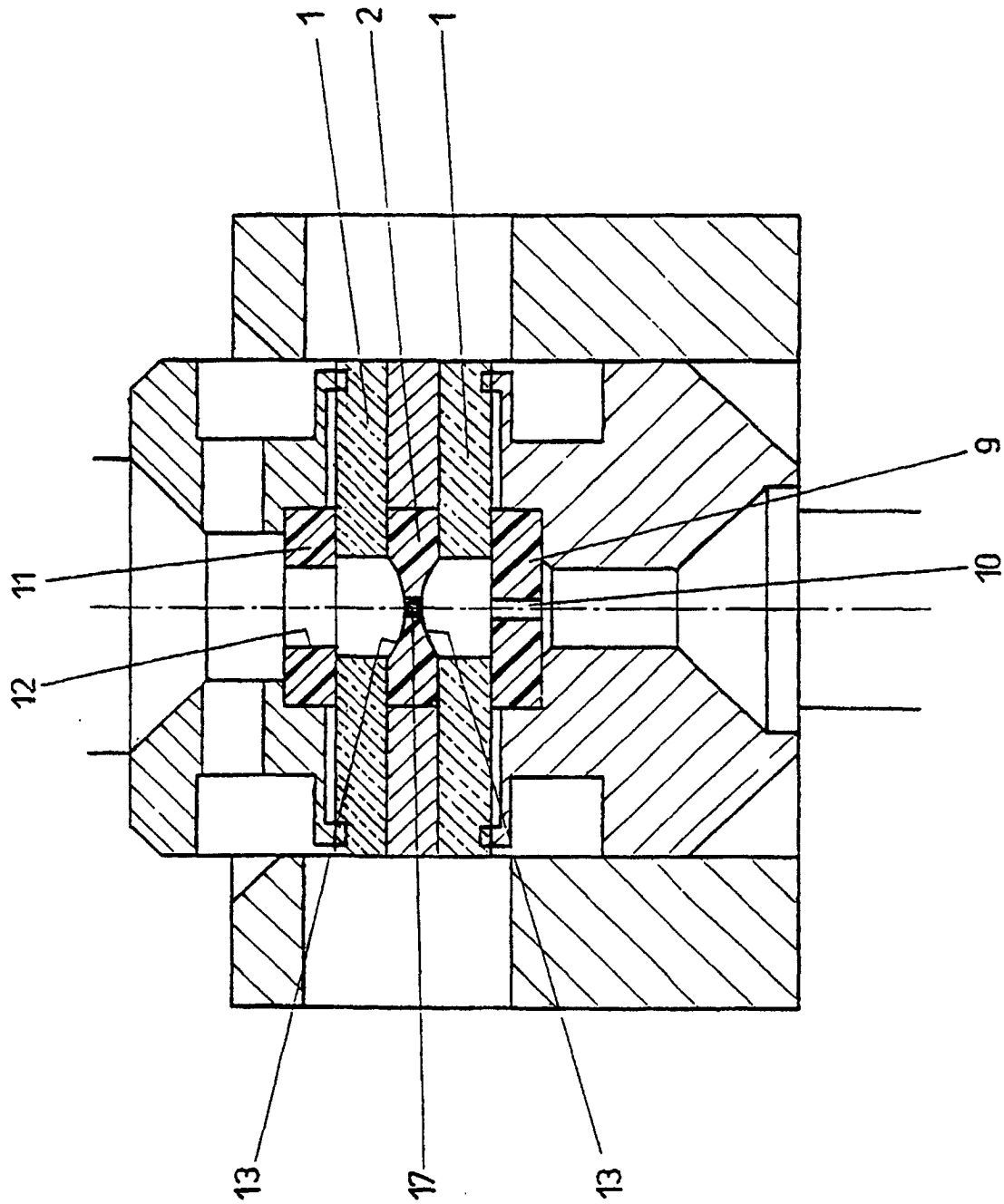
