

⑫

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt: **87400536.6**

⑤ Int. Cl.4: **H 01 J 27/18**

⑳ Date de dépôt: **11.03.87**

③ Priorité: **13.03.86 FR 8603583**

⑦ Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**  
**31/33, rue de la Fédération**  
**F-75015 Paris (FR)**

④ Date de publication de la demande:  
**23.09.87 Bulletin 87/39**

⑧ Inventeur: **Jacquot, Bernard**  
**1, Boulevard Jomardière**  
**F-38120 Saint Egreve (FR)**

⑥ Etats contractants désignés: **BE DE GB NL**

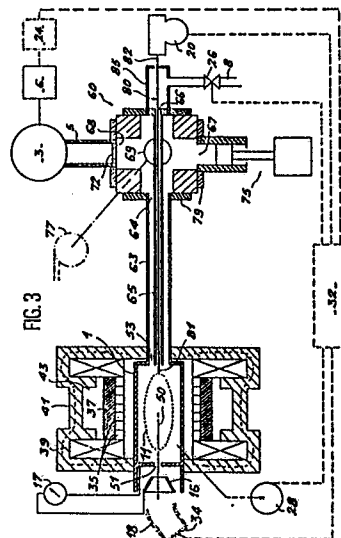
⑨ Mandataire: **Mongrédién, André et al**  
**c/o BREVATOME 25, rue de Ponthleu**  
**F-75008 Paris (FR)**

⑤ Source d'ions à résonance cyclotronique électronique à injection coaxiale d'ondes électromagnétiques.

⑦ Source d'ions à résonance cyclotronique électronique à injection coaxiale d'ondes électromagnétiques.

Cette source comprend dans une structure magnétique (35, 37, 39, 41) blindée une enceinte (1) contenant un plasma d'ions et d'électrons formés par résonance cyclotronique électronique à partir d'un échantillon (80); ladite enceinte est reliée à une cavité de transition (60) par une première canalisation (63) conductrice et par une deuxième canalisation conductrice (65) traversant la cavité et la première canalisation, l'échantillon étant introduit dans l'enceinte à l'intérieur de la deuxième canalisation, ladite cavité étant reliée latéralement à des moyens (77) pour faire le vide et à un générateur (3) d'ondes électromagnétiques par l'intermédiaire d'une fenêtre (72) étanche et transparente.

Application dans des domaines tels que l'implantation ionique, la microgravure ou encore l'équipement des accélérateurs de particules.



## Description

### Source d'ions à résonance cyclotronique électronique à injection coaxiale d'ondes électromagnétiques

La présente invention concerne une source d'ions à résonance cyclotronique électronique, à injection coaxiale d'ondes électromagnétiques, permettant notamment la production d'ions multichargés.

Elle trouve de nombreuses applications en fonction des différentes valeurs de l'énergie cinétique des ions produits, dans le domaine de l'implantation ionique, de la microgravure, et plus particulièrement dans l'équipement des accélérateurs de particules utilisés aussi bien dans le domaine scientifique que médical.

Dans les sources d'ions à résonance cyclotronique électronique, les ions sont obtenus par ionisation dans une enceinte fermée telle qu'une cavité hyperfréquence, d'un milieu gazeux constitué d'un ou plusieurs gaz ou de vapeurs métalliques, au moyen d'électrons fortement accélérés par résonance cyclotronique électronique.

La résonance cyclotronique électronique est obtenue grâce à l'action conjuguée d'un champ électromagnétique de haute fréquence injecté dans l'enceinte et d'un champ magnétique à symétrie axiale créé dans l'enceinte. Ce champ magnétique axial qui présente une amplitude croissante du centre de l'enceinte aux extrémités de cette dernière, présente en particulier une amplitude  $B_r$  qui satisfait à la condition de résonance cyclotronique électronique  $B_r = f \cdot 2\pi m / e$ , dans laquelle  $e$  représente la charge d'un électron,  $m$  sa masse et  $f$  la fréquence du champ électromagnétique. Ce champ magnétique axial est généralement créé par des solénoïdes ou bobines magnétiques entourant l'enceinte.

