

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26 mars 1986.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 40 du 2 octobre 1987.

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, Etablissement public. — FR.

72 Inventeur(s) : Jacques Menet et Vincent Comparat.

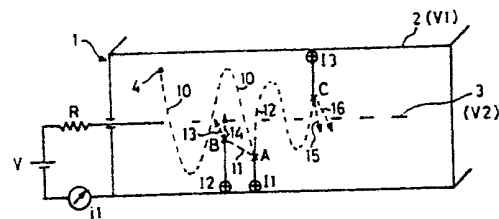
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Michel de Beaumont.

54 Générateur de plasma.

57 La présente invention concerne un générateur de plasma. Ce générateur de plasma comprend une enceinte 2 à un premier potentiel V_1 remplie d'un gaz à faible pression et une surface d'électrode transparente constituée d'un réseau de fils, d'une grille ou d'une plaque perforée 3 à un second potentiel V_2 supérieur à V_1 . Ainsi, un électron 4 présent dans l'enceinte sera entraîné en oscillation de part et d'autre de la surface d'électrode transparente 3 pour fournir des électrons secondaires 11 et 12 qui donneront eux-mêmes naissance à d'autres électrons secondaires 13-14, 15-16. Egalement, à chaque fois seront créés des ions 11, 12, 13...

Application comme source lumineuse, source d'ions, pompe ionique, jauge de pression...



GENERATEUR DE PLASMA

La présente invention concerne un générateur de plasma. Cette invention a été faite à l'Institut des Sciences Nucléaires, Université de Grenoble 1, laboratoire de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules numéro 24021, Institut National du CNRS.

Un tel générateur de plasma peut avoir de nombreuses applications. Il peut servir tout simplement en tant que source de plasma dans des buts d'analyse scientifique du comportement d'un plasma ou de caractérisation des gaz contenus dans le plasma. Ce générateur de plasma peut également être adapté pour servir de source lumineuse, de source d'ions, de pompe ionique, ou de jauge de pression, ces applications n'étant pas limitatives. On s'intéressera ici plus particulièrement à l'application comme source d'ions, mais les autres applications de l'invention seront également décrites par la suite.

En effet, dans de nombreuses techniques industrielles, on fait usage d'implantations ou de bombardements ioniques pour modifier les caractéristiques de matériaux. Un exemple classique est celui de l'implantation ionique dans les matériaux semiconducteurs ; et c'est surtout pour ces applications que les implanteurs ioniques ont été développés. On voit maintenant se développer des applications de l'implantation ionique dans le traitement des matériaux. Par exemple, l'implantation d'azote dans les aciers permet de conférer à des outils des caractéristiques de durcissement et des propriétés anticorrosion. Egalement, on envisage le traitement de matières plastiques, par exemple pour les rendre conductrices, ce qui permettrait d'obtenir des conducteurs de poids plus faible que les conducteurs métalliques.

Dans ces types d'applications, il serait souhaitable de disposer de sources ioniques de grandes dimensions pour réduire la durée d'implantation, celle-ci étant actuellement réalisée par balayage à partir d'une source fournissant un faisceau d'ions de petite section.

On connaît dans l'art antérieur des sources d'ions à un ou deux fils d'anode en parallèle, par exemple comme cela est décrit dans le brevet français N° 79/08537 publié sous le N° 2 422 253. Toutefois, de tels dispositifs ne fournissent des ions que sur une dimension et sont sujets à des instabilités quand on cherche à augmenter la densité d'ions en augmentant la tension d'anode pour obtenir des faisceaux de très forte intensité.

De même, dans le domaine du pompage des enceintes à faible pression, il est connu d'utiliser des générateurs d'ions, ces ions étant ensuite captés. Certaines pompes ioniques utilisent un champ magnétique de confinement ce qui augmente leur poids et leur coût. Les pompes ioniques électrostatiques (Orbitron) (voir R.G. Herb et al, Bull. Am. Phys. Soc. 8, 336, 1963) utilisent un fil autour duquel tournent les électrons qui ionisent le gaz résiduel. La forme de l'enceinte ne peut donc être qu'un cylindre.

Ainsi, un objet de la présente invention est de prévoir un générateur de plasma de grande dimension et/ou de diverses configurations. Par grande dimension, on entend que l'étendue du dispositif n'est limitée que par des considérations pratiques. On pourrait par exemple envisager un appareil d'étendue bien supérieure au mètre carré.

