



CH 678778 A5

(19)



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT

BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11)

CH 678778 A5

(51)

Int. Cl.⁵: H 01 S 3/097
H 01 S 3/22

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 2121/89

(22) Anmeldungsdatum: 06.06.1989

(30) Priorität(en): 01.07.1988 DE 3822229

(24) Patent erteilt: 31.10.1991

(45) Patentschrift
veröffentlicht: 31.10.1991

(73) Inhaber:
Messer Griesheim GmbH, Frankfurt a.M. (DE)

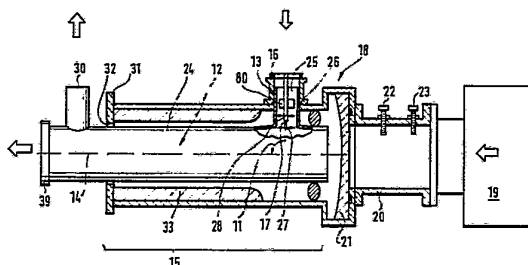
(72) Erfinder:
Lackner, Wilfried, München 60 (DE)

(74) Vertreter:
Schmauder & Wann, Patentanwaltsbüro, Zürich

(54) Verfahren zum elektrischen Anregen eines Lasergases und Gaslaser zur Durchführung des Verfahrens.

(57) Verfahren zum elektrischen Anregen eines Lasergases, insbesondere eines CO₂-He-N₂-Gemisches, welches unter einem Winkel (11), vorzugsweise senkrecht, zur axialen Lasergasentladungsstrecke (12) zugeführt wird und welches über eingekoppelte Mikrowellen gezündet wird.

Um bei der Mikrowellenanregung eines Lasergases die Ausbildung von Wandgrenzschichten zu vermeiden und eine homogene grossvolumige Glimmentladung zu erreichen, werden die Mikrowellen axial zur Lasergasentladungsstrecke im Bereich der Lasergaszuführung eingekoppelt, so dass die Mikrowellen und das gezündete Lasergas sich über die axiale Lasergasentladungsstrecke fortpflanzen.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft Verfahren zum elektrischen Anregen eines Lasergases, insbesondere eines CO₂-He-N₂-Gemisches, gemäss Oberbegriff der Ansprüche 1 bzw. 5 sowie Gaslaser zur Durchführung der Verfahren gemäss Oberbegriff der Ansprüche 6 bzw. 15.

Laserlicht wird häufig in einem optischen Resonator, bestehend aus mindestens zwei Spiegeln und einem laseraktiven Medium mit Hilfe von Lichtverstärkung durch stimulierte Emission erzeugt. Das laseraktive Medium wird aus angeregten atomaren Systemen, im Falle des CO₂-Lasers aus angeregten CO₂-Molekülen, gebildet. Die Anregung erfolgt häufig durch eine elektrische Entladung. Beim Zünden dieser Entladung muss die elektrische Feldstärke innerhalb des Entladungsrohres wesentlich höhere Werte annehmen, als zum Aufrechterhalten des Entladungsplasmas erforderlich ist. Treffen Mikrowellen auf das noch nicht angeregte Lasergas, so erfolgt bei ausreichender Feldstärke eine Zündung des Lasergases, so dass eine Plasmazone entsteht. Diese Plasmazone absorbiert die Mikrowellen, zusätzliche Elektronen entstehen und die Plasmazone weitet sich aus, bis bei einer bestimmten Elektronendichte, der sogenannten «cut-off-Dichte», die Mikrowellen fast vollständig in Richtung Mikrowellensender vom Plasma reflektiert werden. Dabei wächst zwischen Sender und Plasma die elektrische Feldstärke und das Plasma dehnt sich weiter in Richtung Mikrowellensender aus. Dieser Vorgang setzt sich solange fort, bis die Mikrowelle die Gefässwand oder das Mikrowelleneintrittsfenster erreicht hat.

Die für das Einsetzen der Reflektion wichtige «cut-off-Dichte» ist eine Funktion der Mikrowellenfrequenz und der Stossfrequenz zwischen Elektronen und Molekülen. Bei Erreichen dieser «cut-off-Dichte» ist ein Endzustand erreicht, bei der die Mikrowellen in der Wandgrenzschicht völlig absorbiert werden und nicht mehr in den Entladungsraum vordringen können. Die Wandgrenzschicht heizt sich immer mehr auf, was häufig zur Beschädigung des dielektrischen Entladungsrohres und des Mikrowellenfensters führt.

Der Publikation «Schock, W., Laser-Kolloquium 85, 13 DFVLR-Institut für Technische Physik» entnimmt man, dass sich in der Entladungsstrecke von Gaslasern bei Mikrowellenanregung eine stark absorbierende Wandgrenzschicht mit hoher Elektronendichte ausbildet, die den Laserbetrieb normalerweise uneffizient macht. Um die Wandgrenzschicht zu vermeiden, hat die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR, Institut für Technische Physik) den Weg beschritten, die Mikrowellen in eine Düsenströmung mit hohem Druckgefälle einzukoppeln. Durch den Aufbau eines hohen Druckes hinter dem dielektrischen Fenster wird eine Zündung in diesem Bereich vermieden. Die Zündung des Lasergases findet im Niederdruckbereich hinter der Düse statt. Bei einer Mikrowellenleistung von 4.75 KW kann dabei maximal eine kontinuierliche CO₂-Laserleistung von 340 W

bei 7% Wirkungsgrad erreicht werden. Da das Lasergas in Fortpflanzungsrichtung der Mikrowellen strömt und der Resonator senkrecht zum inhomogen sich ausbildenden laseraktiven Medium steht und davon nur einen Teil umfasst, ist der Wirkungsgrad dieser Anordnung gering. Die gesamte Anlage ist wegen des erforderlichen grossen Massenstromes und wegen der hohen Druckdifferenzen sehr aufwendig und kostspielig.