Dans ce type de source d'ions, la quantité d'ions pouvant être produits résulte de la compétition entre deux processus, d'une part la formation des ions par l'impact d'électrons sur des atomes neutres constituant le milieu gazeux à ioniser et d'autre part la destruction de ces mêmes ions par recombinaison, lors d'une collision de ces ions avec un atome neutre. Cet atome neutre peut provenir d'atomes du milieu gazeux non encore ionisé ou bien être produit par l'impact d'un ion sur les parois de l'enceinte.

Pour minimiser la destruction des ions formés, on confine dans l'enceinte les ions formés, ainsi que les électrons servant à l'ionisation des atomes neutres, on diminue ainsi les collisions des ions et des électrons avec les parois de l'enceinte. Pour cela, on crée à l'intérieur de cette enceinte, un champ magnétique radial qui se superpose au champ magnétique axial. La superposition de ces champs magnétiques définit dans l'enceinte au moins une nappe fermée dite "équimagnétique", n'ayant aucun contact avec les parois de l'enceinte. Cette nappe représente le lieu des points où l'amplitude des champs magnétiques présente la même valeur.

Le champ magnétique radial est en particulier engendré par des barreaux aimantés disposés symétriquement autour de l'enceinte et constitué chacun de plusieurs aimants élémentaires accolés.

Les figures 1a et 1b représentent schématiquement un exemple de source d'ions à résonance cyclotronique électronique connue.

5 Cette source d'ions est décrite dans le document FR-A-2 553 574 déposé le 17 octobre 1983 au nom du même demandeur.

10 Cette source d'ions comprend une enceinte 2 à l'intérieur de laquelle un vide poussé a été réalisé, cette enceinte constitue une cavité résonnante pouvant être excitée par un champ électromagnétique haute fréquence. Ce champ électromagnétique est produit par un générateur d'ondes électromagnétiques 3 tel qu'un klystron alimenté en courant par une source d'alimentation 6. Ce champ est introduit dans l'enceinte 2 par un guide d'ondes 4 tel qu'une canalisation métallique.

15 Cette source d'ions comprend d'autre part, des moyens 10 schématisés en traits mixtes permettant de créer un champ magnétique axial et un champ magnétique radial à l'intérieur de l'enceinte 2. Ces champs magnétiques permettent de définir une nappe fermée équimagnétique, référencée 11.

20 Pour ioniser un gaz, on introduit celui-ci dans l'enceinte 2 par une canalisation 8. L'association du champ magnétique axial et du champ électromagnétique permet d'ioniser fortement le gaz introduit dans l'enceinte. Les électrons produits sont alors fortement accélérés par résonance cyclotronique électronique, ce qui conduit à la formation d'un plasma d'électrons chauds confinés dans la nappe 11.

25 Dans le cas de la production d'ions à partir d'un échantillon solide 12, notamment métallique, celui-ci est fixé sur un support 14 dans l'enceinte 2, au voisinage de la nappe 11. L'échantillon solide 12 est tout d'abord vaporisé, les vapeurs obtenues étant comme dans le cas d'un gaz, ionisées. De même que décrit précédemment un plasma d'électrons chauds se forme dans la nappe 11.

30 La vaporisation de l'échantillon solide est due à l'interaction du plasma chaud sur l'échantillon. Au démarrage de la réaction de vaporisation, le plasma chaud nécessaire peut être produit par l'ionisation d'un gaz introduit dans l'enceinte 2 par la canalisation 8. Ce gaz est injecté uniquement pour faire démarrer la réaction de vaporisation, le plasma chaud nécessaire pour entretenir la réaction de vaporisation provenant ensuite de l'échantillon solide lui-même.

35 Quel que soit le type d'échantillon utilisé, les ions formés dans l'enceinte sont extraits de celle-ci par exemple par un champ électrique d'extraction généré par une différence de potentiel créée entre une électrode 16 de révolution et l'enceinte 2, l'électrode 16 et l'enceinte étant reliées à une source d'alimentation 17.