Un autre objet de la présente invention est de prévoir un tel générateur de plasma qui soit particulièrement simple à réaliser et à mettre en oeuvre.

Un autre objet de la présente invention est de prévoir un tel générateur de plasma qui soit adaptable comme source lumineuse, comme source d'ions, comme pompe ionique ou comme jauge de pression.

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, la présente invention prévoit un générateur de plasma de grande dimension comprenant une enceinte, à un premier potentiel électrique (V1), remplie d'un gaz à ioniser à basse pression, cette enceinte contenant une première surface d'électrode transparente à un deuxième potentiel électrique (V2) supérieur au premier d'une quantité supérieure au seuil d'ionisation du gaz à ioniser. Cet appareil ne fait pas usage d'un champ magnétique.

Dans un mode de réalisation, une paroi de ladite enceinte est constituée, au moins en partie, d'une deuxième surface d'électrode transparente et cette enceinte est complètement entourée d'une deuxième enceinte, cette deuxième enceinte étant à un potentiel (V3) inférieur ou égal au premier potentiel.

Dans un mode de réalisation, le troisième potentiel est celui de la masse.

La pression du gaz contenu dans l'enceinte d'ionisation peut être de 10^{-1} à 10^{-4} torr.

Ces objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ainsi que les principes sur lesquels elle se base seront exposés plus en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 est une vue en coupe schématique et simplifiée d'un générateur de plasma selon la présente invention destinée essentiellement à en expliquer le fonctionnement ;

la figure 2 est une vue en coupe schématique et simplifiée d'un générateur de plasma selon une variante de réalisation ;

la figure 3A représente une modification du générateur de plasma pour une utilisation comme source de lumière ;

la figure 3B représente une variante d'utilisation comme source de lumière ;

les figures 4 et 5 représentent très schématiquement deux variantes d'un générateur de plasma modifié pour servir de source d'ions ; et

la figure 6 représente de façon très schématique une variante du générateur de plasma selon la présente invention appliquée à une utilisation comme pompe ionique.

Les diverses figures ne sont pas représentées à l'échelle, les dimensions relatives de certains éléments ayant été arbitrairement agrandies pour en faciliter la lisibilité.

De même les éléments de fixation et supports mécaniques des différentes électrodes et enceintes ont été omis dans un souci de simplification car leur conception ne pose aucun problème particulier pour l'homme de l'art.

Comme le montre la figure 1, dans un environnement dans lequel se trouve un gaz à faible pression, le générateur de plasma 1 selon la présente invention comprend une première enceinte 2 constituée d'un matériau électriquement conducteur à un potentiel 5 VI. Dans la figure, cette enceinte est un cylindre de section rectangulaire. Le gaz à faible pression correspond aux ions que l'on veut former, par exemple O₂, N₂, H₂, Kr, A... La régulation de pression pourra être réalisée de façon classique par apport de gaz et pompage.

10 Dans l'enceinte 2, est disposée une électrode transparente 3, à un potentiel électrique V2 supérieur au potentiel VI.

On entend dans la présente demande par "électrode transparente" une électrode munie d'ouvertures, constituée par exemple de fils, d'une grille ou d'une plaque perforée, permettant 15 d'établir une surface équipotentielle tout en laissant le passage à des particules telles que des ions ou des électrons, cette surface équipotentielle pouvant avoir toute forme, courbure et étendue souhaitée en vue d'un résultat particulier.

L'électrode transparente est maintenue mécaniquement par 20 des supports traversant l'enceinte 2. Ces supports sont isolés électriquement de l'enceinte 2 et permettent d'amener la tension V2 d'une source de tension extérieure sur l'électrode 3.

