



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication :

**0 043 740
B1**

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet :
21.03.84

(51) Int. Cl.³ : **H 05 H 1/46**

(21) Numéro de dépôt : **81400557.5**

(22) Date de dépôt : **07.04.81**

(54) Générateur de plasma.

(30) Priorité : **10.04.80 FR 8008073**

(43) Date de publication de la demande :
13.01.82 Bulletin 82/02

(45) Mention de la délivrance du brevet :
21.03.84 Bulletin 84/12

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

(56) Documents cités :
FR-A- 2 074 715
FR-A- 2 346 939
GB-A- 1 008 184
US-A- 3 757 518
JOURNAL OF PHYSICS D: Applied Physics, vol. 12,
no. 2, février 1979 Londres, GB, M. MOISAN et al.:
"The theory and characteristics of an efficient sur-
face wave launcher (surfatron) producing long
plasma columns", pages 219-237

(73) Titulaire : **ANVAR Agence Nationale de Valorisation
de la Recherche**
13, rue Madeleine Michélin
F-92522 Neuilly-sur-Seine (FR)

(72) Inventeur : **Bloyet, Emile**
Les Jardins de Courcelles Bâtiment D
F-91190 Gif sur Yvette (FR)
Inventeur : **Leprince, Philippe**
13, rue de la Source Perdue
F-91190 Gif sur Yvette (FR)
Inventeur : **Marec, Jean**
5, rue du Clos Saint-Jean
Bouilly les Troux F-91470 Limours (FR)

(74) Mandataire : **Netter, André**
Cabinet NETTER 40, rue Vignon
F-75009 Paris (FR)

EP 0 043 740 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).

Générateur de plasma

L'invention est relative à un générateur de plasma, notamment un chalumeau à plasma.

On sait que les plasmas sont des gaz ionisés à des températures très élevées, de l'ordre de plusieurs milliers de degrés. On a déjà proposé de les utiliser dans l'industrie pour réaliser des chalumeaux, notamment afin d'effectuer des traitements de surfaces.

Un plasma peut être obtenu par l'excitation, à l'aide d'un champ électrique, d'un gaz dans une enceinte, telle que l'intérieur d'un tube.

On connaît ainsi un chalumeau à plasma dans lequel un champ électrique est engendré en faisant appel à une inductance entourant un tube dans lequel circule un courant d'un gaz à exciter et qui est alimentée par un courant alternatif à haute-fréquence ou ultra haute-fréquence de l'ordre de 20 à 50 MHz. L'inductance enserrant un tube en un matériau isolant tel que du verre à l'intérieur duquel se forme le plasma. Cependant la formation du plasma à l'intérieur du tube limite l'emploi de ce chalumeau au traitement de pièces de dimensions réduites qui peuvent être introduites à l'intérieur de ce tube. La faible valeur de la densité d'énergie du plasma obtenu limite également le domaine d'application de ce chalumeau. Enfin, le tube présente l'inconvénient d'être fragile et onéreux.

On peut obtenir des plasmas de densité d'énergie plus importante en sortie d'un tube métallique à l'aide de chalumeaux à arc électrique dans lesquels un champ électrique est engendré radialement entre une cathode centrale disposée à l'intérieur du tube et le tube lui-même constituant une anode pour créer un arc électrique qui est soufflé par le gaz à ioniser vers la sortie du tube. Ce chalumeau présente cependant des inconvénients qui en limitent les applications ; en particulier, le plasma ainsi produit contient inévitablement des impuretés provenant des électrodes et ces impuretés peuvent être indésirables pour des traitements de surface. De plus, les frais de fonctionnement de ce chalumeau sont élevés car les électrodes se détériorent rapidement et le débit du gaz est important.

Le générateur de plasma selon l'invention présente les avantages des chalumeaux connus sans en comporter les inconvénients.

Selon l'invention, on fait circuler un gaz à exciter dans un tube métallique dont la partie terminale présente une ouverture permettant l'échappement de ce gaz. Ce tube est alimenté en un courant électrique alternatif de préférence hyperfréquence ou micro-onde de fréquence égale à au moins 100 MHz par l'intermédiaire d'une structure d'excitation permettant à la partie terminale de celui-ci de rayonner sous forme électromagnétique une partie au moins de l'énergie qui lui est transmise. Lorsque le gaz s'échappe à l'extrémité du tube métallique, on a constaté que celle-ci n'est plus rayonnante, mais que l'énergie qui lui est apportée est utilisée

exclusivement, ou presque exclusivement, à exciter le gaz pour le transformer en un plasma qui se présente sous la forme d'une flamme localisée dans une petite zone à la sortie du tube.

Le dispositif selon l'invention permet dans son application au chalumeau à plasma de combiner les avantages des chalumeaux à plasma de la technique antérieure sans en présenter les inconvénients. On s'affranchit de la nécessité d'utiliser un tube de verre ou autre matériau isolant propre à résister aux températures élevées. Il n'est pas indispensable que l'extrémité du tube métallique où se produit la flamme soit entourée par le générateur d'alimentation de l'antenne. Cette flamme peut alors être utilisée comme celle d'un chalumeau classique à combustion de gaz. Enfin le plasma obtenu est de très grande pureté et sa densité d'énergie est élevée.

Avec une alimentation en énergie dans le domaine des hyperfréquences, on obtient de bons résultats lorsque le diamètre intérieur du tube métallique est de l'ordre de 0,5 à 2 mm ; la longueur de la flamme est alors de l'ordre du centimètre. Cette flamme a donc de petites dimensions et la densité d'énergie du plasma qui la forme est de l'ordre de 20 kW par cm³, c'est-à-dire environ quatre fois supérieure à la densité d'énergie obtenue par le premier chalumeau à plasma connu mentionné ci-dessus.

On a également constaté que le rendement du dispositif, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie produite par le générateur hyperfréquence et l'énergie du plasma obtenu est très proche de 100 %.

D'autres caractéristiques de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisation qui fait référence au dessin ci-annexé, sur lequel :

la figure 1 est une vue schématique en coupe axiale d'un générateur de plasma selon l'invention ;

la figure 2 est une vue analogue de la figure 1 mais pour une variante ;

la figure 3 est également une vue analogue à celle de la figure 1 mais encore pour une autre variante.

On se réfère d'abord à la figure 1.

