

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 874 537 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
17.12.2003 Bulletin 2003/51

(51) Int Cl.7: **H05H 1/46**

(21) Numéro de dépôt: **98400974.6**

(22) Date de dépôt: **21.04.1998**

(54) **Dispositif d'excitation d'un gaz par plasma d'onde de surface et installation de traitement de gaz incorporant un tel dispositif**

Vorrichtung zur Gasanregung durch Oberflächenwellen-Plasma und diese Vorrichtung enthaltende Gasanregungsanlage

Device for gas excitation by means of a surface-wave plasma and gas treatment installation including such device

(84) Etats contractants désignés:
BE DE FR GB IT NL

(30) Priorité: **25.04.1997 FR 9705147**

(43) Date de publication de la demande:
28.10.1998 Bulletin 1998/44

(73) Titulaire: **L'air Liquide, S.A. à Directoire et Conseil de Surveillance pour l'Etude et l'Exploitation des Procédés Georges Claude 75321 Paris Cedex 07 (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Moisan, Michel**
Outremont, Q.C. H2V 2Z1 (CA)

• **Etemadi, Roxane**
Montreal, Q.C. H3T 1W5 (CA)
• **Rostaing, Jean-Christophe**
78530 Buc (FR)

(74) Mandataire: **Vesin, Jacques et al**
L'AIR LIQUIDE, S.A.,
Service Propriété Industrielle,
75, Quai d'Orsay
75321 Paris Cédex 07 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 197 843 **EP-A- 0 415 122**
EP-A- 0 739 155

EP 0 874 537 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention est relative à un dispositif d'excitation d'un gaz, du type surfaguide, dans lequel le gaz est excité par un plasma d'onde de surface, en particulier à pression atmosphérique.

[0002] L'invention se rapporte également à une installation de traitement d'un gaz incorporant un tel dispositif d'excitation.

[0003] Un autre dispositif exciteur efficace pour cette application est connu sous l'appellation "surfatron-guide".

[0004] Un exemple d'application particulièrement intéressante de ces types de dispositifs est le traitement par plasma d'un gaz chimiquement non réactif contenant des impuretés constituées de composés gazeux perfluorés à effet de serre ou de composés organiques volatiles.

[0005] Pour ce faire, le gaz à traiter et les impuretés qu'il contient sont placés dans un champ électrique suffisamment intense pour réaliser une décharge électrique par ionisation des molécules de gaz, provoquée par l'arrachement d'électrons des molécules du gaz initialement neutres.

[0006] Sous l'action de la décharge, les molécules du gaz sont dissociées pour former des radicaux de tailles plus petites que les molécules initiales et, par suite, le cas échéant, des atomes individuelles, ces atomes ou fragments de molécules ainsi excités ne donnant lieu à sensiblement aucune réaction chimique.

[0007] Ainsi, après passage dans la décharge, les atomes ou molécules de gaz se désexcitent et se recombinaient respectivement, pour se retrouver intacts en sortie.

[0008] Au contraire, les impuretés subissent par excitation une dissociation et une transformation irréversibles par formation de nouveaux fragments moléculaires ayant des propriétés chimiques différentes de celles des molécules initiales, qui sont dès lors susceptibles d'être extraites du gaz par un traitement ultérieur approprié.

[0009] Un surfatron-guide comporte une structure creuse en matériau électriquement conducteur comportant une première partie obturée par un piston mobile en guide d'onde formant court-circuit et une deuxième partie s'étendant perpendiculairement à la première partie et dans laquelle est monté de façon coaxiale un tube en matériau diélectrique dans lequel circule le gaz à traiter.

[0010] La deuxième partie est munie d'un piston d'accord axialement déplaçable pour l'adaptation de l'impédance du dispositif.

[0011] Ce type d'applicateur de champ électromagnétique donne satisfaction pour la création d'un plasma d'onde de surface à la pression atmosphérique.

[0012] Il présente toutefois un certain nombre d'inconvénients, notamment en raison de son coût, du fait de la plus grande complexité de sa construction.

[0013] On connaît par ailleurs un autre type de dispositif exciteur de gaz connu sous la désignation "surfaguide".

[0014] Ce type de dispositif d'excitation comporte une structure creuse formant guide d'ondes, en matériau électriquement conducteur, destinée à être raccordée à un générateur de micro-ondes munie d'un passage destiné à être traversé par un tube à décharge creux en matériau diélectrique dans lequel circule ledit gaz à exciter et d'une zone de concentration d'ondes adaptée pour concentrer le rayonnement micro-ondes produit par le générateur vers ledit tube, lors du fonctionnement du dispositif, en vue de produire un plasma d'onde de surface dans ledit gaz.

[0015] Le surfaguide est dépourvu de piston d'accord et est donc moins onéreux que le surfatron-guide. En outre, la longueur du plasma créée par le surfaguide est, à puissance égale, un peu plus élevée que celle du plasma créé par le surfatron-guide.

[0016] Toutefois, la densité de la colonne de plasma produite par le surfatron-guide est localement plus élevée que pour le surfaguide.

[0017] De plus, dans certaines conditions de fonctionnement, le surfaguide est moins efficace que le surfatron-guide, lorsqu'on utilise des tubes à décharge de diamètre supérieur à 20 mm à la fréquence de 2,45 GHz.

[0018] Par ailleurs, pour des puissances de fonctionnement élevées, il apparaît des pertes de rayonnement dans l'environnement du surfaguide, très préjudiciables au bilan énergétique du dispositif et posant en outre des problèmes de fiabilité et de sécurité.

[0019] Le but de l'invention est de pallier les inconvénients des dispositifs de l'état de la technique et de fournir un dispositif d'excitation d'un gaz moins onéreux que le surfatron-guide, et capable de travailler également à pression atmosphérique.

[0020] Elle a donc pour objet un dispositif d'excitation d'un gaz du type surfaguide, comprenant une structure creuse formant guide d'ondes, en matériau électriquement conducteur, destinée à être raccordée à un générateur de micro-ondes et munie d'un passage destiné à être traversé par un tube creux diélectrique dans lequel circule ledit gaz à exciter et d'une zone de concentration d'ondes adaptée pour concentrer le rayonnement micro-ondes produit par le générateur vers ledit tube, lors du fonctionnement dudit dispositif, en vue de produire un plasma d'onde de surface dans ledit gaz, caractérisé en ce qu'il comporte en outre au moins un manchon en matériau conducteur de blindage électromagnétique solidaire de ladite structure et s'étendant dans le prolongement dudit passage de manière à entourer ledit tube creux ledit au moins un manchon ayant une longueur au moins égale à la longueur du plasma créé dans le gaz.