On a fait figurer un schéma de circuit électrique extérieur permettant de faire fonctionner un tel générateur et 25 comprenant une source de tension V, une résistance R et un moyen de mesure de courant (il). La tension électrique V est choisie de manière à satisfaire la relation :

$$V = RiI + (V2 - VI)$$

Le fonctionnement du dispositif de la figure 1 peut être 30 expliqué de façon schématique comme suit. Si l'on considère un électron 4 produit à l'intérieur de l'enceinte 2 - par exemple par un rayonnement cosmique, ou par une ionisation résultant d'une collision - se déplaçant suivant le trajet en pointillés 10, cet électron est d'abord attiré par l'électrode transparente 3 à un 35 potentiel V2 supérieur au potentiel VI de l'enceinte et oscille ensuite de part et d'autre de cette électrode transparente par

laquelle il est régulièrement réattiré. A noter que les électrons produits dans l'enceinte 2 sont repoussés par cette dernière. Si, à l'emplacement A, l'électron rencontre un atome ou une molécule du gaz à faible pression contenu dans l'enceinte, il se produit
5 l'apparition d'un ion positif I1 et d'un deuxième électron. L'ion I1 est attiré par l'enceinte 2 où il est neutralisé. A la suite de la collision, les deux électrons (l'électron initial et l'électron nouvellement créé) suivent des trajets respectifs I1 et I2. L'électron suivant le trajet I1 subira au point B une nouvelle
10 collision avec un atome du gaz contenu dans l'enceinte pour fournir un nouvel ion I2 et deux nouveaux électrons suivant des trajets I3 et I4. De même, le deuxième électron suivant le trajet I2, entrera en collision avec un nouvel atome au point C pour fournir un ion I3 et deux nouveaux électrons qui suivront des trajets I5
15 et I6. Comme l'ion I1, les ions I2 et I3 seront attirés par l'enceinte 2 et les électrons suivant les trajets I3, I4, I5 et I6 subiront à leur tour des collisions pour produire chaque fois un nouvel ion et deux électrons. Ainsi, si aucun phénomène d'amortissement n'existait, on assisterait à une multiplication
20 infinie du nombre des électrons par puissances successives de 2.

En fait, le phénomène sera amorti par suite de la transparence nécessairement non nulle de l'électrode transparente 3, par suite d'éventuelles collisions entre des électrons et des ions précédemment formés et non encore extraits de l'enceinte, et par
25 suite d'autres phénomènes parasites.

Les caractéristiques de la multiplication électronique et ionique dépendent de la forme géométrique du générateur, de la nature des matériaux constituant les enceintes, de la transparence de l'électrode 3 et de la différence $V2 - V1$.

30 La configuration décrite permet donc de confiner les électrons sans l'aide d'un champ magnétique et de les multiplier de façon très efficace par la création d'un potentiel électrique variable dans un gaz à faible pression et ceci pour une grande variété de dimensions et de formes d'enceintes. Il s'ensuit, si la
35 différence $V2 - V1$ est suffisante, l'instauration d'une décharge dans le gaz qui peut être auto-entretenu et très stable.

On soulignera que l'invention se distingue des réalisations antérieures, telles que décrites dans The Review of Scientific Instruments, Vol. 35, N° 5, Mai 1964, page 569, qui utilisent le pouvoir ionisant d'électrons oscillant dans un volume gazeux mais où, à la différence de l'invention, le volume d'ionisation se trouve à un potentiel électrique constant et où donc il n'y a pas de possibilité d'amplification produite par des électrons secondaires. Ces dispositifs ne fonctionnent qu'à l'aide de sources annexes produisant des électrons (par exemple par 10 émission thermoélectronique).

La figure 2 représente un générateur de plasma selon une variante de la présente invention. On retrouve en figure 2 l'électrode transparente 3 à un potentiel V_2 , entourée d'une enceinte 2 à un potentiel V_1 inférieur au potentiel V_2 . Dans ce mode de 15 réalisation, une partie 21 de la paroi de l'enceinte 2 est elle-même constituée d'une électrode transparente et l'enceinte 2 est entourée d'une deuxième enceinte 22 à un potentiel V_3 inférieur ou égal au potentiel V_1 . Une telle structure assure une augmentation des effets secondaires. En effet, alors que dans le premier mode 20 de réalisation la différence entre les potentiels V_2 et V_1 pouvait être de l'ordre de 400 volts, dans ce deuxième mode de réalisation, la différence entre les potentiels V_2 et V_1 pourra être de l'ordre de 200 volts et la différence entre les potentiels V_2 et V_3 de l'ordre de 800 volts, toutes choses étant égales par 25 ailleurs. Il en résulte une augmentation des effets secondaires par accélération des ions sous une différence de potentiel $V_2 - V_3$ supérieure à la différence de potentiel $V_2 - V_1$ de la figure 1. Les ions frappent la paroi de l'enceinte 22 et les électrons arrachés sont réaccélérés vers la paroi opposée de la première 30 enceinte 2, d'où il résulte une émission d'électrons ce qui augmente le courant électronique dans le générateur de plasma. Ceci permet de diminuer comme on l'a dit précédemment la différence de potentiel $V_2 - V_1$ par rapport au cas du premier mode de réalisation et donc de réduire la puissance dissipée sur 35 l'électrode transparente 3.