40 Pour obtenir un courant d'ions d'intensité constante, on régule ce courant d'ions par un dispositif de contrôle et de régulation.

45 Les figures 1a et 1b représentent respectivement un exemple de dispositif de contrôle et de régulation. Ce dispositif de contrôle et de régulation

comprend des moyens schématisés en 18 utilisant un champ électrique et/ou magnétique pour analyser les ions issus de l'enceinte 2. Ce dispositif comprend également un moteur 20, relié par l'intermédiaire d'une tringle 22 au support 14 de l'échantillon solide 12, permettant de déplacer lentement ce dernier de façon qu'il intercepte au mieux le plasma confiné dans la nappe 11. Plus l'échantillon solide 12 pénètre à l'intérieur de l'enceinte 2, plus sa température et son taux de vaporisation sont élevés.

Ce dispositif comprend également un générateur d'impulsions 24 relié à la source d'alimentation 6. Ce générateur d'impulsions permet en ajustant le cycle, c'est-à-dire le rapport entre la durée d'une impulsion et la période des impulsions, de commander la source d'alimentation 6 alimentant le générateur 3 d'ondes électromagnétiques. Le contrôle de la puissance moyenne du champ électromagnétique est donc obtenu en pulsant celui-ci.

Par ailleurs, pour réguler le courant d'ions sortant de l'enceinte 2, la pression totale régnant dans l'enceinte doit être maintenue constante. Des moyens 28 de mesure de pression totale reliés à l'enceinte 2, tels qu'un manomètre permettent par l'intermédiaire d'un dispositif approprié d'assurer le fonctionnement d'une vanne 26, reliée à la canalisation 8 d'introduction de gaz, pour que la pression totale régnant dans l'enceinte reste constante. Ce dispositif approprié peut être comme représenté sur la figure 1a, un comparateur 30 ou comme représenté figure 1b un microprocesseur 32.

Le comparateur 30 est relié aux moyens 28 et à la vanne 26, une tension de référence R étant appliquée à ce comparateur.

Le microprocesseur 32 est relié à des moyens 34 de mesure de l'intensité du courant d'ions extraits, aux moyens 28, à la vanne 26, au moteur 20 et au générateur d'impulsion 24. Ce microprocesseur 32 permet donc une régulation automatique du courant d'ions.

Les figures 2a et 2b représentent schématiquement un dispositif connu permettant de produire des ions multichargés, par une structure magnétique blindée. Ce blindage permet de ne magnétiser que le volume utile à la résonance cyclotronique électronique dans une enceinte 1. Le dispositif représenté sur les figures 2a et 2b est décrit dans le document EP-A-0 138 642 déposé le 17 août 1984 au nom du même demandeur.

Ce dispositif comprend des aimants permanents 35 fixés sur la paroi interne d'un cylindre 37 d'un matériau ferromagnétique, des solénoïdes 39 disposés de part et d'autre du cylindre 37 et un blindage magnétique 41. Un matériau 43 permet d'isoler magnétiquement le cylindre 37 du blindage 41.

Les aimants permanents 35 répartis suivant la section circulaire du cylindre 37 (figure 2a) peuvent être quadripolaire, hexapolaire, octopolaire,... (figure 2b). Ces aimants permanents réalisent un champ magnétique radial 45 multipolaire. Par ailleurs, les bobines 39 fournissent un champ magnétique axial 49. La superposition de ces deux champs magnétiques engendre une nappe fermée équimagnétique

11.

Un tel dispositif connu permet de réaliser une source d'ions opaque, blindée magnétiquement dont l'axe magnétique référencé 50 est confondu avec celui des solénoïdes 39 et du cylindre 37. Cet axe magnétique 50 qui est aussi l'axe longitudinal du dispositif, traverse le blindage 41 par deux ouvertures 51, 53 aménagées dans celui-ci pour permettre d'une part l'extraction des ions de l'enceinte 1, et d'autre part l'introduction des ondes électromagnétiques et l'introduction de l'échantillon dans l'enceinte 1.