Aus einem Artikel der Zeitschrift mit dem Titel «Journal of Applied Physics» 49 (7) Juli 1978, «Lasergeneration by pulsed 2,45-GHz microwave excitation of CO₂» von Handy und Brandelik, Seiten 3753 bis 3756 ist ein Verfahren zur Mikrowellenanregung eines Gaslasers bekannt, was zu einem gattungsmässig ähnlichen Gaslaser führt. Bei diesem Gaslaser durchdringen die Mikrowellen senkrecht zur Lasergasströmung das Lasergas, welches an einem senkrecht zur Mikrowelleneinkopplung angeordneten Entladungsrohreingang einströmt und an einem senkrecht zur Mikrowelleneinkopplung angeordnetem Entladungsrohrausgang ausströmt. Aufgrund dieser Ausbildung der Anordnung liegt das aufgeheizte Plasma an der dielektrischen Entladungsrohrwand an und bildet hier eine stark absorbierende Wandgrenzschicht aus. Dies führt zu einem geringen Wirkungsgrad des Gaslasers und erfordert eine Kühlung mit auf 200 K vorgekühltem Stickstoff.

Aufgabe der Erfindung ist es, Verfahren und Gaslaser der eingangs genannten Art so auszubilden, dass bei einer Mikrowellenanregung die oben erwähnten Wandgrenzschichten vermieden und eine homogene grossvolumige Glimmentladung erreicht werden.

Die Aufgabe wird gelöst:

a) bei den eingangs genannten Verfahren durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 bzw. 5; und

b) bei den eingangs genannten Gaslasern zur Durchführung der Verfahren durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 6 bzw. 15.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Verfahren und der Gaslaser sind in den abhängigen Ansprüchen 2 bis 4 sowie 7 bis 14 und 16 beschrieben.

Es wird also erreicht, dass das gezündete Lasergas sich mit den Mikrowellen in Richtung der optischen Achse und damit in Richtung der Lasergasentladungsstrecke ausbreitet. Die Entladungsstrecke wird dabei an diejenige Stelle in einem abgeschlossenen Mikrowellen-Hohlleiter gebracht, wo das elektrische Feld hohe Werte aufweist. Ein- und Ausströmstelle des Lasergases sind vorzugsweise so angelegt, dass das Mikrowellenfeld nicht entweichen kann.

Durch die vorteilhafte Einkopplung der Mikrowellen in Richtung der optischen Achse des Resonators in Verbindung mit der senkrecht dazu angeordneten Lasergaszuführung in der Ausführung eines Koaxialhohlleiters der Länge $\lambda/4$ werden die einfallenden Mikrowellen vorteilhaft durch einen Kurzschluss reflektiert und finden am Ort der Spitze eines in der Lasergaszuführung angeordneten Zünd-

stiftes eine erhöhte elektrische Feldstärke vor. Dadurch kann an der Spitze des Zündstiftes die Zündung der Entladung eingeleitet werden. Es entsteht am freien Ende des Zündstiftes ein Plasma, welches vorteilhaft von der Strömung in die Lasergasentladungsstrecke transportiert wird. Das in die Entladungsstrecke transportierte Plasma absorbiert vorteilhaft jetzt die Mikrowellen in der Entladungsmitte, nicht in Wandnähe und hält den Anregungsprozess aufrecht. Durch geeignete Formgebung des Hohlleiters gelingt es, den mit der Absorption der Mikrowelle verbundenen Leistungs- und Feldabfall in Strömungsrichtung aufzufangen.

Dadurch, dass die Querabmessung des abgeschlossenen Hohlleiters so gewählt wird, dass die Wellenlänge der Mikrowellen viel grösser als die doppelte Länge der Entladungsstrecke ist, wird vorteilhaft erreicht, dass die elektrische Anregung in Strömungsrichtung nahezu konstant bleibt. Hierzu wird vorteilhaft für rechteckige Hohlleiter die Breite des Hohlleiters bis an die «cut-off-Breite» verringert, bei runden Hohlleitern bis an den «cut-off-Durchmesser».

Die «cut-off-Breite» entspricht der halben Wellenlänge der Mikrowellen im freien Raum für den «cut-off-Durchmesser» gilt $0,58 \times \text{Wellenlänge}$ im freien Raum. Dadurch, dass vorteilhaft die Lasergasentladungsstrecke mit der optischen Achse des Resonators zusammenfällt, liegt das gesamte angeregte Lasergas in dem optischen Resonator. Durch Optimierung des Lasers entsteht vorteilhaft eine homogene Entladung über den Querschnitt des Laserstrahles verteilt.

Durch die Verwendung preiswerter Mikrowellensender, insbesondere durch den vorteilhaften Einsatz von Mikrowellenherdsendern zur Anregung des Gaslasers wird der Betrieb dieses Lasers effektiver, umweltfreundlicher und wirtschaftlicher. Das System besitzt wegen des hohen Wirkungsgrades des Mikrowellensenders und wegen des Fehlens der Belastungswiderstände eine hohe Effizienz. Der Wirkungsgrad dieses im Mikrowellenbereich angeregten Gaslasers erreicht Werte bis 30%. Dabei ist der Druck in der Entladung zur Erzielung einer hohen Leistungsdichte und zur Vereinfachung der Gasumwälzung auf höhere Werte als bei Gleichstrom- oder Hochfrequenzanregung einstellbar. Vorteilhaft ist, dass ein Mikrowellensender mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad eingesetzt werden kann, wobei die für den Zündvorgang erforderlichen Bauteile kostengünstig sind. Vorteilhaft ist, dass der Lasergaskreislauf wegen des kompakten Aufbaus und des speziellen Gaseinlaufes nur einen geringen Strömungswiderstand aufweist, wodurch die Gasumwälzung vereinfacht wird. Es sind keine Hochleistungsumwälzpumpen mit grosser Lärmentwicklung erforderlich. Vorteilhaft ist, dass keine Hochspannungsgefahr besteht, da das Gehäuse des Senders geerdet ist und keine hochspannungsführenden Bauteile direkt berührt werden können und ausserdem die Hochspannung um den Faktor 5 niedriger ist als bei Gleichstromlasern ähnlicher Bauart. Mit einem solchen mikrowellenangeregten Gaslaser sind Ausgangsleistungen bis in den Multikilowatt-Bereich erreichbar. Der mi-