[0021] Le dispositif exciteur selon l'invention peut en outre comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- ladite structure creuse formant guide d'ondes a une forme générale longitudinale et comporte une première extrémité ouverte destinée à être raccordée audit générateur de micro-ondes, une deuxième extrémité ouverte destinée à être munie de moyens formant court-circuit en guide et une zone de section rétrécie s'étendant entre lesdites première et deuxième extrémités et délimitant ladite zone de concentration des ondes ;
- ladite zone de section rétrécie comporte une partie médiane de section constante équipée dudit passage et s'étendant entre deux parties de section linéairement croissante en direction desdites extrémités ;
- ledit au moins un manchon a une longueur au moins égale à la longueur du plasma créé dans le gaz ;
- l'extrémité libre de chaque manchon porte un flasque équipé d'un trou pour le passage dudit tube diélectrique ;
- ledit au moins un manchon a une longueur égale à la somme de la longueur du plasma et de la longueur d'onde dudit rayonnement micro-onde dans le vide ;
- la paroi dudit au moins un manchon est munie d'au moins un orifice de visualisation du plasma dont les dimensions sont adaptées pour éviter le passage du rayonnement ;
- ledit au moins un manchon a une forme générale cylindrique de section au moins égale au double de la section du tube creux ;
- il comporte deux manchons s'étendant dans le prolongement l'un de l'autre, de part et d'autre de la partie médiane ;
- chaque manchon comporte une platine d'extrémité s'étendant chacune latéralement au-delà de la partie médiane en vue de la fixation desdits manchons sur ladite structure, par vissage des platines l'une sur l'autre ; et
- le diamètre du passage est supérieur au diamètre externe du tube creux.

[0022] L'invention a également pour objet une installation de traitement d'un gaz, comprenant un dispositif d'excitation du gaz raccordé à un générateur de micro-ondes et traversé par un tube creux diélectrique dans lequel circule le gaz à exciter, le dispositif comprenant des moyens pour concentrer le rayonnement micro-onde produit par le générateur vers le tube diélectrique, de manière à produire dans le gaz un plasma atmosphérique d'ionisation et d'excitation des molécules du gaz à traiter en vue de la formation de composés gazeux réactifs, l'installation comportant en outre au moins une unité de traitement des composés réactifs disposés en sortie du tube creux diélectrique, caractérisée en ce que le dispositif d'excitation du gaz est constitué par un dispositif d'excitation tel que défini ci-dessus.

[0023] D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description suivante, donnée uniquement à

titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en perspective d'un surfaguide de type classique ;
- les figures 2 et 3 sont des tableaux montrant les efficacités respectives du surfaguide de la figure 1 et d'un surfatron-guide ;
- la figure 4 est une vue schématique latérale du dispositif d'excitation selon l'invention ;
- la figure 5 est une vue de dessus du dispositif de la figure 4 ;
- la figure 6 est une vue schématique d'une installation de traitement d'un gaz utilisant le dispositif d'excitation des figures 4 et 5 ; et
- la figure 7 est un tableau montrant les efficacités respectives du dispositif exciteur selon l'invention et du surfaguide de la figure 1.

[0024] Sur la figure 1 on a représenté une vue schématique en perspective d'un surfaguide de type classique, désigné par la référence numérique générale 10.

[0025] Le surfaguide 10 est constitué principalement d'une structure creuse 12 réalisée en matériau électriquement conducteur, munie d'une première extrémité 14 destinée à être connectée à un générateur de micro-ondes (non représenté) et d'une extrémité opposée ouverte 16 destinée à être obturée par une plaque disposée transversalement par rapport à l'axe longitudinal de la structure 12 et constituant un court-circuit. Sur cette figure 1 la plaque du court-circuit n'a pas été représentée.

[0026] La paroi de la partie médiane de la structure 12 est munie d'orifices transversaux 18 pour le passage d'un tube à décharge 20 en matériau diélectrique dans lequel circule une colonne de gaz.

[0027] En fonctionnement, le rayonnement micro-ondes produit par le générateur de micro-ondes est guidé par la structure 12 qui concentre le rayonnement incident vers le tube 20 de manière à faire se propager dans celui-ci et dans le mélange gazeux ionisé qu'il contient une onde électromagnétique progressive de surface dont le champ électrique associé engendre et maintient la décharge dans la colonne de gaz.

[0028] Comme cela a été mentionné précédemment, ce type d'excitateur peut être utilisé dans le domaine du traitement par plasma d'effluents gazeux de types variés en vue de leur épuration ou de la destruction de composés perfluorocarbonés ou de composés organiques volatiles contenus dans un mélange gazeux, par excitation du mélange gazeux et traitement ultérieur adapté pour faire réagir les espèces chimiques excitées sous l'action du plasma avec un composé réactif correspondant de manière à les éliminer du gaz ou mélange gazeux incident.

[0029] Ce type d'excitateur présente toutefois, comme indiqué précédemment, un certain nombre d'inconvénients.

[0030] Tout d'abord, on voit sur la figure 2 que la puissance minimale incidente nécessaire pour obtenir une élimination à 100% de SF_6 dans un mélange gazeux constitué par exemple de SF_6 , de O_2 et d'Ar doit être supérieur à la puissance nécessaire pour obtenir une destruction à 100% avec un surfatron-guide, pour des débits identiques.

[0031] Par ailleurs, en comparant les taux de destruction obtenus dans le cas d'un mélange gazeux comportant du C_2F_6 , pour des puissances micro-ondes incidentes très voisines entre le surfaguide classique d'une part et le surfatron-guide d'autre part on constate que pour une concentration de C_2F_6 égale à 4,5%, la puissance nécessaire pour le maintien d'une décharge stable n'est que de 790 W pour les deux types d'applicateurs. Dans ces conditions le taux de destruction obtenu avec le surfaguide n'est que légèrement inférieur à celui observé dans le cas du surfatron-guide.