L'injection axiale des ondes électromagnétiques dans l'enceinte pose certains problèmes. En effet, il n'y a pas de champ magnétique en amont de l'enceinte 1 au niveau de l'ouverture axiale 53. Cette absence de champ magnétique ne permet pas de guider facilement les ondes électromagnétiques vers l'enceinte 1 comme dans le cas des figures 1a et 1b annexées où les ondes électromagnétiques pénètrent dans l'enceinte dans un champ magnétique relativement uniforme.

Par ailleurs, au niveau de l'ouverture axiale 53 située dans le blindage magnétique, les ondes électromagnétiques doivent traverser une zone de résonance où le module du champ magnétique passe brusquement d'une valeur nulle à une valeur maximale.

D'autre part, l'axe longitudinal 50 de l'enceinte 1 n'est pas disponible du fait de l'introduction des ondes électromagnétiques axialement. On ne peut donc associer directement à cette source d'ions un dispositif notamment de contrôle et de régulation du courant d'ions extraits, comme ceux décrits figures 1a et 1b.

L'invention a pour but de remédier à ces inconvénients en réalisant notamment une source d'ions à injection coaxiale, comprenant une cavité de transition et un ensemble de canalisations permettant de guider les ondes électromagnétiques vers l'enceinte et de les injecter dans celle-ci suivant son axe longitudinal tout en laissant cet axe disponible.

De façon plus précise, l'invention a pour objet une source d'ions à résonance cyclotronique électronique comprenant :

- une enceinte ayant un axe longitudinal, une première et une deuxième ouvertures opposées, orientées selon cet axe, ladite enceinte contenant un plasma d'ions et d'électrons formé par résonance cyclotronique électronique à partir d'un échantillon, la première ouverture étant reliée à un système d'extraction des ions de l'enceinte et la deuxième ouverture permettant l'introduction de l'échantillon et d'ondes électromagnétiques haute fréquence produites par un générateur d'ondes électromagnétiques, et

- une structure magnétique blindée extérieurement entourant l'enceinte et créant à l'intérieur de celle-ci un champ magnétique radial et un champ magnétique axial, lesdits champs permettant de confiner ledit plasma dans l'enceinte, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre : une cavité de transition reliée à des moyens pour faire le vide comportant une première et une deuxième ouvertures opposées orientées selon l'axe longi-

nal de l'enceinte, la première ouverture de la cavité et la deuxième ouverture de l'enceinte étant reliées par une première canalisation conductrice et la deuxième ouverture de la cavité et la deuxième ouverture de l'enceinte étant reliées par une deuxième canalisation au moins en partie conductrice traversant la cavité et la première canalisation, le générateur d'ondes électromagnétiques étant relié à la cavité par un guide d'onde, une fenêtre transparente aux ondes électromagnétiques étanche au vide étant intercalée entre la cavité et le guide d'onde, ce dernier étant à la pression atmosphérique.

La cavité de transition selon l'invention est de forme quelconque. Elle peut notamment être cubique. Dans ce cas, les ondes électromagnétiques pénètrent latéralement dans la cavité, les côtés axiaux de la cavité étant reliés à l'enceinte par les première et deuxième canalisations.

Les première et deuxième ouvertures de la cavité ont respectivement les dimensions des sections des première et deuxième canalisations. La fenêtre de la cavité est de préférence en BeO, mais d'autres matériaux tels que l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> peuvent également être utilisés.

Selon un mode de réalisation de l'invention, l'échantillon étant gazeux, celui-ci est introduit dans l'enceinte par la deuxième canalisation à partir de la deuxième ouverture de la cavité.

De façon avantageuse, l'échantillon étant gazeux, une extrémité de ladite deuxième canalisation voisine de la deuxième ouverture de l'enceinte est transparente aux ondes électromagnétiques, au moins dans la partie de la deuxième canalisation en regard du blindage de la structure magnétique.