On a représenté sur la figure 2 un schéma de circuit électrique simplifié permettant de fixer les potentiels électriques nécessaires au fonctionnement d'un tel générateur et de faire circuler les courants électriques qui s'y développent. Ce circuit comprend, outre les éléments illustrés en figure 1, une 5 deuxième source de tension continue W et un deuxième moyen de mesure de courant i_2 .

On peut vouloir profiter des effets secondaires sur les parois pour ioniser des atomes provenant de ces parois. Dans une 10 configuration du type de la figure 2, en augmentant la différence de potentiel $V_1 - V_3$, par exemple quelques milliers de volts, les ions seront suffisamment accélérés entre l'électrode 21 et l'électrode 22 pour pulvériser le matériau de la paroi 22 et émettre des atomes de ce matériau qui pénétreront dans l'enceinte 2 et qui y 15 seront à leur tour ionisés, le gaz initial étant remplacé au cours du temps par le gaz composé des atomes de la paroi.

Si on reprend l'explication donnée en relation avec la figure 1, un électron initial 4 produira par suite d'une collision en un point A deux électrons secondaires 11 et 12 et un ion 11. 20 Cet ion 11, à la suite de son choc sur la paroi 22, produira au moins un électron secondaire 23 qui, par suite d'un choc sur la paroi opposée de l'enceinte 2 produira par exemple deux électrons secondaires 24 et 25 qui contribueront au phénomène selon l'invention.

25 Lorsque le générateur est en fonctionnement, un courant électrique est créé par le mouvement des électrons et des ions sous l'effet des champs électriques. Pour une géométrie de générateur donnée, un gaz donné et des tensions électriques fixées entre les électrodes, l'intensité de courant électrique dépend 30 seulement de la pression du gaz. Ainsi, un tel générateur d'ions et d'électrons peut être utilisé comme jauge de pression à ionisation, par la mesure de ce courant, particulièrement dans des plages de pression de 10^{-1} à 10^{-4} torr.

La figure 3A représente une première application en tant que source de lumière 30 d'un générateur de plasma tel que le générateur de plasma 1 de la figure 1 ou le générateur de plasma 20 de la figure 2. Dans cette application, la face supérieure 31 du générateur est optiquement transparente tout en comprenant des moyens pour constituer une surface équipotentielle, par exemple un treillis métallique ou une couche optiquement transparente et électriquement conductrice sur sa face interne. On peut ainsi obtenir une source de lumière, notamment ultra-violette, de forme et de dimensions variées et de faible consommation.

La figure 3B représente une variante de réalisation d'une source de lumière dans laquelle on évite que les ions ne viennent frapper la face optiquement transparente 31 de l'enceinte. Une électrode transparente 32 (au sens de l'invention) est insérée entre l'espace d'ionisation délimité par une électrode transparente 21 correspondant à celle de la figure 2 et la fenêtre optique 31. Cette électrode 32 est portée à un potentiel électrique suffisant pour repousser les ions qui auraient traversés l'électrode 21 et les renvoyer vers cette dernière.

Dans les modes de réalisation des figures 3A et 3B on peut aussi prévoir dans l'enceinte des miroirs réfléchissants ou autres systèmes optiques pour augmenter l'intensité de la lumière émise et/ou la focaliser.

La figure 4 représente une source d'ions 40 réalisée à partir du deuxième mode de réalisation du générateur de plasma 20 illustré en figure 2. Dans ces deux figures des éléments analogues portent les mêmes références. En plus du générateur de plasma de la figure 2, la source d'ions de la figure 4 comprend une sortie d'extraction des ions constituée d'une électrode transparente 41 ménagée dans une partie de la paroi de la deuxième enceinte 22 en regard de l'électrode transparente 21 dans la paroi de la première enceinte 2. En outre, une électrode accélératrice et éventuellement focalisatrice d'ions 42 est disposée en regard de cette électrode transparente 41. Le potentiel V_4 auquel est porté l'électrode 42 a une valeur inférieure au potentiel V_3 de l'électrode 41.