[0032] Toutefois, à une concentration de C_2F_6 plus élevée, égale à 8%, la puissance minimale de maintien d'une décharge stable est nettement plus élevée. Cette puissance varie peu entre les deux dispositifs, mais l'efficacité de destruction devient médiocre dans le cas du surfaguide, surtout comparé à l'excellente valeur, proche de l'unité, constatée en ce qui concerne le surfatron-guide. Corrélativement, et comme mentionné précédemment, pour ces puissances élevées, il apparaît des pertes importantes de rayonnement dans l'environnement du dispositif, ces pertes étant donc très préjudiciables au bilan énergétique de l'installation et posant des problèmes de fiabilité et de sécurité.

[0033] On a représenté sur les figures 4 et 5 un dispositif exciteur de gaz permettant de pallier ces inconvénients.

[0034] On voit sur la figure 4 que l'excitateur, désigné par la référence numérique 22, comporte une structure creuse 24 de forme longitudinale et réalisée en un matériau électriquement conducteur approprié pour l'utilisation envisagée, en particulier un métal.

[0035] La structure creuse 24 a de préférence une section transversale parallélépipédique et comporte deux extrémités ouvertes, respectivement 26 et 28 destinées l'une à être raccordée à un générateur de micro-ondes et l'autre à des moyens appropriés pour former un court-circuit, de préférence une plaque conductrice disposée transversalement et réglable longitudinalement.

[0036] Entre les deux zones d'extrémité 26 et 28, la structure 24 comporte une zone 30 de section rétrécie comportant une partie médiane 32 de section constante s'étendant entre deux parties 34 et 36 de section linéairement croissante en direction des zones d'extrémité 26 et 28.

[0037] En se référant également à la figure 5, on voit que les parois constitutives de la partie médiane 32 sont équipées chacune d'un orifice, tel que 38, ces orifices formant un passage pour un tube 40 en matériau diélectrique, tel que de la silice, fictivement tronqué sur la

figure 4 dans lequel circule une colonne de gaz à exciter.

[0038] Selon l'invention, sur chacune des grandes faces de la partie médiane 32, est monté un manchon, 42 et 44, en matériau électriquement conducteur, de préférence identique au matériau constitutif de la structure 24. Les manchons sont de préférence cylindriques et placés de façon coaxiale au passage formé par les orifices 38.

[0039] On conçoit que ces manchons 42 et 44 doivent être réalisés en un matériau électriquement bon conducteur. Il faut en outre que le contact de ces manchons avec la structure 24 soit électriquement excellent. En effet, pour des ondes électromagnétiques ayant une fréquence de 2,45 GHz, toute discontinuité dans la conduction électrique serait susceptible d'offrir un chemin de fuite vers l'extérieur du rayonnement produit par le générateur, même avec un ajustement mécanique très serré.

[0040] Ainsi, la structure 24 et les manchons 42 et 44 sont de préférence réalisés en laiton de manière à éviter la création dans la zone de fixation de ces pièces d'une couche d'oxyde isolante.

[0041] On voit également sur les figures 4 et 5 que les extrémités des manchons 42 et 44 montées en regard sur le guide d'ondes 24 sont équipées chacune d'une platine, telle que 46, ces platines 46 étant serrées contre la partie médiane 32 à l'aide de vis, telles que 48. On obtient ainsi un contact mécanique très étroit des surfaces métalliques.

[0042] Par ailleurs, les extrémités libres des manchons 42 et 44 sont équipées chacune d'un flasque, tel que 50, fixé par vissage sur celles-ci et munies d'un orifice, tel que 52, pour le passage du tube diélectrique 40.

[0043] Comme cela sera mentionné par la suite, les flasques 50 peuvent être réalisés en matériau électriquement conducteur, en matériau isolant ou éventuellement être supprimées en fonction de la longueur des manchons.

[0044] On voit enfin sur la figure 4 que la paroi de chaque manchon est muni d'orifices 54 permettant la visualisation du plasma dans la colonne de gaz lors du fonctionnement du dispositif.

[0045] En fonctionnement, le guide d'ondes 24 guide le rayonnement micro-ondes incident, provenant du générateur, vers la zone de section rétrécie 30, qui constitue une zone de concentration des micro-ondes, et en particulier vers le tube diélectrique 40.

[0046] En effet, la zone 30 de section rétrécie concentre le rayonnement incident vers la partie médiane 32 en vue de faire se propager dans le tube 40 et dans la colonne gazeuse qu'il contient une onde électromagnétique progressive de surface dont le champ électrique associé engendre et maintient un plasma dans la colonne de gaz en vue, comme cela est classique, d'exciter et d'ioniser les particules gazeuses.

[0047] On notera qu'afin d'éviter que des réflexions multiples n'apparaissent au niveau des deux parties 34 et 36 de transition, susceptibles de donner lieu à une

variation spatiale de la phase de l'onde différente de celle d'un guide d'onde de section constante, la transition entre les deux zones d'extrémité et la partie médiane 32 s'effectue sensiblement graduellement, en utilisant une longueur de zone de transition approximativement égale à un multiple de la moitié de la longueur d'onde $\lambda_g/2$ de propagation dans le guide d'onde 24.

[0048] Il est par ailleurs à noter que le diamètre de chacun des manchons doit être choisi suffisamment grand pour ne pas perturber la propagation de l'onde de surface créant la décharge.

[0049] Ce choix est dicté par deux considérations.

[0050] D'une part, si ce diamètre est trop petit, le champ micro-ondes au niveau de la paroi du manchon peut devenir très important, la décroissance de la valeur du champ électrique associé étant approximativement exponentielle à partir de la paroi du tube 40. Ainsi, la conductivité du métal n'étant pas infinie, des pertes par échauffement peuvent apparaître dans la paroi constitutive des manchons, cet échauffement pouvant de plus engendrer une dégradation des manchons.

[0051] Ainsi, le diamètre minimal dépend de la puissance micro-ondes que l'on souhaite injecter dans le plasma, c'est-à-dire des conditions de fonctionnement du dispositif. De préférence, afin de limiter les pertes, le diamètre minimum du manchon est choisi égal au double de celui du tube 40.

[0052] D'autre part, si le diamètre est trop élevé, la structure du champ électromagnétique peut perdre son caractère d'onde progressive de surface et des couplages de type cavité résonante se manifester, qui vont rendre le régime de fonctionnement de la décharge instable par échange d'énergie entre les modes de cavité et celui de l'onde de surface.

[0053] Un compromis entre ces deux considérations consiste à choisir un diamètre compris entre trois à quatre fois le diamètre du tube 40, soit par exemple un diamètre compris entre 60 et 80 mm, pour une fréquence incidente de 2,45 GHz.