krowellenangeregte Gaslaser kann vorteilhaft im kontinuierlichen oder gepulsten Betrieb arbeiten. Im Pulsbetrieb lässt sich in einfacher Weise eine Pulsüberhöhung in Gestalt eines Superpulses realisieren. Die Erfindung ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel anhand eines bevorzugt eingesetzten Hochleistungslasers beschrieben. Mit Hochleistungslaser wird hierbei ein Laser bezeichnet, welcher bevorzugt zur Materialbearbeitung, insbesondere zum Schweißen, Schneiden, Perforieren oder Oberflächenveredeln eingesetzt werden kann. Als Lasermedium dient ein schnellströmendes Helium-Kohlendioxid-Stickstoffgemisch, das nach dem Zünden bei einem Druck von beispielsweise 50 Millibar brennt. Selbstverständlich kann das Verfahren und die Vorrichtung nach der Erfindung auch bei den im infraroten Spektralbereich arbeitenden Lasern, beispielsweise den CO-, HCN- oder HF-Gaslasern bei entsprechendem Druckbereich vorteilhaft angewendet werden.

Bei einer vorteilhaften Ausbildung eines axial schnell geströmten Gaslasers besteht das Entladungsmodul aus einem Hohlleiter mit der laseraktiven Zone darin, vorzugsweise in Richtung der optischen Laserachse angeordnet, bei dem vorzugsweise im Bereich der Mikrowelleneinkopplung das Lasergas unter einem Winkel zur optischen Achse, vorzugsweise einem rechten Winkel einströmt und beim Verlassen der laseraktiven Zone unter einem Winkel zur optischen Achse, vorzugsweise einem rechten Winkel ausströmt. Der Ort der Mikrowelleneinkopplung in den Resonator ist gekennzeichnet durch ein Mikrowellenfenster, vorzugsweise durch einen bezüglich Laserstrahlung hochreflektierenden aber bezüglich Mikrowellenstrahlung transparenten Spiegel, vorzugsweise einem dielektrischen End- oder Umlenkspiegel, vorzugsweise aus beispielsweise Zinkselenid (ZuSe), Galliumarsenid (GaAs) oder Silicium (Si), der den Bereich niedrigen Druckes im Resonator vom Bereich des Umgebungsdruckes trennt. Im Bereich des Umgebungsdruckes des Mikrowellenfensters setzt sich der Hohlleiter zur optischen Laserachse geneigt, vorzugsweise dazu koaxial über Mikrowellenanpass-elemente bis zum Einkoppelort der Mikrowelle durch mindestens einen Mikrowellensender fort. Durch die vorzugsweise koaxiale Anordnung von Entladungsmodul und Mikrowellensender, d.h. Hohlleiter- und Resonatorachse fallen zusammen, wird ein kompakter Aufbau eines mikrowellenangeregten Gaslasers erreicht. Besondere Vorteile entstehen bei dieser auf einer Längsachse vorgesehenen Anordnung von Mikrowellensender und Resonator beispielsweise, wenn der Hohlleiter für die Einkopplung der Mikrowellen als Resonator ausgebildet ist.

Um die Mikrowellen nach aussen abzuschirmen, ist ein elektrisch abgeschlossener Koaxialhohlleiter als Gaseinströmung vorgesehen. Ein Zündstift trägt zusätzlich zur Formung der Strömung einen dielektrischen Körper, der so ausgelegt ist, dass einmal der Querschnitt des Koaxialhohlleiters für die Strömung nicht zu sehr verengt wird und zum anderen im dielektrischen Entladungsrohr eine mit Wirbeln behaftete Strömung entsteht.

Unter Koaxialhohlleiter wird ein Hohlleiter mit

elektrisch leitendem Mantel mit beispielsweise rechteckigem oder rundem Querschnitt verstanden, in dem ein Innenleiter angeordnet ist.

In vorteilhafter Ausbildung ist beim axial schnell geströmten Typ innerhalb der Hohlleiter konzentrisch ein vorzugsweise dielektrisches Entladungsrohr mit L-Verzweigung angeordnet, dessen Einlauf für das Lasergas in den Koaxialhohlleiter mit z.B. kreisförmigem Querschnitt hineinreicht. Durch die Anordnung eines dielektrischen Entladungsrohres innerhalb der Hohlleiter wird das angeregte Lasergas in definierter Weise eingeschlossen.

Durch die Anordnung einer elastischen Dichtung zwischen Koaxialhohlleiter und Einlauf des dielektrischen Entladungsrohres wird vorteilhaft eine Abdichtung gegenüber dem höheren Umgebungsdruck erreicht.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass der gleichzeitig als Gaseinlass dienende Koaxialhohlleiter eine Länge besitzt, die 1/4 der Wellenlänge im Koaxialhohlleiter entspricht und am elektrisch abgeschlossenen Ende des Koaxialhohlleiters der Kurzschluss als metallischer Zündstifthalter ausgebildet ist, der einmal den erforderlichen Gasdurchsatz erlaubt, die Mikrowelle nach aussen abschirmt und mindestens einen Zündstift trägt. Der Zündstift ist vorteilhaft in seiner Eintauchtiefe im Koaxialhohlleiter verstellbar und weist vorzugsweise zu dem elektrisch abgeschlossenen Ende einen grösseren Durchmesser auf als an seinem freien Ende. Dabei bestimmt vorteilhaft der zum Kurzschluss weisende grössere Durchmesser des Zündstiftes die in den Koaxialhohlleiter einfallende Mikrowellenenergie, während das durchmesserkleinere freie Ende die Zündfeldstärke bestimmt. Über das Verstellen der Eintauchtiefe des Zündstiftes wird die Zündfeldstärke optimiert.