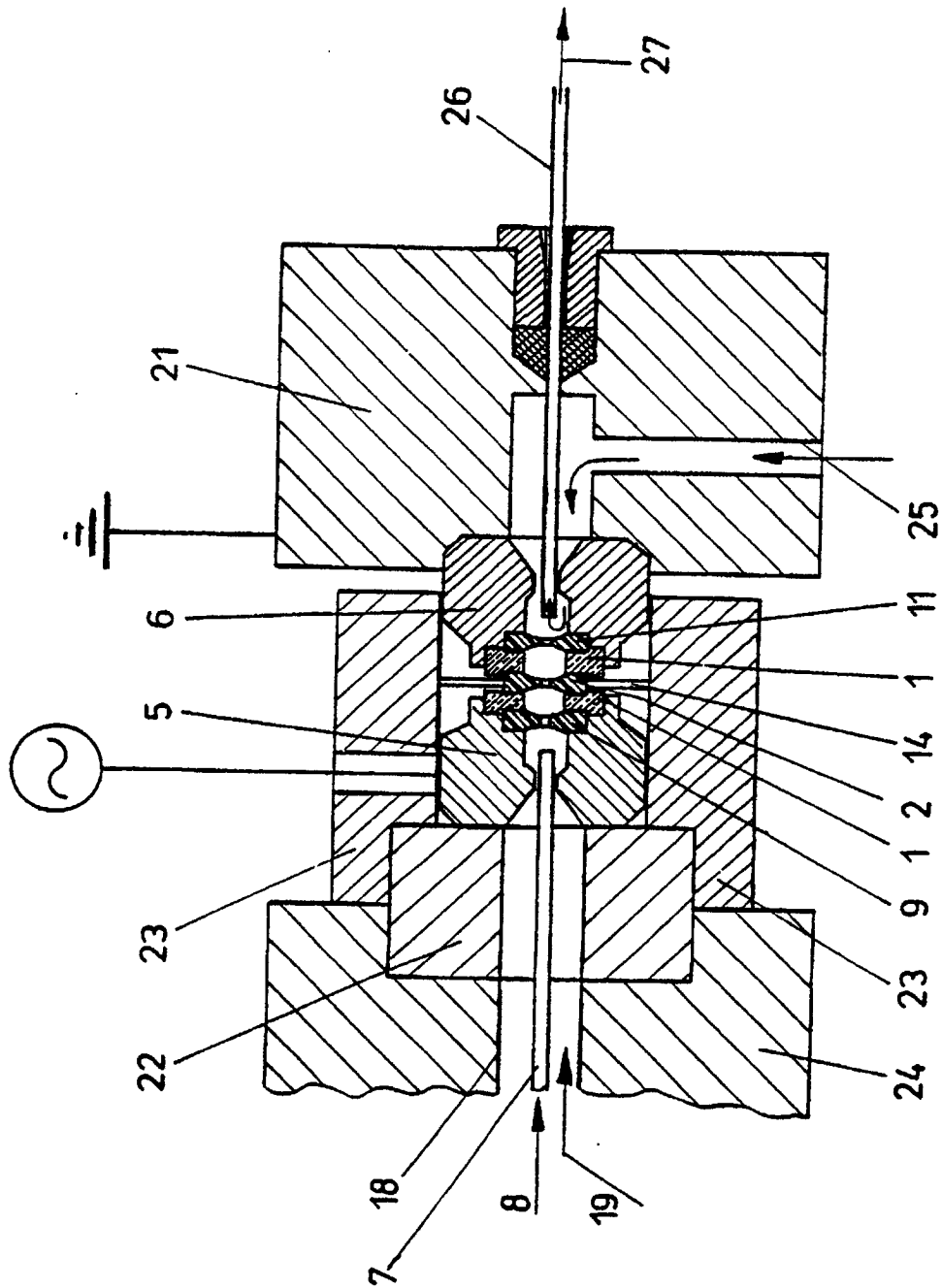


FIG. 3