[0054] Il est également à noter que la longueur des manchons est choisie au moins égale à la longueur du plasma, de sorte que celui-ci soit entièrement compris à l'intérieur des manchons.

[0055] Dans le cas où la longueur des manchons n'est que très légèrement supérieure à celle du plasma, les flasques 50 sont de préférence réalisés en matériau électriquement conducteur de manière à éviter que le rayonnement ne s'échappe vers l'extérieur.

[0056] Toutefois, comme cela a été mentionné précédemment, ces flasques 50 ne sont pas nécessairement réalisés en matériau conducteur, puisque l'intensité du champ micro-ondes est faible dans cette région au-delà de la limite du plasma.

[0057] En particulier, pour une longueur de manchon égale à la somme de la longueur du plasma et de la longueur d'onde du rayonnement, l'intensité du rayonnement est sensiblement nulle au niveau de la tranche d'extrémité des manchons 42 et 44. Dans ce cas, les

flasques 50 peuvent être supprimés.

[0058] On conçoit que le dispositif surfaguide qui vient d'être décrit est d'une structure très simple. Il comporte un seul moyen d'adaptation d'impédance, raccordé à l'une des extrémités de la structure en guide d'ondes 24, à l'opposé de l'arrivée des micro-ondes en provenance du générateur alors que le surfatron-guide possède un moyen intrinsèque d'adaptation supplémentaire. Il peut être cependant avantageux d'ajouter sur le guide d'onde, du côté de l'arrivée de puissance micro-ondes, un adaptateur d'impédance à trois plongeurs à vis dans le grand côté du guide, de type connu.

[0059] Il permet toutefois d'atteindre un rendement comparable à celui du surfatron-guide.

[0060] La description d'une installation complète de traitement d'un gaz utilisant le dispositif d'excitation décrit précédemment va maintenant être faite en référence à la figure 6.

[0061] L'installation représentée sur cette figure est par exemple destinée à la destruction de C_2F_6 dans un mélange gazeux constitué, par exemple, de C_2F_6 , de O_2 et d' A_r introduit dans le tube à décharge 40, par l'une de ses extrémités, comme représenté par la flèche F.

[0062] On voit sur cette figure que le surfaguide 22, identique à l'excitateur représenté sur les figures 4 et 5, est relié, par l'une de ses extrémités 26, à un générateur de micro-ondes 56, l'autre extrémité 28 étant équipée d'une plaque conductrice 58 formant court-circuit disposée transversalement et réglable longitudinalement.

[0063] En aval, en considérant le sens d'écoulement du gaz à traiter, le tube à décharge 40 débouche dans une canalisation 60, par l'intermédiaire d'une cartouche de refroidissement 62, constituée par exemple d'un échangeur thermique équipé d'un serpentin, dans lequel circule le gaz à traiter, enfermé dans une enceinte à l'intérieur de laquelle est établie une circulation d'eau.

[0064] La canalisation 60 achemine le gaz excité sous l'action du plasma 64 vers une unité de traitement 66, constituée d'une cartouche comprenant un élément adapté pour réagir avec les espèces chimiques excitées devant être détruites, par exemple un élément alcalin tel que de la chaux sodée ou une solution aqueuse alcaline, puis vers une unité de déshydratation 68.

[0065] On voit par ailleurs sur la figure 6 que la canalisation 60 comporte deux ensembles de dérivation 70 et 72 commandés par des vannes correspondantes, telles que 74 et 76, et sur lesquelles viennent se monter de façon étanche des cellules d'échantillonnage 78 et 80 capables d'analyser les gaz par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier.

[0066] Cette installation permet d'obtenir un taux de destruction, en sortie de l'unité de déshydratation 68 comparable à celui obtenu à l'aide d'un surfatron-guide.

[0067] On voit en effet sur le tableau représenté sur la figure 7 que l'installation de la figure 6, qui utilise un surfaguide muni de manchons constituant un blindage électromagnétique présente une efficacité de destruction très supérieure à celle du surfaguide classique qui

en est dépourvu, et donc laisse fuir une partie du rayonnement.

[0068] Dans le mode de réalisation représenté, le diamètre des orifices, tel que 38 ménagé dans la partie constitutive de la partie médiane et définissant le passage pour le tube 40 a une valeur voisine de celle du diamètre externe de ce tube.

[0069] Selon une variante avantageuse, le diamètre du passage 38 est supérieur au diamètre externe du tube 40. Par exemple, pour un tube à décharge 40 ayant un diamètre externe approximativement égal à 15 mm, le diamètre du passage est de préférence choisi entre 20 et 22 mm, de façon à aménager un interstice entre la paroi constitutive de la partie médiane 32 et le tube 40.

[0070] Selon ce mode de réalisation, il n'y a plus de concentration de l'énergie micro-onde dans l'interstice de lancement du dispositif au voisinage immédiat de la paroi du tube 40. Il permet donc de travailler à des puissances plus élevées afin d'obtenir une meilleure efficacité du dispositif sans risque de défaillance.

[0071] Dans l'exemple de réalisation qui vient d'être décrit, les manchons ont une forme cylindrique.

[0072] Il serait toutefois possible, en variante, de doter le dispositif de manchons ayant une section transversale de forme différente, par exemple rectangulaire, ovale, etc..., ou d'utiliser des manchons sensiblement tronconiques.

[0073] En outre, il serait possible de remplacer les trous permettant de visualiser le plasma créé par tout autre type de moyen approprié, tel qu'un grillage ou une fente dont au moins une dimension est suffisamment faible pour éviter des pertes par passage du rayonnement vers l'extérieur.