Der dielektrische Strömungskörper ist vorteilhaft so ausgelegt, dass die Strömung die Wandzone des Einkopplungsbereichs kühlt, in der Nähe des Zündstiftes ein die Zündung förderndes Totwasser erzeugt und durch Turbulenz im dielektrischen Entladungsrohr eine Homogenisierung des Temperaturprofils bewerkstelligt.

Dadurch, dass die Breite des rechteckigen Hohlleiters durch keilförmige metallische Einsätze ungefähr auf die Abmessung der oben eingeführten «cut-off-Breite» reduziert wird, wird vorteilhaft die Wellenlänge der Mikrowellen innerhalb des Hohlleiters bei Erhöhung des elektrischen Feldes vergrössert, so dass einerseits Wandgrenzschichten in Resonatorlängsrichtung vermieden werden, andererseits werden durch die keilförmigen Einsätze, die durch die vorangegangene Absorption der Mikrowellen im hinteren Teil reduzierte Leistung und die damit hervorgerufene Feldstärkeverringerng kompensiert.

Dadurch, dass weiterhin profilierte Metallstäbe von definierten Abmessungen zur Formung des elektrischen Felds an der Innenwand der Breitseite des rechteckigen Hohlleiters angebracht sind und die Metallstäbe eine kleinere Breite aufweisen als der Entladungsrohrdurchmesser, werden vorteilhaft Wandgrenzschichten in Resonatorquerrichtung vermieden. Das elektrische Feld wird in der

Mitte des Entladungsrohres verstärkt und zentriert.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass ein zylindrischer Hohlleiter ohne dielektrisches Entladungsrohr direkt als Entladungsraum benutzt wird. Hierdurch wird ein einfacher, kostengünstiger Aufbau erreicht, dessen metallischer Aussenbereich in einfacher Weise mit einer Flüssigkeit, beispielsweise Wasser, gekühlt werden kann. Hierbei wird der Niederdruckbereich des Entladungsraumes vorteilhaft mit einem für die Mikrowellen transparenten dielektrischen Fenster, das hier vorteilhaft zugleich einen für Laserstrahlung hochreflektierenden Spiegel darstellt, vakuumdicht abgeschlossen. Zur Vermeidung der Zündung an der Niederdruckseite hinter dem Spiegel sollte der Raum unmittelbar hinter dem Fenster grösser als die Abmessungen des rechteckigen Hohlleiters für die Einkopplung der Mikrowellen sein. Weiter ist durch die Justage der oben erwähnten impedanzangepassten Hohlleiterstrecke sicherzustellen, dass auf der dem Niederdruck zugewandten Fensterseite ein niedriges Feld vorliegt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird das Lasergas über den wesentlichen Bereich der Lasergasentladungsstrecke transversal zu- und abgeführt, wobei die in die auch hier als Koaxialhohlleiter ausgeführte Lasergaszuführung einfallenden Mikrowellen an einem Kurzschluss reflektiert werden und im Bereich mehrerer Zündstifte, dort wo das Lasergas der Entladungsstrecke zugeführt wird, eine elektrische Zündfeldstärke über die gesamte Lasergasentladungsstrecke erzeugen. Durch dieses Verfahren kann der Gaslaser vorteilhaft mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten bei gleicher Wärmeabfuhr betrieben werden. Vorteilhaft entstehen nur geringe Strömungsverluste beim Umwälzen. Es können Gebläse verwendet werden, die nur eine geringe Druckdifferenz aufbringen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt eines Entladungsmoduls des axialgeströmten mikrowellenangeregten kontinuierlich bzw. gepulst arbeitenden Gaslasers mit axialer Mikrowelleneinkopplung in schematischer Darstellung, dem ein rechteckiger Hohlleiter und ein dielektrisches Entladungsrohr zur Aufnahme der Entladungsstrecke, ein Koaxialhohlleiter mit Zündstift und Zündstifthalter als Einlauf für die Gasströmung und ein Mikrowellensender zugeordnet sind;

Fig. 2 einen Querschnitt durch die rechteckige Entladungsstrecke nach Fig. 1 mit zwei profilierten Metallstäben und einem abstimmbaren impedanzangepassten Hohlleiter zum Anschluss des Mikrowellensenders;

Fig. 3 einen Längsschnitt eines Entladungsrohres des axialgeströmten mikrowellenangeregten kontinuierlich bzw. gepulst arbeitenden Gaslasers, bestehend aus einem zylindrischen Hohlleiter zur direkten Aufnahme der mikrowellenangeregten Lasergasentladung mit tangentialem Gaseinlauf;

Fig. 4 einen Längsschnitt durch einen Entla-

dungsraum eines transversalgeströmten mikrowellenangeregten kontinuierlich bzw. gepulst arbeitenden Gaslasers, der einen rechteckigen Hohlleiter mit innen angeordneten profilierten Metallstäben als Entladungsraum aufweist und dem ein rechteckiger Koaxialhohlleiter als Einlauf für die Gasströmung, Zündstifte und Gasauslassmetallnetz zugeordnet sind;

In der Fig. 1 ist ein Entladungsmodul 18 des axialgeströmten, mikrowellenangeregten Gaslasers zur Aufnahme der auf der optischen Achse 14 des Resonators liegenden Lasergasentladungsstrecke 12 dargestellt. Das Entladungsmodul 18 weist eine Lasergaszuführung 13 auf, welche unter einem Winkel 11 von vorzugsweise 90° zur Lasergasentladungsstrecke 12 und einem der Lasergaszuführung 13 zugeordneten Arm besteht. Den Lasergastransport von der Lasergaszuführung 13 zu der Lasergasabführung 30 übernimmt eine nicht näher beschriebene Pumpe. Vorzugsweise ist der Gastransport als in sich geschlossener Lasergaskreislauf ausgebildet.