La partie transparente de la deuxième canalisation peut être réalisée par exemple en emmanchant sur une canalisation de longueur inférieure à la deuxième canalisation, une canalisation transparente par exemple en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Selon une variante de réalisation de l'invention, l'échantillon étant solide, celui-ci est introduit dans l'enceinte sous forme d'une tige traversant au moins la deuxième canalisation.

On entend par tige, aussi bien un échantillon filiforme qu'une barre. Cette tige peut être soit métallique pour créer des ions du métal utilisé, soit diélectrique. Ainsi, par exemple avec des échantillons diélectriques tels que des échantillons en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, en SiO<sub>2</sub>, en CaF<sub>2</sub>, on crée respectivement des ions Al, Si, Ca.

La longueur de la tige est indéterminée, elle peut constituer une réserve importante d'échantillon pour des cycles longs d'ionisation. Néanmoins, cette tige est de préférence de longueur supérieure à la deuxième canalisation, d'une part pour pénétrer dans l'enceinte et d'autre part pour permettre son positionnement dans l'enceinte.

Selon un autre mode de réalisation de la source d'ions, elle comprend un dispositif pour contrôler et réguler le courant d'ions extraits.

Lorsque l'échantillon est gazeux, le dispositif pour contrôler et réguler le courant d'ions extraits comprend des moyens servant à modifier le flux de gaz introduit dans la deuxième canalisation tels

qu'une vanne associée des canalisations d'introduction de gaz et des moyens pour commander les moyens servant à modifier le flux de gaz.

Selon une variante, le dispositif pour contrôler et réguler le courant d'ions extraits, lorsque l'échantillon est solide, comprend des moyens pour positionner l'échantillon solide sur l'axe longitudinal de l'enceinte.

Les moyens pour commander la vanne comportent par exemple un comparateur ou un microprocesseur associé à des moyens de mesure de pression totale de l'enceinte. D'autre part, les moyens pour positionner l'échantillon solide dans l'enceinte comportent un moteur pouvant être commandé par le microprocesseur. Ce microprocesseur peut également être utilisé pour contrôler le générateur d'ondes électromagnétiques.

Selon un autre mode de réalisation de la source d'ions, elle comprend un dispositif pour régler le volume interne de la cavité de transition.

De préférence, ce dispositif comprend un piston situé dans une troisième ouverture ménagée dans la cavité de transition.

La position du piston est réglée avant l'utilisation de la source d'ions pour produire des ions. Ce piston est positionné de façon à ce que le volume de vide de la cavité de transition maximise la transmission des ondes électromagnétiques vers l'enceinte contenant le plasma au moyen des première et deuxième canalisations. Ces ondes sont alors guidées suivant un mode coaxial par la paroi interne et la paroi externe respectivement des première et deuxième canalisations, jusqu'au plasma dans l'enceinte.

De préférence, la cavité, la première canalisation et au moins une partie de la deuxième canalisation sont en cuivre. Mais bien entendu, d'autres matériaux conducteurs non magnétiques tels que les alliages d'Al ou l'acier inoxydable peuvent également convenir, pour guider les ondes électromagnétiques. Ces ondes électromagnétiques sont guidées généralement sur de petites distances de l'ordre du dm.

De façon avantageuse, pour des ondes électromagnétiques de fréquence 10 GHz, le rapport entre le diamètre interne de la première canalisation et le diamètre externe de la deuxième canalisation va entre 3 et 5. Par exemple, la première canalisation a un diamètre intérieur de 25 mm et un diamètre extérieur de 30 mm et la deuxième canalisation a un diamètre intérieur de 4 mm et un diamètre extérieur de 6 mm. Ces deux canalisations réalisent une ligne coaxiale d'impédance caractéristique de l'ordre de 85.