Revendications

1. Dispositif d'excitation d'un gaz, du type surfaguide, comprenant une structure creuse (24) formant guide d'ondes, en matériau électriquement conducteur, destinée à être raccordée à un générateur de micro-ondes et munie d'un passage (38) destiné à être traversé par un tube creux (40) diélectrique dans lequel circule ledit gaz à exciter et d'une zone (30) de concentration d'ondes adaptée pour concentrer le rayonnement micro-ondes produit par le générateur vers ledit tube (40), lors du fonctionnement dudit dispositif, en vue de produire un plasma d'onde de surface dans ledit gaz, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre au moins un manchon (42, 44) en matériau conducteur de blindage électromagnétique solidaire de ladite structure (24) et s'étendant dans le prolongement dudit passage (38) de manière à entourer ledit tube creux (40), ledit au moins un manchon (42, 44) ayant une longueur au moins égale à la longueur du plasma créé dans le gaz.
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite structure creuse (24) formant guide d'ondes a une forme générale longitudinale et comporte une première extrémité ouverte (26) destinée à être raccordée audit générateur de micro-ondes, une extrémité opposée (28) ouverte destinée à être munie de moyens formant court-circuit, et une zone de section rétrécie (30) s'étendant entre lesdites première (26) et deuxième (28) extrémités et délimitant ladite zone de concentration des ondes.
3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ladite zone (30) et de section rétrécie comporte une partie médiane (32) de section constante équipée dudit passage (38) s'étendant entre deux parties (34, 36) de section linéairement croissante en direction desdites extrémités (26, 28).
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'extrémité libre de chaque manchon (42, 44) porte un flasque (50) équipé d'un trou (52) pour le passage dudit tube diélectrique (40).
5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** ledit au moins un manchon (42, 44) a une longueur égale à la somme de la longueur du plasma et de la longueur d'onde dudit rayonnement micro-onde dans le vide.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la paroi dudit au moins un manchon est munie d'au moins un orifice (54) de visualisation du plasma dont les dimensions sont adaptées pour éviter le passage du rayonnement.
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** ledit au moins un manchon (42, 44) a une forme générale cylindrique de section au moins égale au double de la section du tube creux (40).
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, **caractérisé en ce qu'il** comporte deux manchons (42, 44) s'étendant dans le prolongement l'un de l'autre, de part et d'autre de la partie médiane (32).
9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** chaque manchon comporte une platine d'extrémité (46) s'étendant chacune latéralement au-delà de la partie médiane en vue de la fixation desdits manchons (42, 44) sur ladite structure (24), par vissage des platines (46) l'une sur l'autre.
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le diamètre du

passage (38) est supérieur au diamètre externe du tube creux (40).

11. Installation de traitement d'un gaz, comprenant un dispositif (22) d'excitation du gaz raccordé à un générateur de micro-ondes (56) et traversé par un tube creux diélectrique (40) dans lequel circule le gaz à exciter, le dispositif (22) comprenant des moyens (30) pour concentrer le rayonnement micro-onde produit par le générateur vers le tube diélectrique (40), de manière à produire dans le gaz un plasma atmosphérique d'ionisation et d'excitation des molécules du gaz à traiter en vue de la formation de composés gazeux réactifs, l'installation comportant en outre au moins une unité de traitement (66, 68) des composés réactifs disposés en sortie du tube creux diélectrique (40), **caractérisée en ce que** le dispositif d'excitation du gaz est constitué par un dispositif d'excitation selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

Claims

1. Device for exciting a gas, of the surfaguide type, comprising a hollow structure (24) forming a waveguide, made of an electrically conductive material, this hollow structure being intended to be connected to a microwave generator and provided with a passage (38) through which a hollow dielectric tube (40) is intended to pass, the said gas to be excited flowing through the said tube, and with a wave-concentrating region (30) designed to concentrate the microwave radiation produced by the generator onto the said tube (40), during operation of the said device, for the purpose of producing a surface wave plasma in the said gas, **characterized in that** it furthermore includes at least one electromagnetic screening sleeve (42, 44) made of a conductive material, fastened to the said structure (24) and extending along the extension of the said passage (38) so as to surround the said hollow tube (40) the said at least one sleeve (42, 44) having a length at least equal to the length of the plasma created in the gas.
2. Device according to Claim 1, **characterized in that** the said hollow structure (24) forming a waveguide has a longitudinal general shape and includes a first open end (26) intended to be connected to the said microwave generator, an opposite open end (28) intended to be provided with means forming a short-circuit, and a region (30) of narrowed cross-section which extends between the said first end (26) and the said second end (28) and delimits the said wave-concentrating region.
3. Device according to Claim 2, **characterized in that** the said region (30) of narrowed cross-section includes a central part (32) of constant cross-section equipped with the said passage (38) extending between two parts (34, 36) of cross-section which increases linearly towards the said ends (26, 28).
4. Device according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the free end of each sleeve (42, 44) has a flange (50) provided with a hole (52) for passage of the said dielectric tube (40).
5. Device according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the said at least one sleeve (42, 44) has a length equal to the sum of the length of the plasma and of the wavelength of the said microwave radiation in vacuum.
6. Device according to any one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the wall of the said at least one sleeve is provided with at least one orifice (54) for viewing the plasma, the dimensions of which are designed to prevent penetration of the radiation.
7. Device according to any one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the said at least one sleeve (42, 44) has a cylindrical general shape of cross-section at least equal to twice the cross-section of the hollow tube (40).
8. Device according to any one of Claims 3 to 7, **characterized in that** it includes two sleeves (42, 44) which extend along the extension of one with respect to the other, on each side of the central part (32).
9. Device according to Claim 8, **characterized in that** each sleeve includes an end mounting plate (46), each mounting plate extending laterally beyond the central part for the purpose of fixing the said sleeves (42, 44) to the said structure (24) by bolting the mounting plates (46) together.
10. Device according to any one of Claims 1 to 9, **characterized in that** the diameter of the passage (38) is greater than the external diameter of the hollow tube (40).
11. Apparatus for treating a gas, comprising a device (22) for exciting the gas which is connected to a microwave generator (56) and through which a hollow dielectric tube (40) passes, through which tube the gas to be excited flows, the device (22) comprising means (30) for concentrating the microwave radiation produced by the generator onto the dielectric tube (40) so as to produce, in the gas, an atmospheric plasma for ionizing and exciting the molecules of the gas to be treated for the purpose of forming reactive gaseous compounds, the apparatus