Der die Entladung aufnehmende Arm ist als Hohlleiter mit rechteckigem oder rundem Querschnitt und die Lasergaszuführung 13 als Koaxialhohlleiter ausgebildet und dienen bei einem Ausführungsbeispiel zur konzentrischen Aufnahme eines dielektrischen Entladungsrohres 24.

Axial zur Lasergasentladungsstrecke 12 ist im Bereich der Verzweigung der Lasergaszuführung 13 ein Hohlleiter 20 mit rechteckförmigem Querschnitt angeschlossen, der mit dem Mikrowellensender 19 verbunden ist. Der Mikrowellensender 19 ist vorteilhaft als ein an sich bekannter Mikrowellenherdsender mit einer Frequenz von 2,45 Gigahertz ausgebildet.

Über eine nicht näher dargestellte Antenne des Mikrowellensenders 19 werden die Mikrowellen in den impedanzangepassten, mit den mit zwei Schrauben 22, 23 abstimmbaren rechteckigen Hohlleiter 20 abgestrahlt und über einen zwischen den einfallenden Mikrowellen angeordneten Umlenk- oder Endspiegel 21 das Lasergas im Bereich der Lasergaszuführung 13 des Entladungsmoduls 18 angeregt.

Die Lasergaszuführung 13 ist an ihrem elektrisch abgeschlossenen Ende mit einem metallischen Kurzschluss 16 versehen, der als Zündstifthalter ausgebildet ist und der den dielektrischen Strömungskörper 80 trägt. Der Zündstifthalter trägt mindestens einen in die Lasergaszuführung 13 eintauchenden Zündstift 17. Der Zündstift 17 ist vorzugsweise in seiner Eintauchtiefe in der Lasergaszuführung 13 verstellbar und weist vorzugsweise an seinem zum Kurzschluss 16 weisenden Ende einen grösseren Durchmesser 27 auf als an seinem freien Ende 28. Zwischen der Lasergaszuführung 13 und dem Einlauf 25 des Entladungsrohres 24 ist eine Dichtung 26 angeordnet.

Der als Hohlleiter ausgebildete Entladungsmodul 18 ist an seiner zu dem Auskoppelspiegel 39 gerichteten Seite mit einer Endplatte 31 verschlossen, die den Austritt der Mikrowellen verhindert. In der Endplatte 31 ist eine zentrische Durchtrittsöffnung 32 zum Durchführen des dielektrischen Entladungs-

rohres 24 vorgesehen. An der zur Lasergaszuführung 13 parallel verlaufenden Wand 40 des Entladungsmoduls 18 und der dieser Wand gegenüberliegenden Wand 41 sind keilförmige metallische Einsätze 33 innerhalb des rechteckigen Hohlleiters 18 angeordnet, die die Breite des Hohlleiters 18 bis nahezu auf die «cut-off-Breite» reduzieren. Die keilförmigen metallischen Einsätze 33 verlaufen ausgehend von dem Bereich der Verzweigung unter einem ansteigenden Winkel zu der Endplatte 31, so dass innerhalb des Hohlleiters 18 die Wellenlänge der Mikrowellen grösser als die Linearabmessung 15 der doppelten Lasergasentladungsstrecke 12 ist.

An den zu den Wänden 40, 41 senkrecht verlaufenden Wänden 42, 43 des Hohlleiters 18 sind profilierte metallische Einsätze 33 mit halbkreisförmiger Oberfläche angeordnet. Die profilierten Einsätze 33 weisen eine kleinere Breite 44 als der Entladungsrohrdurchmesser auf und verlaufen parallel zur optischen Achse 14 unter- bzw. oberhalb des Entladungsrohres 24.

In der Fig. 3 ist ein Entladungsmodul 18 des Gaslasers im Längsschnitt dargestellt, der aus einem zylindrischen Hohlleiter 18 mit L-Verzweigung zur direkten Aufnahme der Lasergasentladungsstrecke 12 besteht. Im Inneren des zylindrischen Hohlleiters 18 sind profilierte Einsätze 33 zur Formung des elektrischen Feldes angeordnet. Zur Erzeugung einer Drallströmung in der Mikrowellenentladung ist die Lasergaszuführung 13 tangential angeordnet. Der Zündstift 17 am Gaseinlauf taucht bei diesem Entladungsmodul in den Hohlleiter 18 ein und erzeugt zusammen mit Zündstiften 17 die in der gemeinsamen Ebene von Lasergaszuführung 13 und Mikrowelleneinkopplung angeordnet sind, eine Zündfeldstärke zum Anregen des Lasergases. Über den rechteckigen Hohlleiter 20 mit der impedanzangepassten Hohlleiterstrecke werden die Mikrowellen in das als Hohlleiter mit vorzugsweise rundem Querschnitt ausgebildete Entladungsmodul eingekoppelt. Zwischen dem Hohlleiter 20 und der Lasergasentladungsstrecke 12 ist der Niederdruckbereich (Entladungsmodul 18) über einen vakuumdichten Abschluss, bestehend aus einem Fenster 34, welches in zwei Rundflanchen eingesetzt ist, gegenüber der Atmosphäre abgedichtet. Zur Vermeidung der Zündung auf der Niederdruckseite unmittelbar am Fenster 34 ist der zur Lasergasentladungsstrecke 12 gerichtete Raum 35 hinter dem Fenster 34 grösser als der Querschnitt des Hohlleiters 20. Vorteilhaft ist das Fenster ein Umlenk- oder Endspiegel des Resonators.