Un tube rectiligne 1, d'axe 1a, en un matériau bon conducteur de l'électricité, par exemple un métal tel que du cuivre, de l'aluminium, de l'acier etc... est relié par son extrémité postérieure 2 à une réserve, non représentée, d'un gaz tel que de l'argon. Il présente une extrémité antérieure 3 pourvue d'une ouverture par laquelle peut s'échapper le gaz circulant à l'intérieur de ce tube.

Autour du tube 1, dont le diamètre interne est compris entre 0,5 et 2 mm est montée une bague ou rondelle métallique 4 dont l'épaisseur, dans la direction axiale, est de l'ordre de 5 mm et présentant une ouverture interne 5 dont le diamètre est légèrement supérieur au diamètre extérieur du

tube 1 de façon que cette bague puisse coulisser sur ce tube en maintenant un contact conducteur avec celui-ci.

Cette bague 4, dont la périphérie a un diamètre extérieur de l'ordre du centimètre, est également montée à coulissement à l'intérieur d'un tube ou manchon métallique 6 coaxial au tube 1 et constituant la paroi interne d'un anneau métallique creux 7 dont la paroi externe est constituée par un deuxième manchon cylindrique 8 métallique de section circulaire, coaxial au tube 1. La cavité 7a définie à l'intérieur de l'anneau creux 7 est fermée à son extrémité arrière par une plaque ou un flasque métallique 9 perpendiculaire à l'axe 1a et raccordant les tubes 6 et 8. Dans un mode de réalisation, cette plaque est montée coulissante autour du manchon 6 et à l'intérieur du manchon 8 parallèlement à l'axe 1a comme l'illustre la flèche 9a, tout en gardant un contact conducteur avec les manchons 6 et 8. A son extrémité avant, la cavité 7 est limitée par un deuxième flasque plat 10 métallique en forme de couronne, également perpendiculaire à l'axe 1a. Le flasque 10 est raccordé tout le long de sa périphérie 108 à l'extrémité avant du manchon 8. Il présente une ouverture centrale 11, d'un diamètre sensiblement égal, dans cet exemple, au diamètre du tube ou manchon 6. Le flasque en forme de couronne 10 n'est pas raccordé à l'extrémité avant 12 du tube 6, un intervalle 13 de longueur axiale g, de quelques millimètres, par exemple de 1,6 mm, étant ménagé entre cette extrémité 12 et le bord du flasque 10 autour de l'ouverture 11. Le tube 1 dépasse l'extrémité 12 et traverse l'ouverture 11 et présente une portion terminale 14 faisant saillie à l'extérieur de l'anneau 7. L'extrémité antérieure 3 du tube est placée à une distance d, par exemple d'environ 5 mm en avant du plan de l'ouverture 11.

Au voisinage de son extrémité avant, le tube ou manchon externe 8 présente une ouverture en forme de cheminée 15 et obturée par un bouchon isolant 15a laissant le passage au conducteur central 16 ou âme d'un câble coaxial 17 dont le conducteur externe ou gaine 18 est soudé, ou raccordé d'une autre manière, au tube 8 autour de l'ouverture 15. Le conducteur central 16 traverse la cavité interne 7a de l'anneau 7. Son extrémité 20 est réunie par exemple par soudure au tube interne 6 au voisinage, en direction axiale, de l'intervalle 13, c'est-à-dire à une courte distance 1 de l'extrémité 12.

En variante, l'extrémité 20 du conducteur 16 au lieu d'être soudée au tube 6 peut être soudée à une petite plaque métallique (non montrée), disposée à faible distance en regard de, mais sans contact avec la paroi externe du tube ou manchon 6 à l'intérieur de l'anneau 7.

Les conducteurs 16 et 18 sont raccordés aux deux bornes de sortie d'un générateur hyperfréquence 21.

Une tige filetée 22 traverse radialement la paroi du tube 8 au voisinage de la plaque 9, par l'intermédiaire d'une douille 22a taraudée intérieurement qui permet d'ajuster la profondeur x

de pénétration, en direction radiale, de cette tige 22 à l'intérieur de la cavité 7a de l'anneau 7. Cette cavité est normalement remplie d'air, de même que l'intérieur du tube ou manchon 6. Elle pourrait contenir un autre milieu diélectrique.

Lorsqu'on alimente le coaxial 17 à partir du générateur 21 avec une tension électrique d'une fréquence d'un ou plusieurs gigahertz et que l'on fait circuler un courant de gaz, tel que de l'argon à l'intérieur du tube 1, à faible débit, on peut engendrer par une opération d'amorçage très simple, la formation d'un plasma à la sortie de l'ouverture à l'extrémité 3 du tube 1 qui se maintient tant que l'excitation du générateur 21 est maintenue. Pour effectuer l'amorçage il suffit qu'un opérateur mette en contact avec l'extrémité 3 du tube 1 une pièce métallique et la retire pour qu'une micro-étincelle jaillisse qui amorce la formation du plasma. Celui-ci se maintient sous la forme d'une courte flamme 23, d'un ou quelques centimètres dans l'air à l'avant de l'extrémité 3 tant que le débit de gaz et l'excitation de la source 21 sont maintenus. On a constaté en particulier, que la partie antérieure du tube 1 subit un très faible échauffement en présence de plasma ce qui traduit un très bon rendement de la transformation de l'énergie amenée par le tube au plasma. On a expérimenté un générateur de type décrit à la figure 1 en l'alimentant avec des puissances variant de 15 à 500 Watts et on a mesuré les pertes par réflexion et par rayonnement électromagnétique de l'énergie délivrée au dispositif. Ces pertes n'ont pas dépassé 5 % de l'énergie fournie.

Bien que l'on ne puisse pas encore donner d'analyse scientifique complète des raisons pour lesquelles un dispositif à tube métallique tel que représenté à la figure 1, permet d'obtenir un plasma 23 à haute densité d'énergie dans un faible volume, on peut cependant indiquer qu'en l'absence de gaz s'échappant par l'extrémité du tube, ce dispositif se comporte comme une structure d'antenne dont l'extrémité 3 du tube 1 constitue la partie rayonnante. Une énergie hyperfréquence est transmise par le coaxial 17 à l'anneau creux 7, celui-ci constituant un coupleur qui permet de transférer cette énergie au système rayonnant formé à l'extrémité de la partie antérieure 14 du tube 1. Un champ électrique élevé règne dans l'intervalle 13 entre l'extrémité avant du manchon 6 et le flasque 10. L'énergie contenue dans cet espace 13 est transférée vers l'extérieur et notamment à l'avant 14 du tube grâce à l'ouverture 11 dont la dimension est déterminée pour faciliter ce transfert d'énergie.