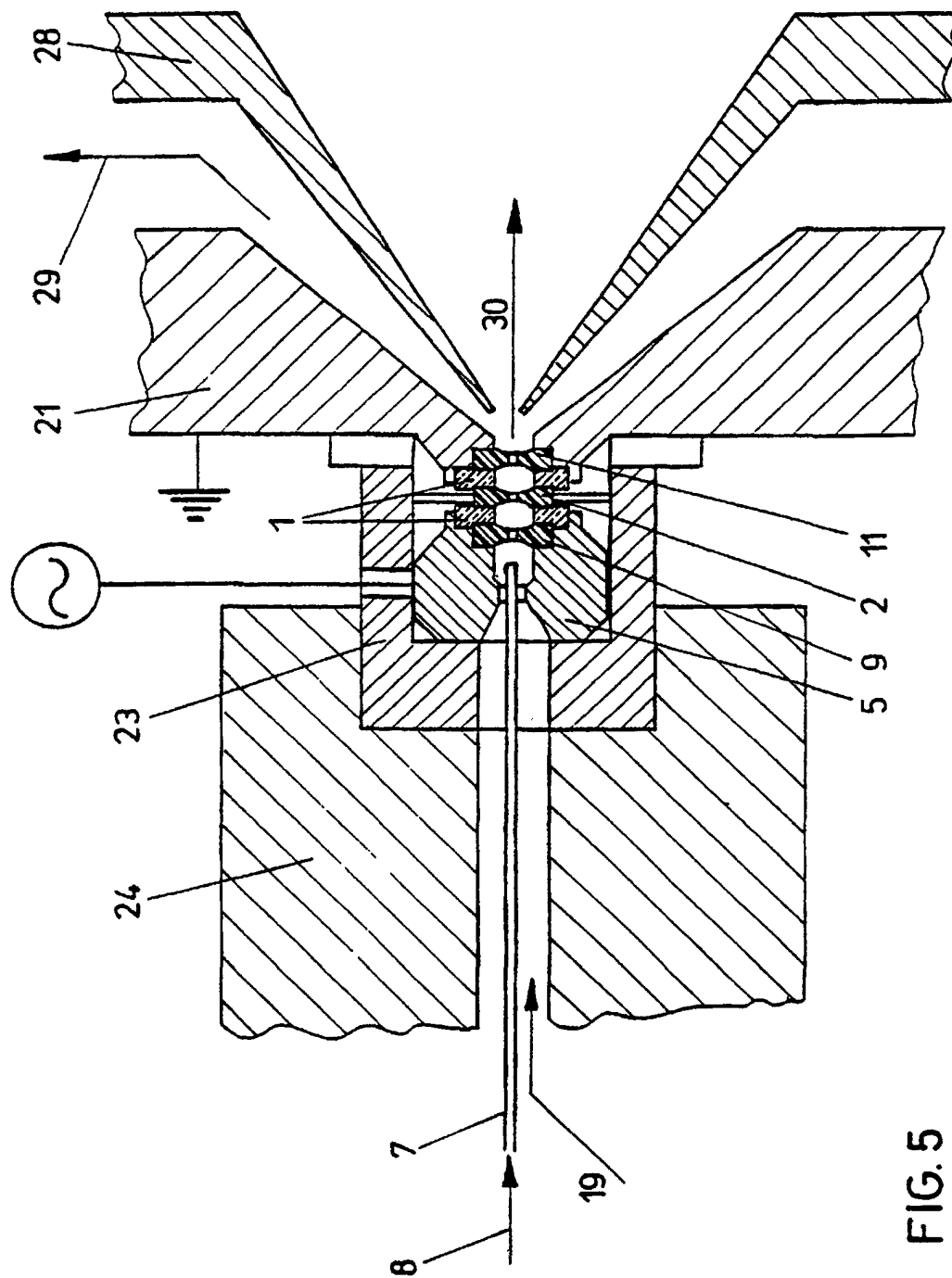


FIG. 5