In der Fig. 4 ist ein Entladungsraum 37 eines transversal (Pfeilrichtung 36) geströmten mikrowellenangeregten Gaslasers mit rechteckigem Hohlleiter zur Aufnahme der Lasergasentladungsstrecke 12 dargestellt. Er besteht aus folgenden Teilen: einem rechteckigen Hohlleiter, der gleichzeitig den Entladungsraum 37 bildet; einer speziellen Lasergaszuführung 13 mit Öffnungen 38 für den Gaseinlass, die als Hohlleiter mit rechteckförmigem Querschnitt ausgebildet ist und sich nahezu über den gesamten Entladungsraum 37 erstreckt; einem Kurzschluss 16 der die Zündstifte 17 und die

Zündstifthalter enthält und durch seine konstruktiven Elemente den Austritt der Mikrowelle verhindert; einem vor der Lasergasabführung 30 angeordneten Metallnetz 46, das die Gasströmung passieren lässt, aber nicht die Mikrowellen; zwei profilierten Einsätzen 33 an den Schmalseiten des Entladungsraumes 37 zur Formung des elektrischen Feldes; einer vakuumdichten Endplatte 31 mit einer Durchtrittsöffnung 32 konzentrisch zur Laserstrahlachse, die den Einschluss des Mikrowellenfeldes garantieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zum elektrischen Anregen eines Lasergases, insbesondere eines $\text{CO}_2\text{-He-N}_2$ -Gemisches, welches unter einem Winkel (11) zur axialen Lasergasentladungsstrecke (12) zugeführt wird und welches über eingekoppelte Mikrowellen gezündet wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrowellen axial zur Lasergasentladungsstrecke (12) im Bereich der Lasergaszuführung (13) eingekoppelt werden, das Lasergas dort gezündet wird und das gezündete Lasergas mit den Mikrowellen sich in Richtung der optischen Achse und damit in Richtung der Lasergasentladungsstrecke (12) ausbreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasergasentladungsstrecke (12) mit der optischen Achse (14) des Resonators zusammenfällt und die Wellenlänge der Mikrowellen grösser als die vorzugsweise doppelte Linearabmessung (15) der Lasergasentladungsstrecke (12) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die in die Lasergaszuführung (13) einfallenden Mikrowellen an einem Kurzschluss (16) reflektiert werden und im Bereich mindestens eines Zündstiftes (17) eine elektrische Zündfeldstärke für das Lasergas erzeugen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrowellen eine Frequenz im Bereich von 2,4–2,5 GHz haben.

5. Verfahren zum elektrischen Anregen eines Lasergases, insbesondere eines $\text{CO}_2\text{-He-N}_2$ -Gemisches, welches unter einem Winkel zur axialen Lasergasentladungsstrecke zugeführt wird und welches über eingekoppelte Mikrowellen gezündet wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasergas über im wesentlichen die gesamte Lasergasentladungsstrecke (12) transversal (Pfeilrichtung 36) zu- und abgeführt wird und die axial zur Lasergaszuführung (13) einfallenden Mikrowellen an einem Kurzschluss (16) reflektiert werden und im Bereich mehrerer Zündstifte (17) eine elektrische Zündfeldstärke für das Lasergas erzeugen.

6. Gaslaser zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit einer Lasergaszuführung (13) und mit mindestens einem lasergasdurchströmtem Entladungsmodul (18) und einem Mikrowellensender (19) im Gigahertzbereich, wobei Entladungsmodul (18) und Mikrowellensender (19) über einen ersten Hohlleiter (20) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass das

Entladungsmodul (18) und der zum Mikrowellensender führende erste Hohlleiter (20) axial hintereinander angeordnet sind und in dem Entladungsmodul (18) mindestens ein Umlenk- oder Endspiegel (21) zwischen den einfallenden Mikrowellen und dem Lasergas angeordnet ist.

7. Gaslaser nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Hohlleiter (20) einen rechteckigen Querschnitt aufweist und mindestens eine Schraube (22, 23) zum Bilden einer Impedanzangepassten Hohlleiterstrecke enthält.

8. Gaslaser nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Entladungsmodul (18) als zweiter Hohlleiter mit rundem oder rechteckigem Querschnitt ausgebildet ist und die Lasergaszuführung (13) als elektrisch einseitig abgeschlossener Koaxialhohlleiter ausgebildet ist und einen Kurzschluss aufweist.

9. Gaslaser nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des zweiten Hohlleiters (18) und des Koaxialhohlleiters (13) koaxial ein dielektrisches Entladungsrohr (24) angeordnet ist und zwischen der Lasergaszuführung (13) und dem Einlauf (25) des dielektrischen Entladungsrohres (24) eine Dichtung (26) angeordnet ist.

10. Gaslaser nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Koaxialhohlleiter (13) als Zündstifthalter ausgebildet ist und mindestens einen in seiner Eintauchtiefe im Koaxialhohlleiter verstellbaren Zündstift (17) trägt, der am Kurzschluss (16) einen grösseren Durchmesser (27) aufweist, als an seinem freien Ende (28).

11. Gaslaser nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Hohlleiter (18) an seiner zur Lasergasabführung (30) weisenden Seite mit einer Endplatte (31) verschlossen ist, die die Mikrowellen nach aussen abschirmt und zentrisch in der Endplatte (31) eine Durchtrittsöffnung (32) zum Durchführen des Entladungsrohres (24) vorgesehen ist.

12. Gaslaser nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des zweiten Hohlleiters (18) metallische Einsätze (33) angeordnet sind, die die Breite dieses zweiten Hohlleiters (18) ungefähr auf die Abmessung der «cut-off-Breite» reduzieren und das elektrische Feld formen.

13. Gaslaser nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Hohlleiter (18) mit einem dielektrischen Fenster (34) abgeschlossen ist und der Querschnitt des zur Lasergasentladungsstrecke (12) gerichteten Raumes (35) hinter dem Fenster (34) grösser ist als der Querschnitt des ersten Hohlleiters (20).

14. Gaslaser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenk- oder Endspiegel (21) das dielektrische Fenster (34) ist.