Selon un autre mode préféré de réalisation, le diamètre extérieur de la première canalisation est du même ordre de grandeur que l'épaisseur du blindage de la structure magnétique de la source d'ions. Ceci permet un blindage magnétique efficace par une carcasse magnétique simple.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, donnée à titre purement illustratif et non limitatif, en référence aux figures annexées dans lesquelles :

- la figure 3 représente schématiquement un exemple de réalisation d'une source d'ions selon l'invention pour un échantillon solide,

- la figure 4 représente schématiquement une variante de réalisation d'une source d'ions selon l'invention pour un échantillon gazeux.

Les éléments des figures 3 et 4 qui sont communs à l'art antérieur et qui ont été précédemment décrits sur les figures 1 et 2, portent les mêmes références que sur les figures précédentes et ne seront pas décrits à nouveau en détail.

Sur la figure 3, on retrouve l'enceinte 1 décrite figure 2b, à l'intérieur de laquelle un champ magnétique radial 45 et un champ magnétique axial 49 sont réalisés. Cette enceinte est entourée par une structure magnétique blindée du même type que celle décrite figure 2b.

La source d'ions représentée, figure 3, comprend par ailleurs une cavité de transition 60 reliée à l'ouverture 53 de l'enceinte 1 par une première et une deuxième canalisations 63, 65.

Cette cavité 60 est par exemple, comme représenté, figure 3, réalisée dans un cube métallique. Les deux faces du cube, normales à l'axe longitudinal 50 de l'enceinte 1, ainsi que trois des faces latérales de ce cube comprennent respectivement une ouverture 64, 66, 67, 68, 69.

La canalisation 63 relie l'ouverture 64 de la cavité 60 à l'ouverture 53 de l'enceinte 1. Ces deux ouvertures 64, 53 ont les dimensions de la section de la canalisation 63. D'autre part, la canalisation 65 relie l'ouverture 66 de la cavité à l'ouverture 53 de l'enceinte. Cette canalisation 65 traverse la cavité 60 et la canalisation 63. L'ouverture 66 de la cavité 60 a les dimensions de la section de la canalisation 65.

Une des ouvertures latérales 68 du cube est reliée par un guide d'ondes 5 tel qu'une canalisation métallique au générateur 3 d'ondes électromagnétiques haute fréquence décrit précédemment ; une fenêtre 72 transparente aux ondes électromagnétiques haute fréquence étanche au vide est intercalée entre la cavité et le guide d'onde, ce dernier étant à la pression atmosphérique. Ce générateur 3 est alimenté par la source d'alimentation 6.

Une autre ouverture latérale 67 de la cavité est reliée à un dispositif 75 comprenant par exemple un piston, pour régler le volume interne de la cavité et la troisième ouverture latérale 69 de la cavité est reliée à des moyens 77 pour faire le vide, tels qu'une pompe turbomoléculaire, par exemple de 50 l/s.

Ces différentes ouvertures 64, 66, 67, 68, 69 sont réalisées, par exemple par perçage d'une masse métallique suivant trois axes orthogonaux. L'ajustement entre les dimensions des ouvertures effectuées lors du perçage et les dimensions des ouvertures nécessaires est réalisé par exemple par des plaques métalliques 79 fixées de façon étanche sur les faces percées de cette masse.

Pour des ondes électromagnétiques de 10 GHz, on utilise par exemple une canalisation 63 de diamètre extérieur 30 mm et de diamètre intérieur 25 mm et une canalisation 65 de diamètre extérieur 6 mm et de diamètre intérieur 4 mm. Les ouvertures 64, 66 de la cavité sont donc ajustées par les plaques 79 afin d'obtenir des ouvertures adaptées à

ces canalisations.

Le rapport des diamètres de ces deux canalisations permet de considérer ces dernières comme une ligne coaxiale d'impédance caractéristique de l'ordre de  $85\Omega$ . De plus, l'espace situé entre ces deux canalisations permet un pompage suffisant par les moyens 77, de cet espace.

Par ailleurs, on règle avant l'utilisation de la source d'ions, la position du piston 75 pour accorder l'ensemble des volumes internes de la cavité 60 et de la ligne coaxiale sur la fréquence des ondes électromagnétiques utilisées pour obtenir un minimum d'ondes réfléchies. Une onde réfléchie est une onde qui retourne au générateur d'ondes électromagnétiques.