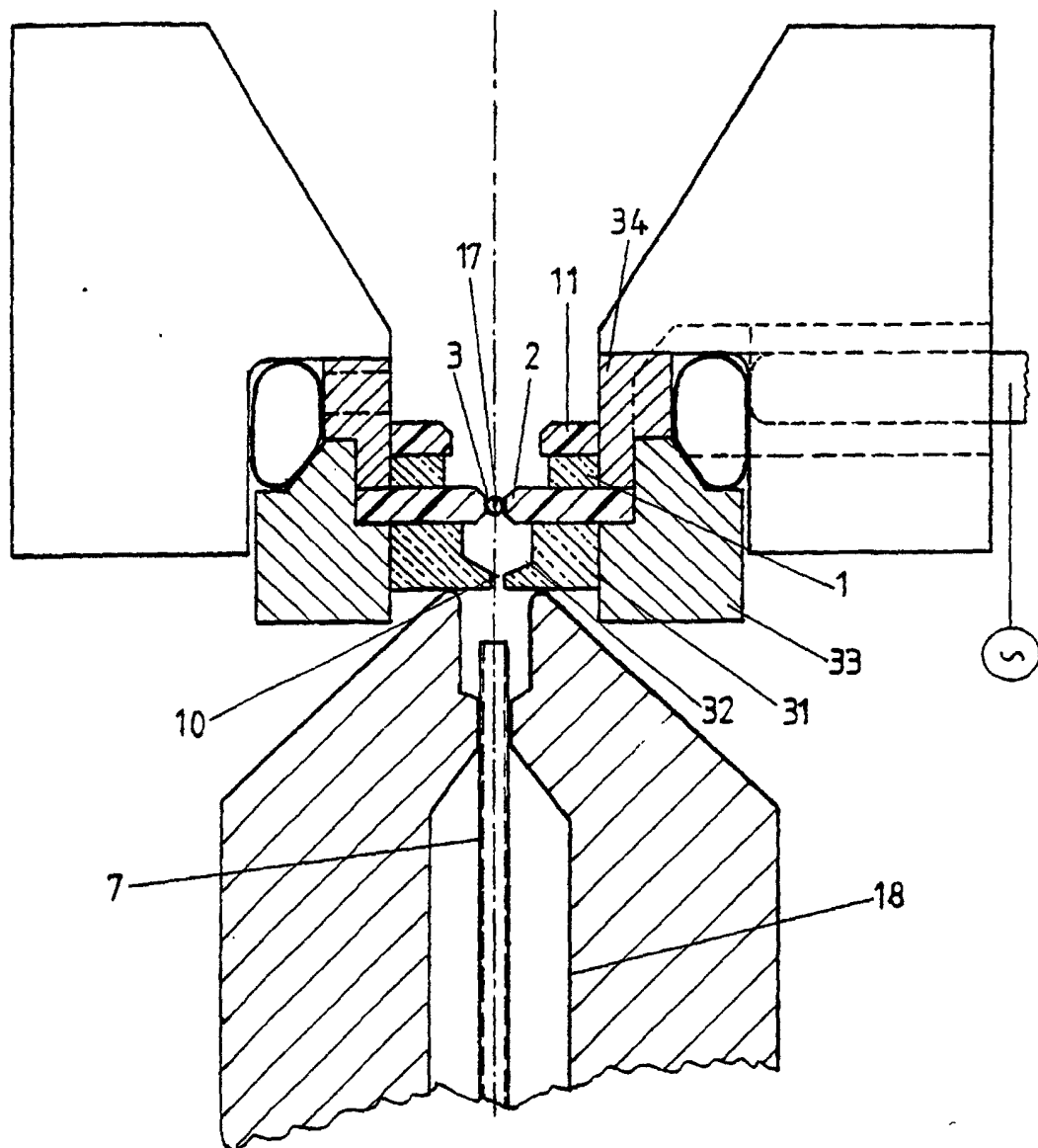


FIG. 6