15. Gaslaser zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 5, mit mindestens einem lasergasdurchströmten Entladungsraum (37) und einem Mikrowellensender (19) im Gigahertzbereich, wobei Entladungsraum (37) und Mikrowellensender (19) über einen ersten Hohlleiter (20) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Entladungsraum (37) aus einem zweiten Hohlleiter mit rechteckförmigem Querschnitt besteht, an den

eine sich über nahezu den gesamten Entladungsraum (37) erstreckende Lasergaszuführung (13) angeschlossen ist, welche als weiterer Hohlleiter ausgebildet ist und der erste Hohlleiter (20) für die Einkopplung der Mikrowellen axial zu dem Entladungsraum (37) angeordnet ist.

16. Gaslaser nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasergaszuführung (13) als rechteckiger weiterer Hohlleiter ausgebildet ist und mit einem Kurzschluss (16) versehen ist, welcher Öffnungen (38) für den Einlauf der Gasströmung aufweist und als Zündstifthalter ausgebildet ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

7

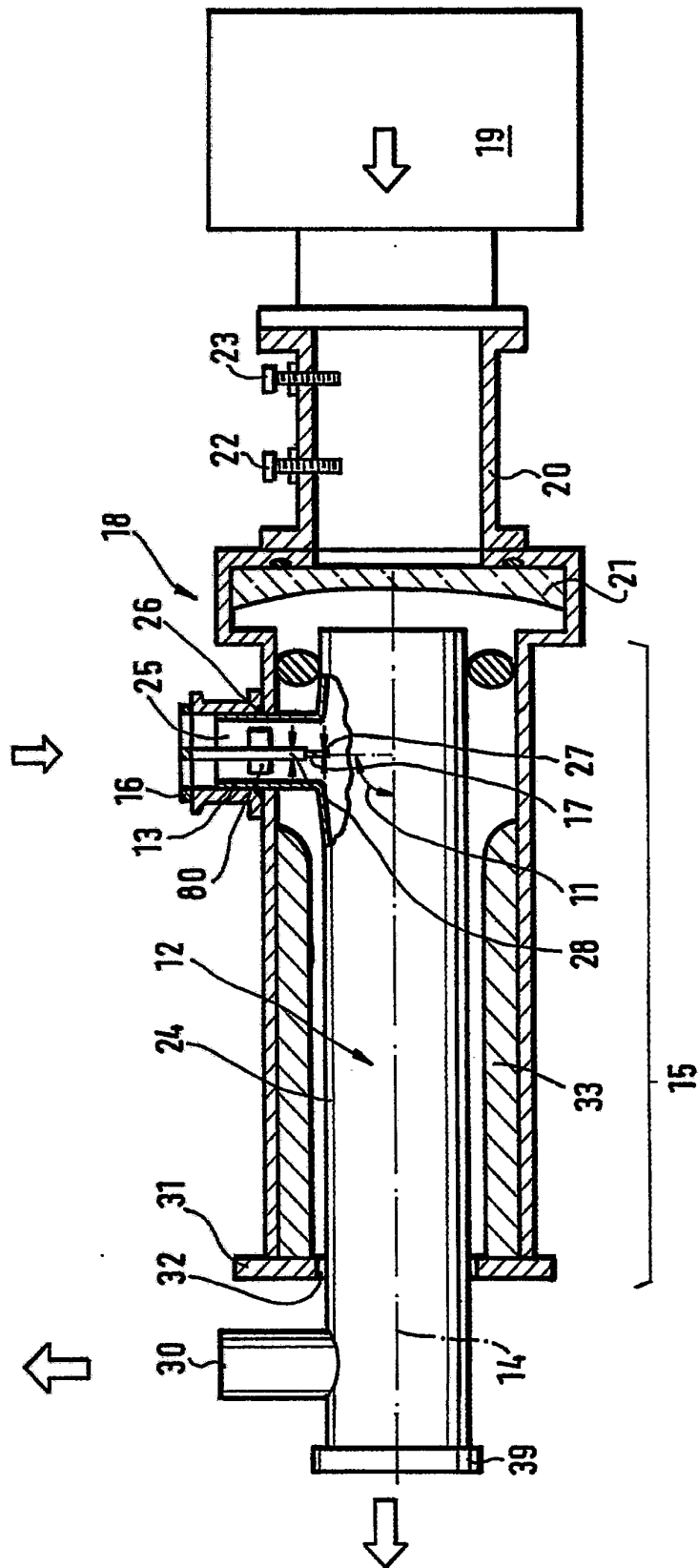


FIG. 1

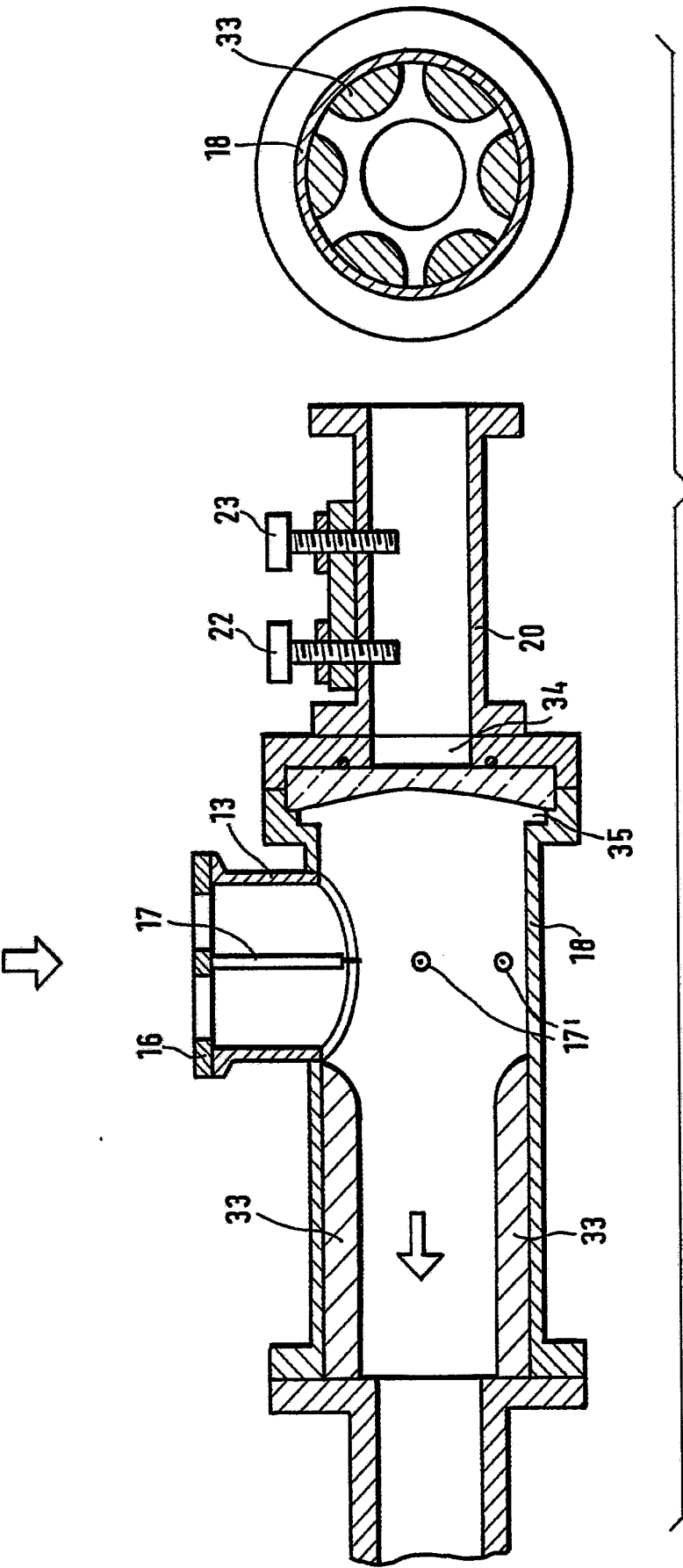


FIG. 3

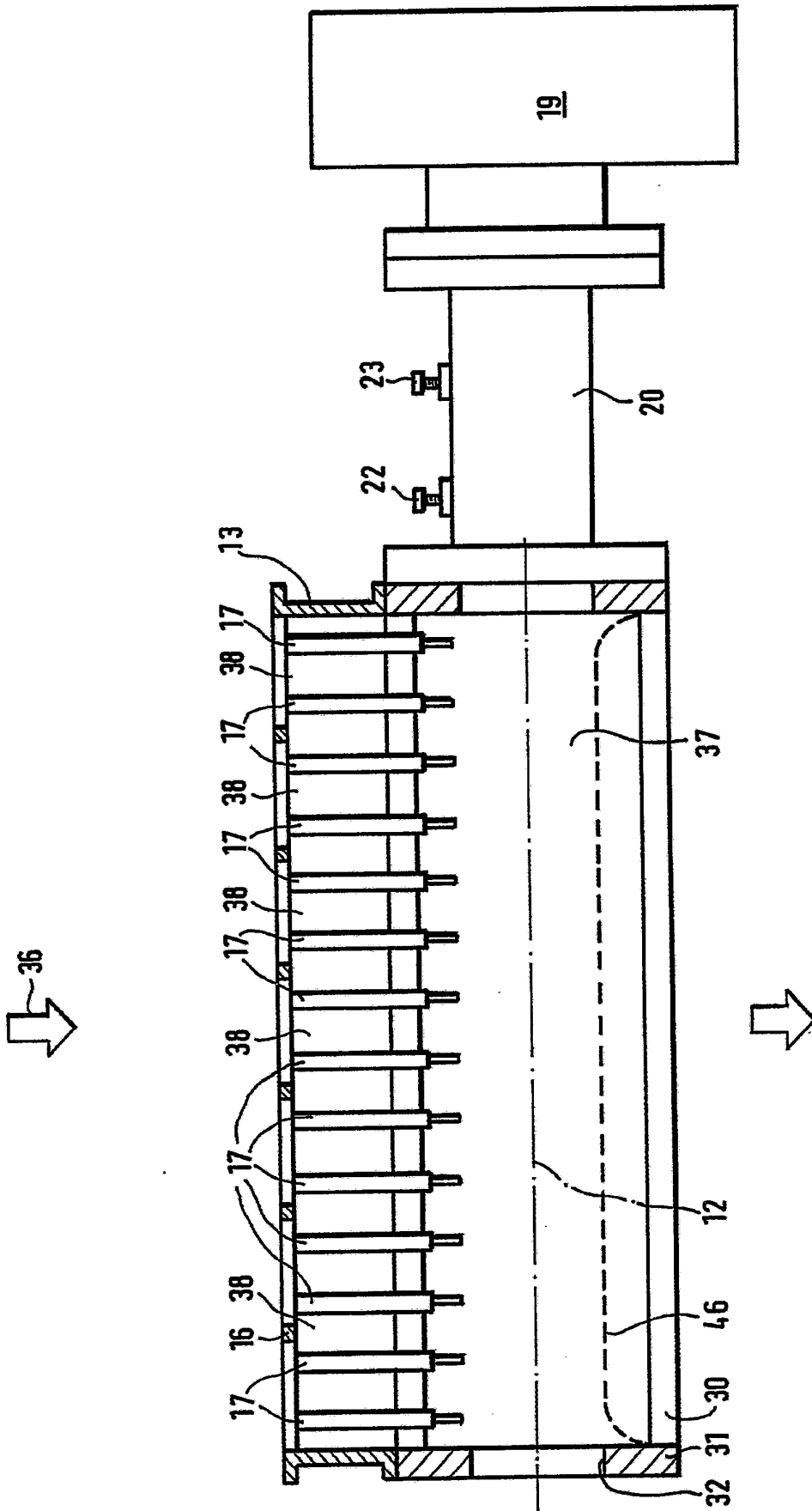


FIG. 4