Plutôt que de donner à l'électrode accélératrice, ou autre optique électronique, 42 une forme particulière, pour conformer le faisceau de sortie de la façon souhaitée, on peut, comme le représente la variante de la figure 5, donner une forme convexe, par exemple sphérique ou parabolique, aux première, seconde et troisième électrodes transparentes 3, 21 et 41. On peut ainsi obtenir facilement un faisceau d'ions 50 convergent. Ceci est possible du fait que le générateur de plasma fournit des ions sur la surface importante de l'électrode transparente 21. Cette configuration permet d'atteindre des intensités de faisceaux d'ions plus élevées.

A titre d'exemple d'ordres de grandeur, le gaz remplissant le générateur de plasma peut être sous une pression de quelques 10^{-2} à 10^{-3} mm de mercure, les tensions accélératrices V3-V4 ou V1-V4 pouvant alors atteindre quelques dizaines de kilovolts sur un centimètre. On peut ainsi obtenir des faisceaux d'ions accélérés de grandes dimensions et de formes variées suivant la conception des diverses électrodes transparentes et de l'électrode extractrice (faisceau de grande surface, faisceau lamellaire de grande section et grande longueur, faisceau cylindrique, faisceau convergent de grande intensité, etc.). A titre d'exemple, on a obtenu des faisceaux d'ions d'azote de 30 cm x 5 cm de section et de 40 milliampères. De même des faisceaux lamellaires de 0,8 cm X 30 cm ont été obtenus avec une intensité de 7 milliampères. Mais il ne s'agit là que de résultats de premières expériences effectuées par les inventeurs et il est clair que des valeurs plus importantes pourront être obtenues en pratique grâce à la mise en oeuvre de la présente invention.

Une autre application du générateur de plasma selon la présente invention en tant que pompe ionique est illustrée en figure 6. On retrouve dans cette figure la première enceinte 2, la première électrode transparente 3, la deuxième électrode transparente 21 ménagée dans une paroi de la première enceinte 2, et la deuxième enceinte 22. L'ensemble de ce générateur de plasma est disposé dans une troisième enceinte 60 communiquant par une ouverture 61 avec le milieu dans lequel on veut faire le vide. Les

parois des première (2) et seconde (22) enceintes sont respectivement munies d'ouvertures 62 et 63 destinées à laisser entrer les gaz provenant de l'ouverture 61 à l'intérieur de la première enceinte 2. Ainsi, les gaz dans cette première enceinte seront
5 ionisés et, par l'intermédiaire de l'électrode transparente 21, traverseront la première enceinte 2 pour se diriger vers une surface réceptrice prévue en face de la deuxième électrode 21 sur la paroi de la deuxième enceinte 22, par exemple. Cette surface réceptrice agit comme piège pour les ions et peut par exemple être
10 constituée d'une plaque de titane 64, comme cela est connu.

On notera que, quand la pression baisse trop dans l'enceinte 2 par suite du piégeage des ions, par exemple à une valeur inférieure à 10^{-3} ou 10^{-4} mm de mercure selon le gaz que l'on souhaite pomper, l'ionisation s'arrête dans cette première
15 enceinte et le pompage est interrompu. Pour permettre de descendre à des pressions encore plus faibles, on peut prévoir à l'intérieur de la première enceinte 2 un moyen d'ionisation supplémentaire, par exemple un ou plusieurs fils chauds 65, traversés par un courant électrique, émettant des électrons qui sont attirés par
20 l'électrode transparente 3 et oscillent dans l'enceinte. Ceci permet d'amorcer l'ionisation à de faibles pressions, cette ionisation étant ensuite amplifiée par le dispositif selon l'invention.

Il faut noter qu'une telle pompe ionique doit être accompagnée d'un moyen de pompage préliminaire pour amener la
25 pression du gaz résiduel dans le générateur à une valeur lui permettant de fonctionner normalement ; lorsque ceci est acquis, le pompage préliminaire peut être arrêté.