tus furthermore including at least one unit (66, 68) for treating the reactive compounds, this unit being placed on the downstream side of the hollow dielectric tube (40), **characterized in that** the device for exciting the gas consists of an excitation device according to any one of Claims 1 to 11.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Gasanregung der oberflächengeführten Art mit einer einen Wellenleiter bildenden, hohlen Struktur (24), aus einem elektrisch leitenden Material, die an einen Mikrowellengenerator angeschlossen werden soll und mit einem Durchgang (38) versehen ist, der von einem hohlen, dielektrischen Rohr (40) durchquert werden soll, in dem das anzuregende Gas fließt, und einem Wellenkonzentrationsbereich (30), der dafür ausgelegt ist, beim Betrieb der Vorrichtung die von dem Generator erzeugte Mikrowellenstrahlung auf das Rohr (40) zu konzentrieren, um in dem Gas ein Oberflächenwellenplasma zu produzieren, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem zumindest eine Muffe (42, 44) aus einem leitenden Material zur elektromagnetischen Abschirmung umfasst, die fest mit der Struktur (24) verbunden ist und sich in Verlängerung des Durchgangs (38) erstreckt, so dass sie das hohle Rohr (40) umgibt, wobei die zumindest eine Muffe (42, 44) eine Länge aufweist, die zumindest gleich der Länge des in dem Gas erzeugten Plasmas ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hohle, einen Wellenleiter bildende Struktur (24) eine im Großen und Ganzen längliche Form aufweist und ein offenes erstes Ende (26), das an den Mikrowellengenerator angeschlossen werden soll, ein gegenüberliegendes, offenes Ende (28), das mit Kurzschluss bildenden Mitteln versehen werden soll, und einen Bereich (30) mit verengtem Querschnitt umfasst, der sich zwischen dem ersten (26) und zweiten (28) Ende erstreckt und den Bereich zur Konzentration der Wellen begrenzt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bereich (30) mit verengtem Querschnitt einen Mittelbereich (32) von konstantem Querschnitt umfasst, der mit dem Durchgang (38) versehen ist und sich zwischen zwei Teilen (34, 36) mit linear anwachsendem Querschnitt erstreckt.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das freie Ende jeder Muffe (42, 44) einen Flansch (50) trägt, der mit einem Loch (52) für den Durchtritt des dielektrischen

Rohrs (40) versehen ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Muffe (42, 44) eine Länge besitzt, die gleich der Summe der Länge des Plasmas und der Vakuumwellenlänge der Mikrowellenstrahlung ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wand der zumindest einen Muffe mit zumindest einer Öffnung (54) zur Sichtbarmachung des Plasmas versehen ist, deren Abmessungen dafür ausgelegt sind, den Durchtritt der Strahlung zu verhindern.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Muffe (42, 44) eine im Großen und Ganzen zylindrische Form besitzt mit einem Querschnitt, der zumindest gleich dem Doppelten des Querschnitts des hohlen Rohrs (40) ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie zwei Muffen (42, 44) umfasst, die sich in Verlängerung voneinander auf beiden Seiten des Mittelteils (32) erstrecken.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Muffe eine Endplatte (46) aufweist, die sich zur Befestigung der Muffen (42, 44) an der Struktur (24) durch Verschraubung der Platten (46) miteinander jeweils seitlich über das Mittelteil hinaus erstreckt.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchmesser des Durchgangs (38) größer als der Außendurchmesser des hohlen Rohrs (40) ist.
11. Anlage zur Behandlung eines Gases mit einer Vorrichtung (22) zur Gasanregung, die an einen Mikrowellengenerator (56) angeschlossen ist und von einem hohlen, dielektrischen Rohr (40) durchquert wird, in dem das anzuregende Gas fließt, wobei die Vorrichtung Mittel (30) umfasst, um die von dem Generator erzeugte Mikrowellenstrahlung auf das dielektrische Rohr (40) zu konzentrieren, so dass in dem Gas ein atmosphärisches Plasma zur Ionisierung und Anregung der Moleküle des zu behandelnden Gases wird erzeugt, um reaktive Gasbestandteile zu bilden, wobei die Anlage außerdem zumindest eine Einheit (66, 68) zur Behandlung der reaktiven Bestandteile umfasst, die am Ausgang des hohlen, dielektrischen Rohrs (40) angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zur Gasanregung aus einer Anregungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 besteht.

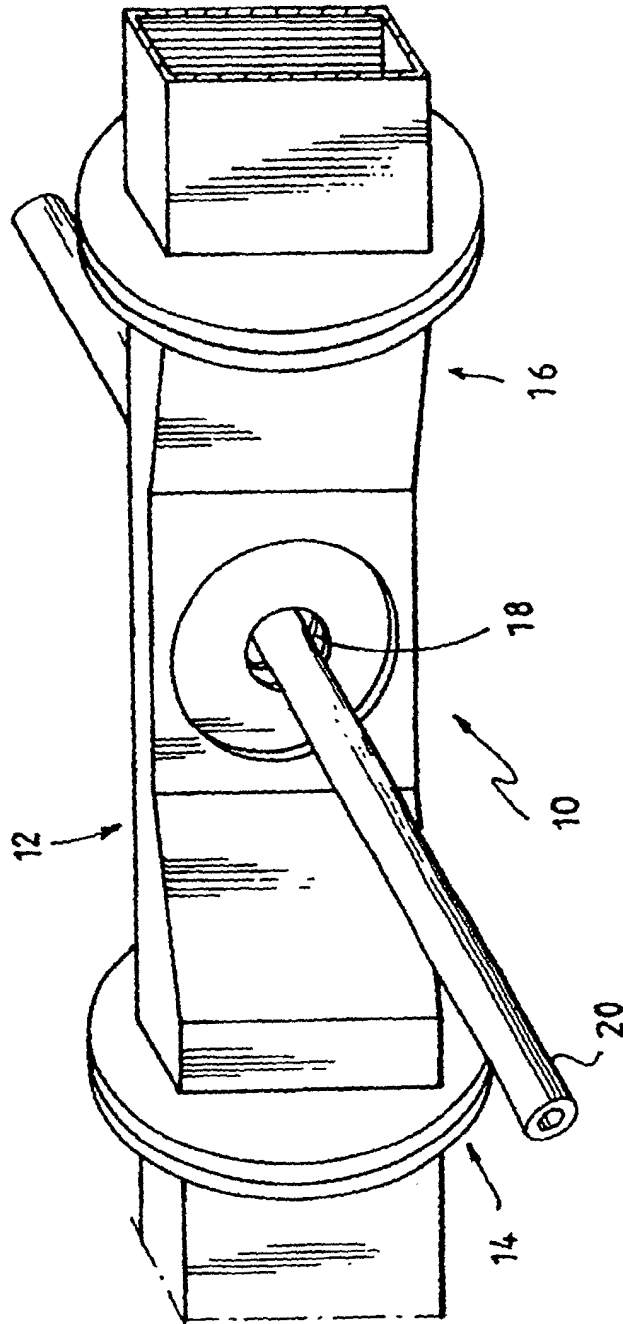


FIG. 1

Débits (SF_6 , O_2 , Ar) (ml / min)	Type d'applicateur	Puissance minimale de destruction 100 % (W)
25, 30, 500	Surfaguide	710
25, 30, 500	Surfatron-guide	610