Il est important de noter que la structure annulaire creuse 7 n'est pas une cavité résonnante, c'est-à-dire propre à fonctionner uniquement à une fréquence relativement bien déterminée, mais qu'elle réalise une adaptation d'impédance et permet le transfert d'énergie par couplage dans une plage de fréquence qui peut aisément varier de 20 % ou davantage autour de la fréquence nominale. Par exemple avec une fréquence nominale de 2 450 MHz un tel coupleur

peut fonctionner sans difficulté dans une plage de 2 000 à 2 800 MHz ce que ne pourrait faire une cavité résonnante. On note en particulier qu'à la différence de cette dernière le coefficient de surtension que l'on peut mesurer dans la cavité 7a ne dépasse guère 4 dans l'exemple décrit. Ceci résulte notamment du positionnement du point de connexion du coaxial 17 apportant l'énergie, à proximité du flasque 10.

Le dispositif perd sa qualité d'antenne quand un plasma se forme à l'extrémité 3 de la partie antérieure 14 du tube 1. La naissance d'une étincelle provoque en effet la libération d'électrons dans le milieu gazeux à la sortie de ce tube, lesquels sont accélérés très fortement par le champ électrique qui règne à la sortie de ce tube et provoquent, par des collisions multiples avec les molécules du gaz ambiant, la formation d'ions supplémentaires jusqu'à ce qu'un état de décharge ionique en équilibre s'établisse dans lequel le plasma formé absorbe une très grande partie de l'énergie électromagnétique issue du tube 1.

Pour que le plasma s'établisse et se maintienne dans de bonnes conditions avec un bon rendement, il est nécessaire que le maximum d'énergie soit transféré par le coupleur réalisé par l'anneau creux 7 au tube 14 par l'intermédiaire de l'intervalle 13. Ce coupleur réalise une adaptation de l'impédance du générateur de plasma à l'impédance du câble coaxial 17 d'amenée de l'énergie.

En pratique, on a constaté que l'impédance du générateur de plasma variait de façon importante avec celle du plasma lui-même. Cette dernière dépend d'un nombre considérable de facteurs tels que l'énergie d'ionisation du gaz utilisé, le régime des pressions de ce dernier, etc. Cependant, on sait que cette impédance est essentiellement résistive à haute pression, telle que la pression atmosphérique, et varie de façon sensible avec la puissance consommée par ce plasma, c'est-à-dire en fait avec le volume de plasma. On peut donc pour chaque configuration de puissance du générateur hyperfréquence 21 effectuer un réglage de l'impédance du coupleur constitué par l'anneau creux 7.

Plusieurs dispositions peuvent être utilisées à cet effet. En particulier, on a constaté que le déplacement de la rondelle 4 dans l'intervalle annulaire entre les tubes 1 et 6 permettait de faire varier le rendement du dispositif, c'est-à-dire pour une puissance déterminée fournie par le générateur 21, d'obtenir à l'extrémité 3 du tube 1, une puissance maximale de plasma.

Un autre moyen d'adaptation de l'impédance du coupleur à anneau creux 7 consiste à faire varier la profondeur x de pénétration de la tige filetée 22. Un autre moyen consiste également à modifier la position de la plaque 9 fermant l'extrémité postérieure de la cavité ou enceinte délimitée entre les manchons 6 et 8, parallèlement à la flèche 9a.

On a constaté que de bons résultats pouvaient être obtenus si la relation suivante était satisfaite :

$$2(a + b) = \lambda/2$$

Dans cette formule, a est la différence entre le rayon du tube 8 et celui du tube 6, b est la longueur axiale de l'anneau 7, c'est-à-dire la distance séparant les plaques ou flasques 9 et 10, et λ la longueur d'onde du courant produit par le générateur 21.

Dans un exemple d'application du générateur de plasma qui vient d'être décrit à un chalumeau dans lequel on utilise la flamme 23 à l'extrémité du tube 3 pour élever la température d'une pièce attaquée par cette flamme, la fréquence du courant produit par le générateur hyperfréquence 21 est de 2 450 MHz, le tube 1 a un diamètre interne de l'ordre de 0,5 à 2 mm, le diamètre interne du tube 6 est de l'ordre du centimètre, les paramètres a et b ont pour valeur respectivement 12, 5 mm et 20 mm, la longueur axiale g de l'intervalle 13 entre la couronne 10 et l'extrémité 12 du tube 6 est de l'ordre de quelques millimètres et la longueur d de la saillie 14 du tube 1 à l'extérieur de l'anneau 7 est également de l'ordre du centimètre. Le débit du gaz sortant du tube 1, qui, dans cet exemple, est de l'argon, est compris entre 0,2 et quelques litres par minute. L'argon est un gaz qui possède un potentiel d'ionisation élevé et qui est inerte même à température élevée vis-à-vis d'un très grand nombre de surface susceptibles d'être traitées.

Avec cette réalisation, la densité de puissance du plasma 23 est de l'ordre de 20 KW/cm³ si la puissance du générateur 21 est de l'ordre de 200 W.

Ainsi, le plasma 23 peut être utilisé pour ses propriétés thermiques comme « micro-chalumeau » en vue d'effectuer des traitements de surfaces, des soudures, etc. On peut également utiliser la flamme 23, comme torche ou source de lumière dans un spectroscope pour analyser le gaz ou le mélange de gaz introduit dans le tube 1. Le dispositif constitue alors une torche ou « micro-torche ».

Dans le cas où le gaz est corrosif à l'égard du métal constituant le tube 1, la surface interne de ce dernier est recouverte d'une couche protectrice, par exemple une couche d'alumine. Il est suffisant dans ce cas que la surface externe de la partie terminale 14 du tube soit conductrice pour fonctionner comme une antenne, le revêtement interne du tube par un isolant ne s'opposant pas à la production de plasma.

La saillie 14 formée par l'avant du tube 1 peut comprendre un embout amovible 3a, la forme de cet embout dépendant, d'une part, du débit souhaité, d'autre part, de l'utilisation du dispositif. En d'autres termes, un même dispositif peut être utilisé pour plusieurs applications et pour exciter des gaz de natures diverses. Cet embout peut être constitué au besoin en un matériau réfractaire.