Bien entendu, la présente invention est susceptible de nombreuses variantes. Par exemple, parmi les diverses applications
30 de l'invention, certaines ont été décrites en relation avec le premier ou le second mode de réalisation des figures 1 et 2, il est clair que ces applications peuvent également être mises en oeuvre avec l'autre mode de réalisation. De même, l'utilisation de fils chauds tels que les fils chauds 65 utilisés dans la pompe
35 ionique illustrée en figure 6 peut être adaptée aux autres applications de l'invention si l'on souhaite travailler à faible

pression pour des raisons particulières. D'autres moyens d'ionisation peuvent être employés, par exemple un faisceau de particules ionisantes traversant l'enceinte du générateur, comme l'ont expérimenté les inventeurs.

REVENDEICATIONS

1. Générateur de plasma comprenant une enceinte (2) à un premier potentiel (V1) remplie d'un gaz à ioniser à basse pression, cette enceinte contenant une électrode (3) à un deuxième potentiel (V2) supérieur au premier d'une quantité plus grande que le seuil d'ionisation du gaz à ioniser, caractérisé en ce que ladite électrode est constituée d'une surface d'électrode transparente (3).

2. Générateur de plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une paroi (21) de ladite enceinte (2) est constituée au moins en partie d'une deuxième surface d'électrode transparente et en ce que ladite enceinte est complètement entourée d'une deuxième enceinte (22), cette deuxième enceinte étant à un troisième potentiel (V3) inférieur au premier potentiel (V1).

3. Générateur de plasma selon la revendication 2, caractérisé en ce que la différence entre les premier et troisième potentiels (V1 - V3) est suffisante pour permettre aux ions de pulvériser les atomes de la paroi de la deuxième enceinte (22).

4. Générateur de plasma selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de mesure des courants électriques circulant dans ce générateur, d'où il résulte que le générateur de plasma constitue une jauge de pression à ionisation.

5. Générateur de plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'une portion de paroi (31) de la première enceinte, et éventuellement une portion de paroi correspondante de la deuxième enceinte, est optiquement transparente tout en comprenant des moyens pour constituer une surface équipotentielle, d'où il résulte que le générateur de plasma constitue une source lumineuse.

6. Générateur de plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'une paroi (21) de la première enceinte, et éventuellement une paroi (41) correspondante

de la seconde enceinte, est constituée d'une électrode transparente (41) en regard d'une électrode accélératrice d'ions (42), d'où il résulte que le générateur de plasma constitue une source d'ions.

5 7. Générateur de plasma selon la revendication 6, caractérisé en ce que les électrodes transparentes ont des formes convexes propres, en relation avec l'électrode accélératrice (42), à fournir un faisceau d'ions convergent.

10 8. Générateur de plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il est disposé dans une troisième enceinte (60) en communication avec une zone dans laquelle on souhaite effectuer un pompage, la première enceinte, et éventuellement la seconde enceinte, comprenant des ouvertures (62, 63) de passage du gaz à pomper, une surface réceptrice d'ions
15 (64) permettant le piégeage des ions étant disposée sur une paroi de la première enceinte ou, s'il existe une deuxième enceinte, sur la paroi de la deuxième enceinte en regard de l'électrode transparente ménagée dans la première enceinte, d'où il résulte que le générateur de plasma fonctionne comme une pompe ionique.

20 9. Générateur de plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que, à l'intérieur de la première enceinte, est prévu un moyen d'ionisation.

25 10. Générateur de plasma selon la revendication 9, caractérisé en ce que le moyen d'ionisation est constitué d'un ou plusieurs fils (65) traversés par un courant électrique.