FIG.2

Débits (C_2F_6 , O_2 , Ar) (ml / min) et % C_2F_6	Type d' applicateur	Puissance minimum de maintien(W)	Taux de destruction %
25,30,500 (4,5 %)	Surfaguide	790	97
25,30,500 (4,5 %)	Surfatron-guide	790	> 99,8
50, 60, 500 (8,2 %)	Surfaguide	1075	< 45
50,60,500 (8,2 %)	Surfatron-guide	1030	99,5

FIG.3

Manchons coaxiaux	Débits (C_2F_6 , O_2 , Ar) (ml / min) et % C_2F_6	Puissance réelle de maintien (W)	Taux de destruction %
sans	50,60,500 (8,2 %)	1075	< 45
avec	50, 60, 500 (8,2 %)	1075	99,6

FIG.7

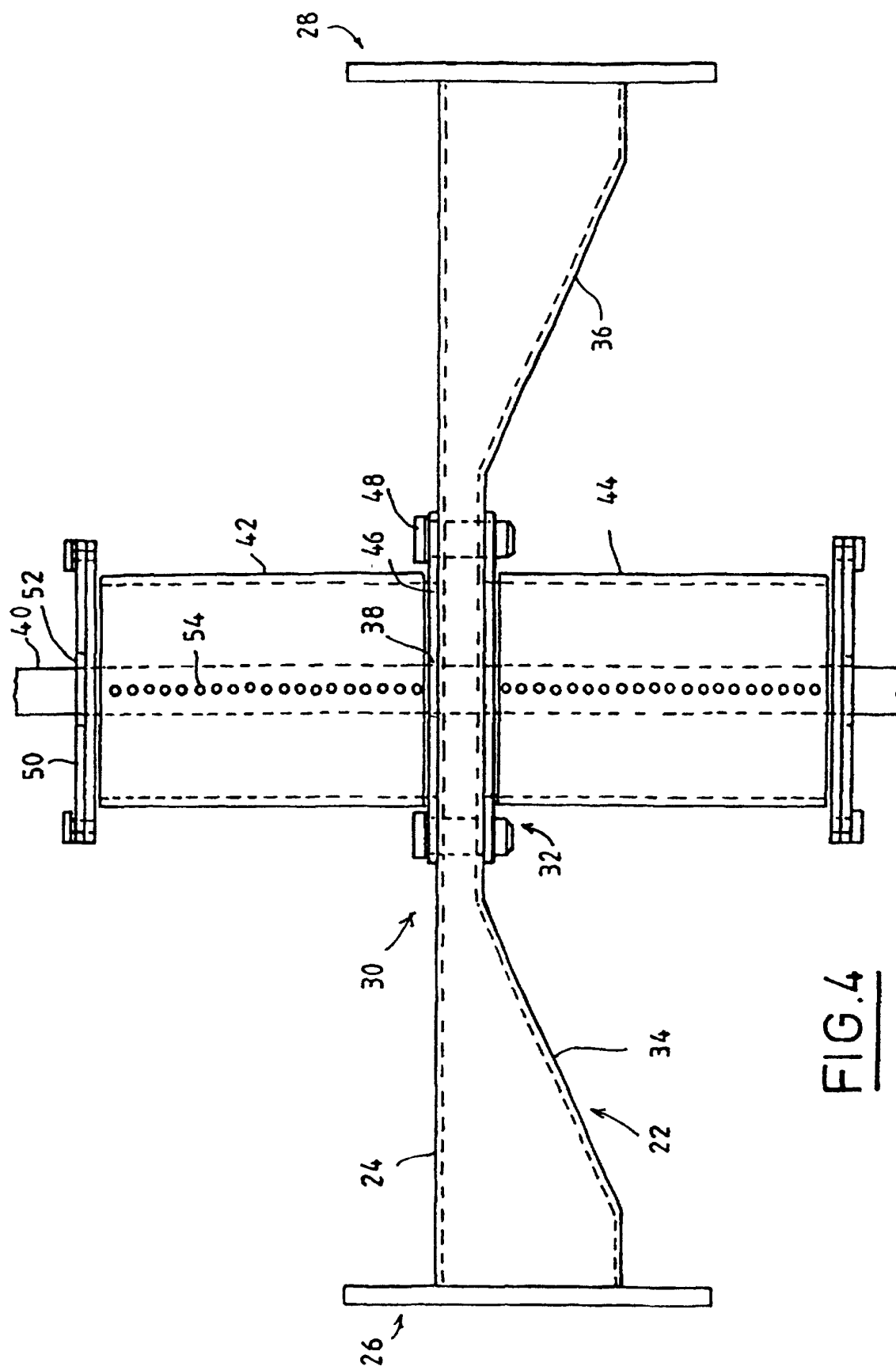


FIG. 4

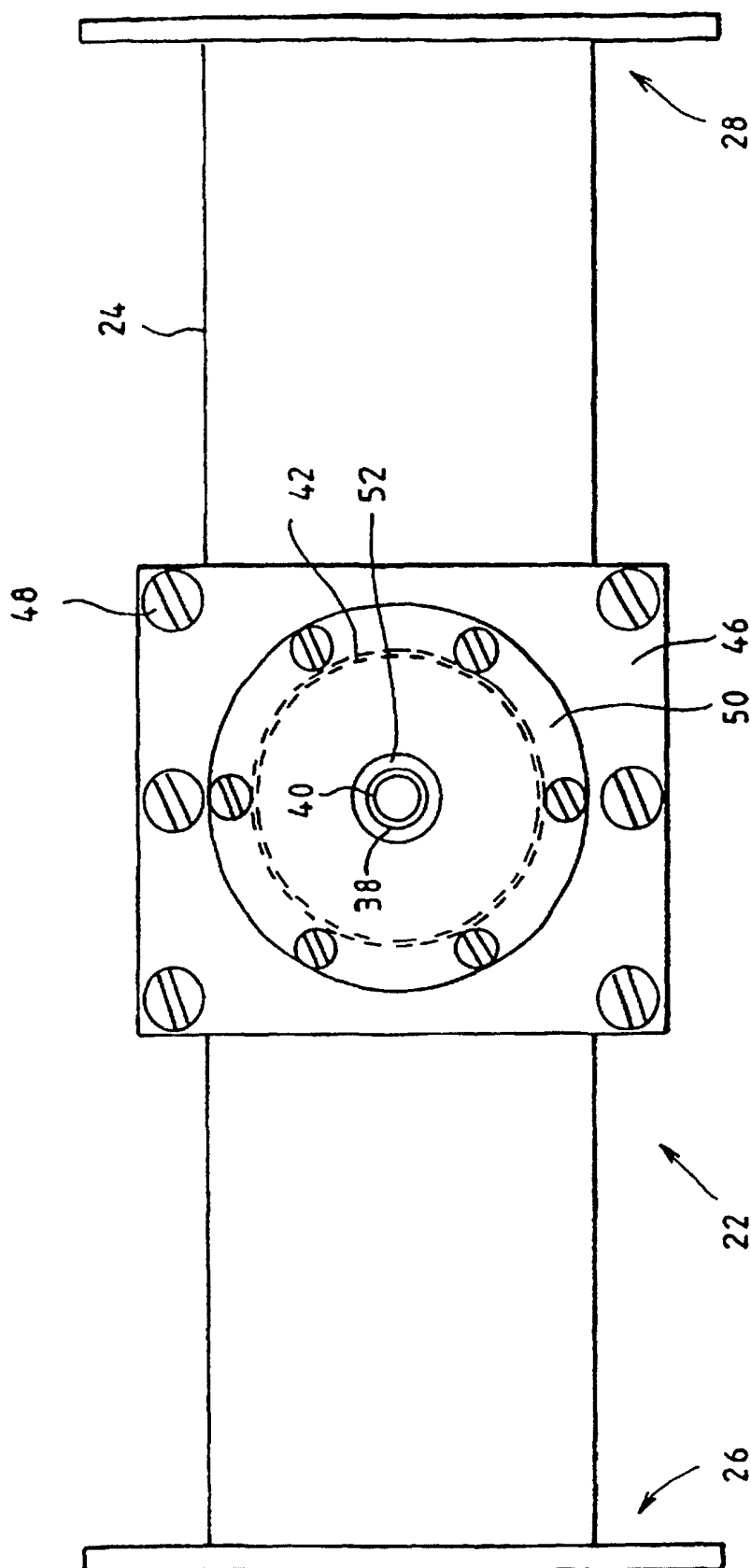


FIG. 5

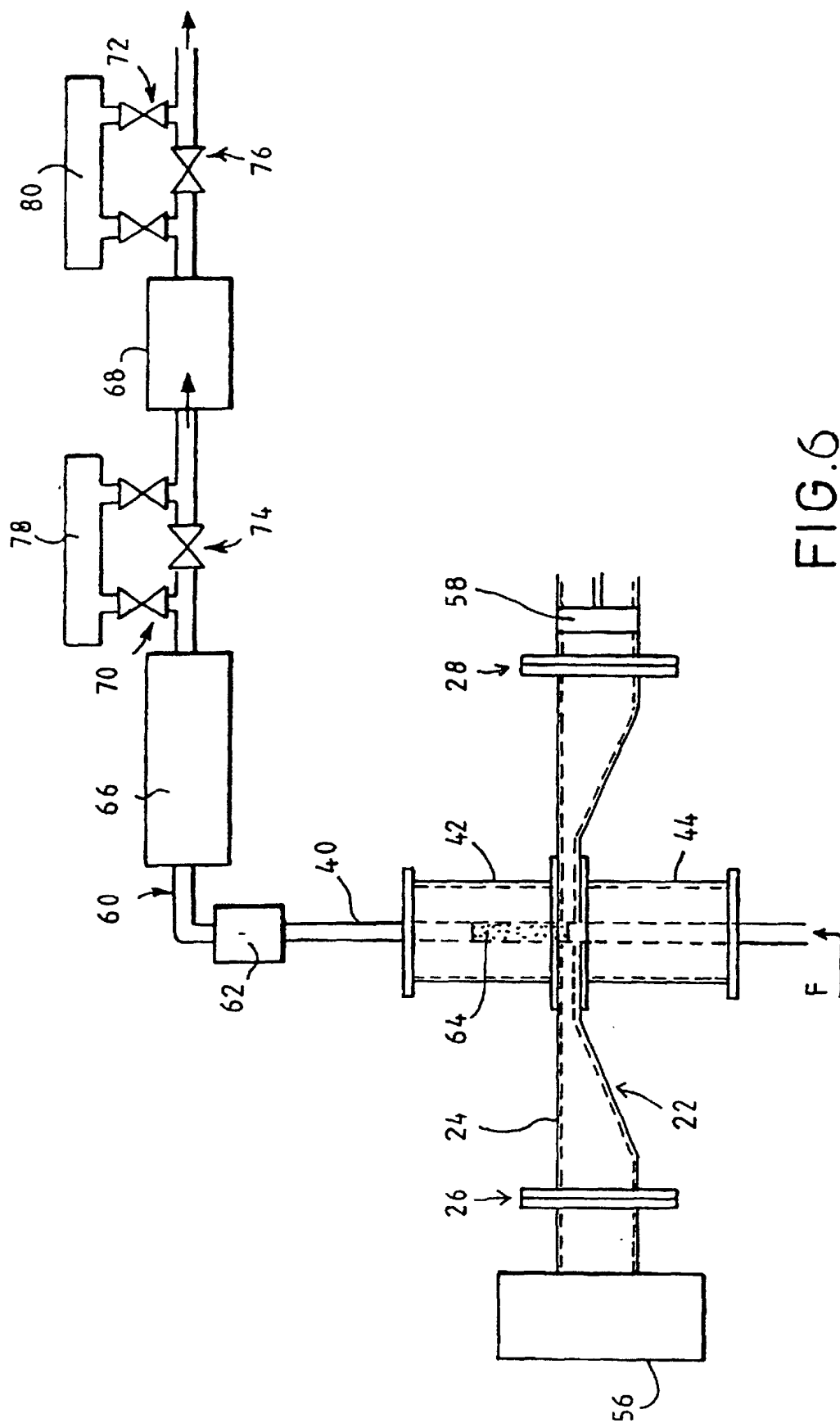


FIG. 6