Dans une variante d'un générateur selon l'invention, représentée sur la figure 3, la longueur de la partie 14a du tube 1 qui fait saillie à partir de la face externe du flasque 10 est plus

grande que celle de la partie saillante 14 dans l'exemple de la figure 1.

Dans cette réalisation, cette partie 14a du tube 1 est entourée à distance par un autre tube métallique 30, coaxial au tube 1 et de diamètre compris entre celui du tube 6 et celui du tube 8. Le diamètre du tube 30 peut également être inférieur à celui du tube 6. Le tube 30 est en contact conducteur à son extrémité postérieure 42 avec la face frontale de la plaque ou flasque 10.

Dans cet exemple, la rondelle 4 n'existe pas et le manchon 6 est simplement fermé à sa partie antérieure 12a par une cloison 25 à travers laquelle passe le tube 1. L'extrémité postérieure du manchon 6 peut avantageusement également être fermée par une cloison 26, également traversée par le tube 1 et qui se prolonge à sa périphérie pour venir se raccorder avec l'extrémité postérieure 109 du manchon 8 pour fermer, par une cloison 9c, la partie postérieure de la cavité 7a. Ainsi, dans cet exemple, la position de la plaque de fermeture postérieure de cette cavité n'est pas réglable. On peut bien entendu, adopter comme pour la figure 1, un plongeur tel que 22 pour effectuer l'adaptation de l'impédance de l'anneau creux 7, comme il a été expliqué. Il serait également possible au lieu d'une cloison fixe 25, de prévoir une bague ou rondelle coulissante telle que 4 de la figure 1 entre le tube 1 et le manchon 6.

La face interne 10a de la plaque 10 est recouverte par un disque isolant 31, par exemple en téflon, présentant une ouverture centrale 32 dont le diamètre est égal au diamètre externe du tube 1, et contre la face externe ou frontale 10b de la couronne 10, à l'intérieur du tube 30, est appliqué un autre disque isolant 33 tel qu'un disque de téflon monté autour du tube 1. On isole ainsi l'espace annulaire 34 délimité par la saillie 14a et le tube 30 de l'espace annulaire 7a délimité par les tubes 8 et 6 afin qu'un gaz injecté par un embout 35 dans le premier espace annulaire 34 ne puisse pas pénétrer dans le second espace annulaire 7a, entre les tubes 6 et 8. Le gaz injecté peut être également de l'argon de façon à engendrer un plasma 23a obtenu par l'excitation de l'argon s'échappant d'une buse 3b à l'extrémité de la partie saillante 14a dans une atmosphère du même gaz. Cependant, le gaz introduit dans l'espace 34 peut être de nature différente de celle du gaz à exciter, ce dernier pouvant bien entendu être un autre gaz que de l'argon. On remarque que cette disposition permet ainsi d'engendrer un plasma à une pression qui n'est pas égale — inférieure ou supérieure — à la pression atmosphérique. L'intervalle entre le tube 14a et le manchon 30 pourrait également être rempli d'un diélectrique solide par exemple.

Afin de canaliser un gaz admis par l'arrivée 35 à l'intérieur du tube 30 en direction de la flamme 23a à la sortie de ce tube, on peut prévoir, comme représenté sur la figure 3, que l'extrémité 30a de celui-ci est rabattue en direction de l'axe du tube.

Dans cet exemple qui représente une forme de

réalisation particulièrement intéressante pour un chalumeau, le diamètre du tube 30 est de 18 mm, le diamètre du tube 6 est de l'ordre de 10 mm, le diamètre du tube 8 est de 40 mm, la longueur axiale dudit tube 8 est de 32 mm, la distance g définissant l'épaisseur de l'intervalle 13a entre l'extrémité 12a du manchon 6 et les bords de l'ouverture 11a au centre du flasque 10 est de 1,6 mm et la distance entre ce flasque 10 et le conducteur 16 est de 8 mm. La fréquence du générateur 21 est de 2 450 MHz et sa puissance de 2 KW. Le diamètre interne du tube 1 est de 0,5 mm et son diamètre externe est de 3 mm. La longueur de la partie 14a et du manchon 30 peut être déterminée à volonté. Dans une réalisation décrite elle est de 80 millimètres.

On peut considérer que dans ce mode de réalisation, la partie saillante 14a du tube 1 forme l'âme d'une structure de coaxial ayant une gaine formée par le tube 30, ce coaxial étant alimenté à partir du coaxial 17 par l'intermédiaire d'un coaxial de couplage constitué par la structure en forme d'anneau creux 7. Tel que représenté sur la figure 3, le couplage entre le coaxial 17 et le coaxial constitué par les manchons 6 et 8 qui en forment respectivement l'âme et la gaine est obtenue par liaison directe, par exemple par soudure, comme il est exposé à propos de la figure 1.

Le coaxial formé par la structure annulaire creuse 7 permet une adaptation d'impédance par des moyens qui ont été exposés précédemment. Le couplage entre ce coaxial et le coaxial formé par le tube 14a et le tube 30 s'effectue par l'intermédiaire de l'intervalle 13a, dans lequel règne un très fort champ électrique par lequel s'effectue ce transfert d'énergie, et de l'ouverture centrale 11a dans la plaque 10 qui permet à l'énergie de s'échapper de l'intervalle 13a pour se propager le long du coaxial 14a, 30. En l'absence de gaz dans le tube 1, l'extrémité libre du tube 14a rayonne l'énergie qui lui parvient. Après amorçage, cette énergie est au contraire entièrement utilisée pour ioniser le gaz de la flamme 23a à la sortie du tube 14a.

L'explication de la structure du générateur de la figure 3 qui vient d'être donnée peut être appliquée également au dispositif de la figure 1. Dans celui-ci, le coaxial d'adaptation d'impédance formé par la structure annulaire creuse 7 est couplé par l'intermédiaire de l'intervalle 13 à un coaxial d'excitation dont l'âme est constituée par le tube 1 et la gaine par la portion du manchon 6 entourant ce tube entre la rondelle 4 et l'extrémité antérieure 12 de ce manchon, la partie terminale 14 du tube faisant saillie hors de cette structure coaxiale.