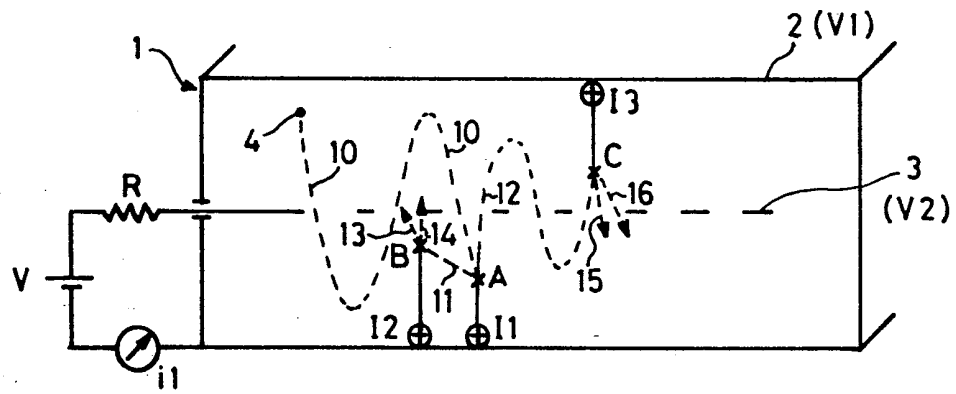


Fig. 1

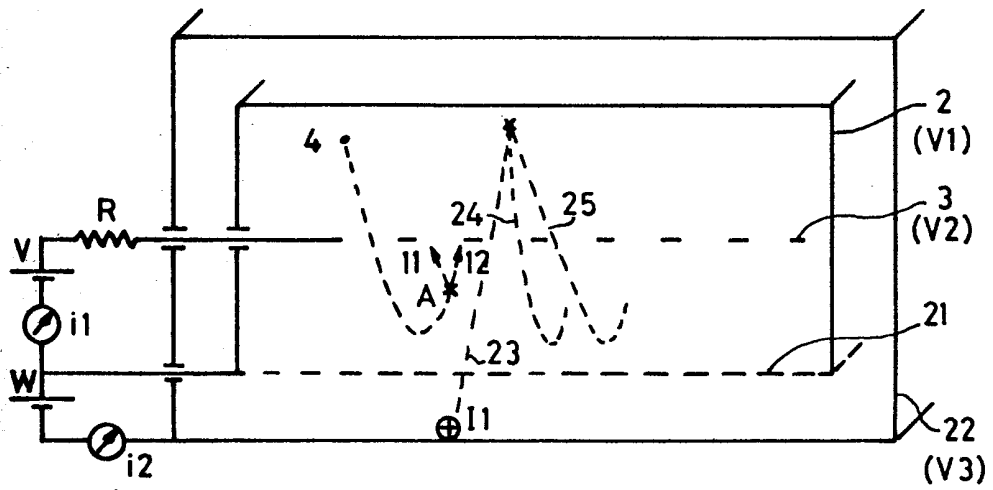


Fig. 2

Fig. 3A

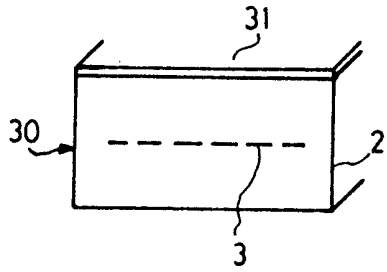


Fig. 3B

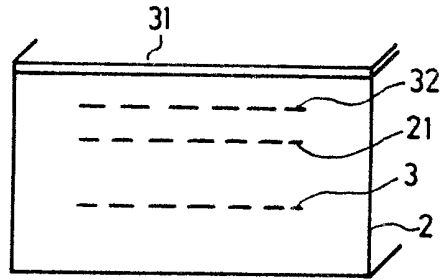


Fig. 4

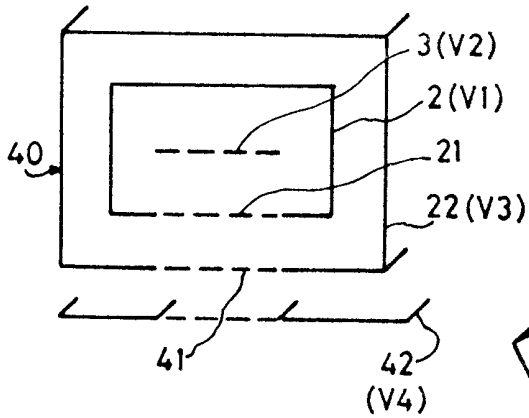


Fig. 5

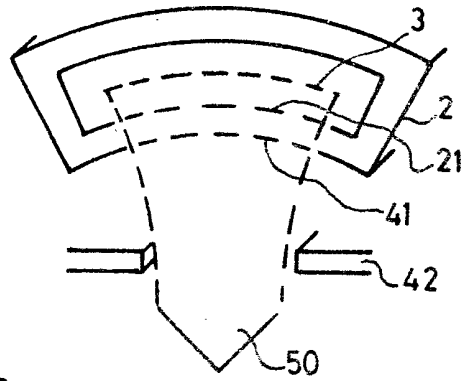


Fig. 6