On a représenté en figure 2, un cas limite dans lequel la structure coaxiale de la partie rayonnante comprenant le tube 1 a disparu. Comme pour la figure 3, les éléments identiques à ceux de la figure 1 ont été désignés par les mêmes numéros de référence.

Un tel dispositif (fig. 2), qui est destiné à une application dans laquelle un réglage du rende-

ment de la flamme de plasma en fonction de la puissance émise n'est pas nécessaire, le gaz à exciter étant de l'argon, ne se distingue de celui de la figure 1 que par les dispositions suivantes : au lieu de comporter une bague coulissante pour établir la liaison conductrice entre le manchon 6 et le tube 1, ce manchon 6 est fermé à son extrémité antérieure 12b par une cloison 25b traversée par le tube 1. Cette cloison se trouve à une distance g des bords de l'ouverture centrale 11 ménagée dans le flasque 10, cette distance représentant l'épaisseur de l'intervalle de couplage 13b entre la structure annulaire creuse 7 et le tube 1. A l'arrière le manchon 6 est fermé par une cloison 9b traversée par le tube 1 et qui ferme également la partie postérieure de la cavité annulaire 7a délimitée entre les manchons 6 et 8.

Le tube 1 présente une avancée 14b qui après avoir traversé l'ouverture 11 fait saillie à l'avant du flasque 10 sur une distance qui est déterminée en fonction des conditions opératoires du dispositif (nature du gaz débit, puissance transmise, fréquence opératoire) et est de 5 mm dans cet exemple pour obtenir une flamme de plasma à l'extrémité 3c du tube 1 par où s'échappe le gaz. Cette structure constitue un cas limite de la structure exposée à propos des figures 1 et 3 dans lequel l'énergie transmise dans l'intervalle de couplage 13b ne se propage pas le long d'une structure coaxiale mais est directement transmise à la partie rayonnante 14b du tube.

Dans cette réalisation, le conducteur 16 est à une distance de 1,6 mm de la couronne 10.

On remarque que dans tous ces dispositifs on a utilisé un tube conducteur relativement fin dans lequel circule un débit de gaz relativement peu élevé juste suffisant pour alimenter la flamme d'un plasma concentré dans un petit volume à l'extrémité de ce tube. En particulier, ce courant gazeux n'est pas utilisé pour souffler le plasma à l'extérieur du tube 1. Celui-ci se forme et se maintient naturellement à l'extrémité de ce tube en raison de l'énergie à fréquence très élevée qui s'y trouve transférée par les moyens qui ont été explicités. Cette énergie est consommée immédiatement à la sortie du tube par le plasma et ce dernier forme une flamme bien localisée utilisable pour de multiples usages dont certains ont déjà été exposés.

Il est intéressant de noter également que l'on obtient ce plasma dans de très bonnes conditions même à des pressions élevées, telles que la pression atmosphérique contrairement aux résultats obtenus avec certains générateurs de plasma antérieurs. Cette pression peut d'ailleurs être réglée dans une certaine mesure par des dispositifs de tube externe 30 avec amenée de gaz 35 tels que décrits à propos de la figure 3. Cette application aux pressions élevées n'est pas limitative. Grâce à un agencement de type coaxial (14a, 30) tel que représenté à la figure 3, on peut amener le plasma à se former à une certaine distance de la partie excitatrice de ce dernier comprenant le générateur 21 et le dispositif de couplage 7.

En général, la dimension transversale du tube 1

est beaucoup plus faible que celle des manchons 6 et 30, un rapport de 1 à 10 étant courant, d'une part, parce que la formation d'un plasma à haute pression s'effectue plus facilement à la sortie d'une ouverture de petite dimension et d'autre part, parce qu'on a constaté qu'un diamètre de manchon 6 et 30 plus grand que celui du tube 1 était en général nécessaire pour réaliser une adaptation convenable de l'impédance du dispositif. Enfin, l'ouverture centrale 11a dans le flasque frontal 10 doit être dimensionnée de façon suffisamment large pour permettre à l'énergie concentrée dans l'intervalle 13, 13a, ou 13b par le champ électrique intense qui y règne de s'en échapper afin d'être transférée à la partie antérieure du tube.

Le générateur de plasma peut, quelle que soit sa forme de réalisation, être utilisé non seulement pour les propriétés thermiques et optiques de la flamme mais également pour les propriétés mécaniques du plasma. En effet, le gaz sortant du tube 1 à haute température produit une force ; celle-ci peut être utilisée par exemple pour la stabilisation de satellites artificiels.

Ce générateur peut aussi être utilisé pour constituer une source d'ions possédant une référence précise de potentiel constituée par le tube métallique 1. Une source d'ion en effet, implique que les ions engendrés dans un plasma puissent être accélérés pour s'échapper de ce dernier. Cette accélération est en général obtenue en soumettant ces ions à un champ électrique continu entre deux électrodes. Dans une source d'ions incorporant un générateur de plasma selon l'invention, les ions produits sont au potentiel du tube métallique lui-même et il est aisé de les accélérer en plaçant une deuxième électrode à un potentiel convenable à une distance suffisante du plasma.

Revendications

1. Générateur de plasma du type comprenant un tube propre à contenir un gaz, ce tube présentant une partie terminale conductrice de l'électricité pourvue d'une ouverture propre à laisser échapper un gaz circulant dans ce tube et des moyens d'excitation de ce gaz pour créer un plasma, caractérisé en ce que les moyens d'excitation du gaz comprennent des moyens d'alimentation en énergie de fréquence élevée propres à exciter la partie terminale du tube métallique pour émettre une énergie électromagnétique qui rayonne à la sortie de ladite ouverture en l'absence d'ionisation du gaz et est absorbée par celui-ci pour y entretenir la présence d'un plasma dans le cas contraire.

2. Générateur selon la revendication précédente, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alimentation comprennent un générateur d'énergie électrique dont la fréquence est au moins égale à 100 MHz.

3. Générateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la partie

terminale dudit tube est prévue pour fonctionner dans l'air ou dans un environnement gazeux à pression voisine de la pression atmosphérique.

4. Générateur de plasma selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alimentation comprennent des moyens autour du tube pour former avec ce tube une structure d'excitation coaxiale dont ce tube forme l'âme.

5. Générateur de plasma selon la revendication 4, caractérisé en ce que cette structure comprend un manchon conducteur monté à distance autour de ladite partie terminale du tube jusqu'à proximité de ladite ouverture.

6. Générateur de plasma selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alimentation comprennent une liaison coaxiale et une structure d'excitation du tube alimentée par cette liaison, qui comprend un dispositif de couplage propre à adapter l'impédance de cette structure.

7. Générateur de plasma selon la revendication 6, caractérisé en ce que le dispositif de couplage comprend un premier manchon conducteur coaxial audit tube et connecté à un conducteur de ladite liaison coaxiale, un deuxième conducteur entourant le premier manchon connecté à l'autre conducteur de ladite liaison coaxiale et des moyens conducteurs entre ce premier et ce deuxième manchon pour ménager un intervalle où règne un champ électrique élevé autour dudit tube.

8. Générateur selon la revendication 6, caractérisé en ce que le dispositif de couplage comprend : un premier manchon conducteur autour du tube relié à un conducteur de ladite liaison coaxiale ; un organe conducteur reliant le tube au premier manchon ; un deuxième manchon conducteur autour du premier manchon relié à l'autre conducteur de ladite liaison coaxiale ; un flasque fermant l'espace entre le premier et le deuxième manchon du côté opposé à ladite partie terminale du tube ; un deuxième flasque pourvu d'une ouverture centrale fermant en partie l'espace entre le premier et le deuxième manchon du côté de ladite partie terminale de façon à définir un intervalle entre le premier manchon et les bords de l'ouverture centrale dans ce flasque ; la partie terminale du tube se prolongeant au-delà de cette ouverture centrale.

9. Générateur de plasma selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce qu'il existe un intervalle annulaire entre le tube et le premier manchon.

10. Générateur de plasma selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il existe un intervalle entre ledit tube et les bords de ladite ouverture dans le flasque en couronne.

11. Générateur selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite liaison coaxiale est réunie auxdits premier et deuxième manchons au voisinage du deuxième flasque.

12. Générateur de plasma selon l'une des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que ledit organe conducteur entre le tube et le premier manchon est monté entre les extrémités dudit

manchon.

13. Générateur de plasma selon l'une des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que ledit organe conducteur est monté à l'extrémité du premier manchon vis-à-vis de ladite ouverture centrale du deuxième flasque.

14. Générateur de plasma selon l'une des revendications 8 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend un troisième manchon métallique conducteur relié audit deuxième flasque autour de ladite ouverture et entourant la partie terminale dudit tube conducteur hors desdits premier et deuxième manchons.

15. Générateur de plasma selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comprend une admission de gaz à l'intérieur de la chambre définie entre le troisième manchon et ledit tube conducteur.

16. Générateur de plasma selon la revendication 15, caractérisé en ce que ladite ouverture centrale est fermée par une plaque non conductrice anti-diffusante.

17. Générateur de plasma selon l'une des revendications 6 à 16, caractérisé en ce que le dispositif de couplage comprend des moyens d'adaptation d'impédance réglables.

18. Générateur de plasma selon l'une des revendications 8 à 16, caractérisé en ce que la position de l'organe conducteur entre le tube et le premier manchon est réglable axialement.

19. Générateur de plasma selon l'une des revendications 8 à 16, caractérisé en ce que la position du premier flasque par rapport auxdits premier et deuxième manchons est réglable axialement.

20. Générateur de plasma selon l'une des revendications 1 à 19 caractérisé en ce que ladite ouverture dudit tube est pratiquée dans un embout amovible ou réfractaire à la chaleur.

21. Générateur de plasma selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la surface interne dudit tube est couverte d'un revêtement protecteur.

22. Application d'un générateur de plasma selon l'une des revendications précédentes à la réalisation d'un chalumeau, d'une source d'ions, d'une source lumineuse ou d'un moteur à plasma.

Claims

1. A plasma generator of the type comprising a tube suitable for containing a gas and means for exciting the gas to create a plasma, the tube having an end portion fitted with an opening suitable for allowing gas flowing in the tube to escape, the generator being characterized in that the means for exciting the gas comprise high frequency power supply means suitable for exciting the electrically conductive end portion of the metal tube to emit electromagnetic energy which, in the absence of ionized gas, radiates on leaving the opening and which, in the presence of ionized gas, is absorbed thereby to maintain the presence

of a plasma.

2. A generator according to the preceding claim, characterized in that the said power supply means comprise an electrical power generator having a frequency which is at least equal to 100 MHz.

3. A generator according to any preceding claim, characterized in that the end portion of the said tube is intended to operate in air or in a gaseous environment at a pressure close to atmospheric pressure.

4. A plasma generator according to any preceding claim, characterized in that the said power supply means include means around the tube for forming, together with the tube, a coaxial excitation structure in which the tube forms the core.

5. A plasma generator according to claim 4, characterized in that the said structure includes a conductive sleeve disposed around the said end portion of the tube at a distance therefrom and up to the vicinity of the said opening.

6. A plasma generator according to any one of claims 1 to 3, characterized in that the said power supply includes a coaxial link and a tube excitation structure powered via the link and including a coupling device suitable for matching the impedance of the excitation structure.

7. A plasma generator according to claim 6, characterized in that the coupling device includes a first conductive sleeve coaxial with the said tube and connected to a conductor of the said coaxial link, a second conductive sleeve surrounding the first sleeve and connected to the other conductor of the said coaxial link, and conductor means between the first and second sleeves to provide a space in which there is a high electric field around the said tube.

8. A generator according to claim 6, characterized in that the coupling device comprises : a first conductive sleeve around the tube and connected to one of the conductors of the said coaxial link ; a conductor member connecting the tube to the first sleeve ; a second conductive sleeve around the first sleeve and connected to the other conductor of the said coaxial link ; an end plate closing the space between the first and second sleeves at their end distant from the said end portion of the tube ; a second end plate having a central opening which partially closes the space between the first and second sleeves at their end close to the said end portion, thereby defining a gap between the first sleeve and the edges of the central opening in said end plate ; the end portion of the tube projecting beyond said central opening.

9. A plasma generator according to claim 7 or 8, characterized in that there is an annular gap between said tube and the first sleeve.

10. A plasma generator according to claim 8, characterized in that there is a gap between the said tube and the edges of the said opening in the surrounding end plate.

11. A generator according to claim 8, characterized in that the said coaxial link is connected to said first and second sleeves in the vicinity of the

second end plate.

12. A plasma generator according to any one of claims 8 to 11, characterized in that the said conductive member between the tube and the first sleeve is connected between the ends of said sleeve.

13. A plasma generator according to any one of claims 8 to 11, characterized in that the said conductive member is connected to the end of the first sleeve which faces said central opening in the second end plate.

14. A plasma generator according to any one of claims 8 to 11, characterized in that it includes a third metal sleeve connected to the said second end plate around the said opening and surrounding the end portion of the said tube outside said first and second sleeves.

15. A plasma generator according to claim 14, characterized in that it includes an inlet for admitting gas into the chamber defined between the third sleeve and the said conductive tube.

16. A plasma generator according to claim 15, characterized in that the said central opening is closed by a non-conductive anti-diffusion plate.

17. A plasma generator according to any one of claims 6 to 16, characterized in that the coupling device includes adjustable impedance matching means.

18. A plasma generator according to any one of claims 8 to 16, characterized in that the position of the conductive member between the tube and the first sleeve is axially adjustable.

19. A plasma generator according to any one of claims 8 to 16, characterized in that the position of the first end plate relative to said first and second sleeves is axially adjustable.

20. A plasma generator according to any one of claims 1 to 19, characterized in that the said opening in said tube is made in a removable or heat refractory end piece.

21. A plasma generator according to any preceding claim, characterized in that the inside surface of the said tube is covered by a protective layer.

22. The application of a plasma generator according to any preceding claim to the implementation of a torch, a source of ions, a light source, or a plasma motor.

Ansprüche

1. Plasmagenerator des Typs mit einem zur Aufnahme eines Gases geeigneten Rohr, das einen Endabschnitt mit einer Öffnung aufweist, durch die ein im Rohr strömendes Gas austreten kann, sowie mit Mitteln, um das Gas zwecks Erzeugung eines Plasmas zu erregen, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den Mitteln zur Erregung des Gases um eine Anordnung zur Speisung mit hochfrequenter Energie handelt, die den elektrisch leitfähigen Endabschnitt des metallischen Rohres erregen kann, um elektromagnetische Energie auszusenden, die bei fehlender Ionisierung aus dem Ausgang der Öffnung abstrahlt und im entgegengesetzten Fall

vom Gas absorbiert wird, um dort ein Plasma aufrechtzuerhalten.

2. Generator nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Speiseanordnung einen Generator elektrischer Energie einer Frequenz von mindestens 100 MHz aufweist.

3. Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Endabschnitt des Rohrs zum Arbeiten in Luft oder in einer gasförmigen Umgebung vorgesehen ist, deren Druck etwa dem atmosphärischen Druck entspricht.

4. Plasmagenerator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Speiseanordnung um das Rohr verlaufende Mittel aufweist, die mit diesem Rohr zusammen eine koaxiale Erregerstruktur bilden, deren Innenleiter das Rohr ist.

5. Plasmagenerator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur einen leitfähigen Mantel aufweist, der im Abstand um den Endabschnitt des Rohres bis nahe der Öffnung verläuft.

6. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Speiseanordnung eine Koaxialverbindung sowie eine von dieser Verbindung gespeiste Speiseeinrichtung für das Rohr aufweist, die eine Koppelanordnung zur Impedanzanpassung an diese Struktur enthält.

7. Plasmagenerator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelanordnung einen mit dem ersten Rohr koaxialen leitfähigen ersten Mantel, der mit einem Leiter der genannten Koaxialverbindung verbunden ist, einen den ersten Mantel umgebenden zweiten leitfähigen Mantel, der an den anderen Leiter der genannten Koaxialverbindung angeschlossen ist, sowie leitende Mittel zwischen dem ersten und dem zweiten Mantel so aufweist, daß ein Zwischenraum verbleibt, in dem um das Rohr herum ein starkes elektrisches Feld herrscht.

8. Generator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelanordnung einen um das Rohr verlaufenden und mit einem Leiter der genannten Koaxialverbindung verbundenen leitfähigen ersten Mantel, ein das Rohr mit dem ersten Mantel verbindendes leitfähiges Element, einen um den ersten Mantel verlaufenden und mit dem anderen Leiter der genannten Koaxialverbindung verbundenen zweiten leitfähigen Mantel, einen dem Raum zwischen dem ersten und dem zweiten Mantel abschließenden Flansch am dem Endabschnitt gegenüberliegenden Rohrende sowie einen zweiten Flansch aufweist, der mit einer Zentralöffnung versehen ist und den Raum zwischen dem ersten und dem zweiten Mantel auf der Seite des Endabschnitts so abschließt, daß zwischen dem ersten Mantel und dem Rand der Zentralöffnung ein Zwischenraum bleibt, wobei der Endabschnitt des Rohres über diese Zentralöffnung hinaus vorsteht.

9. Plasmagenerator nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch einen ringförmigen Zwischenraum zwischen dem Rohr und dem ersten Mantel.

10. Plasmagenerator nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch einen Zwischenraum zwischen dem Rohr und dem Rand der Öffnung in kronenartig gestalteten Flansch.

11. Generator nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Koaxialverbindung mit dem ersten und dem zweiten Mantel in der Nähe des zweiten Flansches verbunden ist.

12. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende Element zwischen dem Rohr und dem ersten Mantel an einer Stelle zwischen den Enden dieses Mantels angebracht ist.

13. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende Element am Ende des ersten Mantels gegenüber der Zentralöffnung im zweiten Flansch befestigt ist.

14. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 8 bis 11, gekennzeichnet durch einen leitfähigen metallischen dritten Mantel, der mit dem um die Öffnung verlaufenden zweiten Flansch verbunden ist und den Endabschnitt des leitfähigen Rohres außerhalb des ersten und des zweiten Mantels umgibt.

15. Plasmagenerator nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch einen Gaseinlaß zum Inneren der zwischen dem dritten Mantel und dem leitfähigen Rohr gebildeten Kammer.

16. Plasmagenerator nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die genannte Zentralöffnung durch eine nichtleitende undurchlässige Platte abgeschlossen ist.

17. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 6 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelanordnung verstellbare Mittel zur Impedanzanpassung aufweist.

18. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage des leitfähigen Elements zwischen dem Rohr und dem ersten Mantel axial veränderbar ist.

19. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage des ersten Flansches bezüglich des ersten und des zweiten Mantels axial veränderbar ist.

20. Plasmagenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die genannte Öffnung des Rohrs sich in einem unbeweglichen oder wärmefesten Abschlußelement befindet.

21. Plasmagenerator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenfläche des Rohrs mit einem schützenden Belag bedeckt ist.

22. Verwendung eines Plasmagenerators nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Schaffung eines Schweißbrenners, einer Ionenquelle, einer Leuchtquelle oder eines Plasmamotors.

FIG. 1

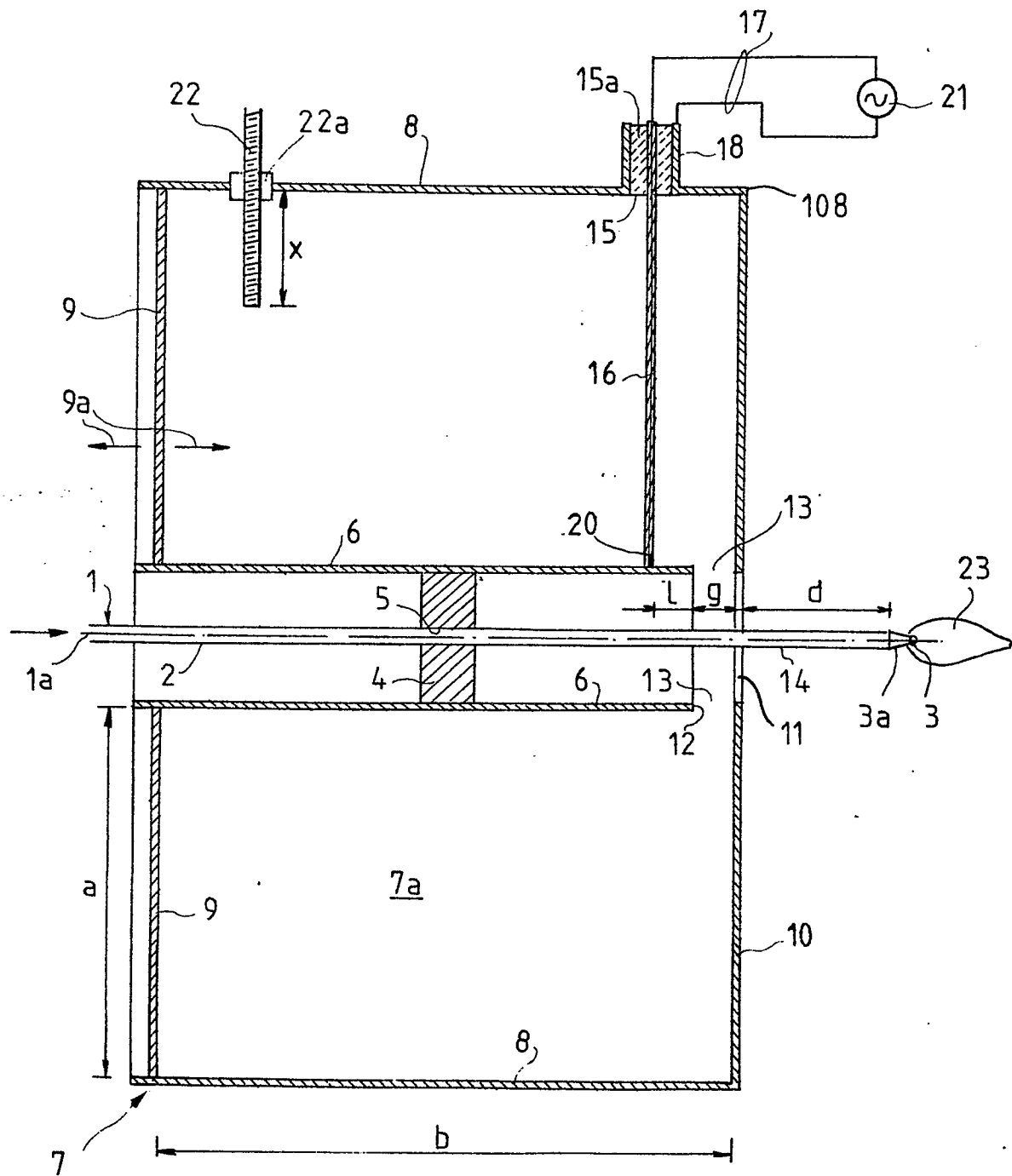


FIG. 2

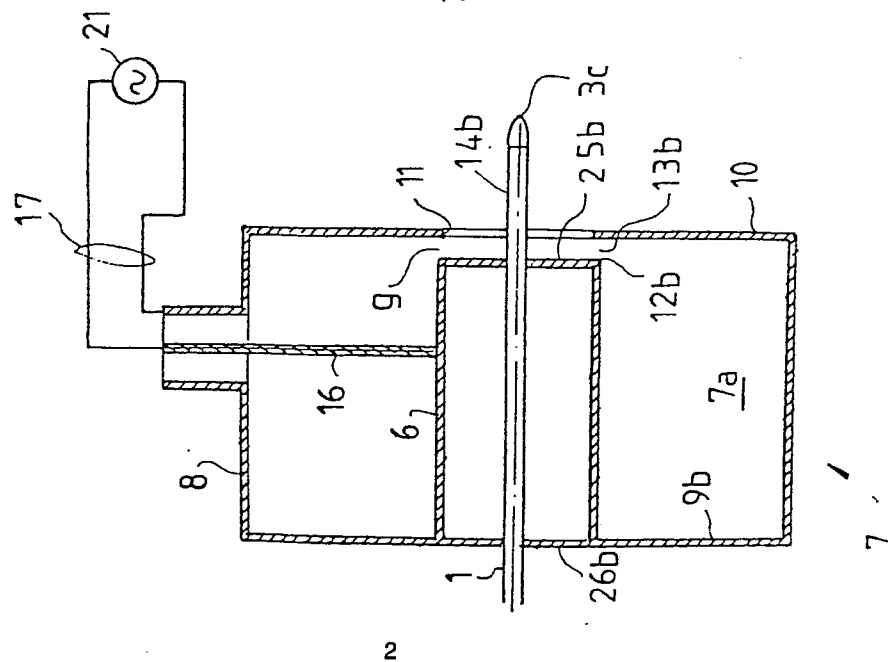


FIG. 3