Lorsque ces volumes internes sont accordés sur la fréquence des ondes électromagnétiques, les ondes électromagnétiques injectées dans la cavité sont presque totalement transmises à l'enceinte 1 contenant le plasma, puis absorbées dans la nappe équimagnétique 11 de l'enceinte 1.

Lorsque l'on veut créer des ions à partir d'un échantillon solide, celui-ci est introduit sous forme d'une tige 80 dans la canalisation 65. L'extrémité 81 de la tige située dans l'enceinte 1 est positionnée au voisinage de la nappe 11.

D'autre part, lorsque l'on veut créer des ions à partir d'un gaz, notamment pour faire démarrer la réaction de vaporisation d'un échantillon solide, le gaz est introduit dans la canalisation 65 par exemple par une canalisation 85 reliée à l'ouverture 66 de la cavité et par la canalisation 8 reliée latéralement à la canalisation 85. L'extrémité de la canalisation 85 opposée à l'ouverture 66 de la cavité est fermée pour laisser l'axe 50 disponible.

Du fait que l'axe longitudinal 50 de la source d'ions conforme à l'invention est libre au voisinage de l'ouverture 66 d'introduction de l'échantillon, on peut lui associer un dispositif de contrôle et de régulation du courant d'ions extraits du type de ceux décrits aux figures 1a et 1b.

Sur la figure 3 est représenté l'exemple de réalisation du dispositif de contrôle et de régulation décrit figure 1b comportant un microprocesseur 32 relié à des moyens 34 de mesure de l'intensité du courant d'ions extraits à des moyens 28 de mesure de pression totale de l'enceinte, à une vanne 26 reliée à la canalisation 8 d'introduction du gaz, à un moteur 20 relié à l'extrémité 82 de la tige 80 et à un générateur d'impulsion 24 relié à la source d'alimentation 6 du générateur 3 d'ondes électromagnétiques. Dans le cas où une canalisation 85 est reliée à l'ouverture 66 de la cavité, l'extrémité 82 de la tige traverse de part en part cette canalisation 85 suivant son axe pour être reliée notamment au moteur 20.

La figure 4 représente une variante de réalisation d'une source d'ions conforme à l'invention permettant de produire des ions à partir d'un gaz. Par ailleurs, cette figure représente l'autre exemple de réalisation d'un dispositif de contrôle et de régulation du courant d'ions extraits décrit figure 1a, associé à la source d'ions conforme à l'invention.

Sur cette figure, la tige 80 ainsi que le moteur 20 permettant de positionner la tige dans l'enceinte n'ont pas été représentés. D'autre part, la deuxième

canalisation 65a, 65b, diffère de celle de la source d'ions représentée figure 3, par une extrémité 65a transparente aux ondes électromagnétiques au voisinage de l'ouverture 53 de l'enceinte, en regard du blindage 41 de la structure magnétique. Ce matériau transparent aux ondes électromagnétiques haute fréquence est par exemple de l' $Al_2O_3$ . Cette extrémité 65a se présente généralement sous la forme d'un tube transparent emboîté sur une canalisation 65b du même type que la canalisation 65 représentée figure 3, mais plus courte.

Une pré-ionisation du gaz introduit dans la deuxième canalisation a lieu dans le volume intérieur de l'extrémité transparente 65a de cette canalisation. En effet, dans ce volume règne un champ magnétique axial provenant des solénoïdes, un champ électromagnétique et une pression de gaz élevée. Le champ électromagnétique provient des ondes électromagnétiques guidées entre la première canalisation 63 et la partie 65b non transparente de la deuxième canalisation et transmises par l'extrémité 65a de la deuxième canalisation. De ce fait, une résonance cyclotronique électronique a lieu à l'intérieur de l'extrémité 65a de la deuxième canalisation, dans un volume où règne une forte pression de gaz. Plus le plasma produit par résonance cyclotronique électronique est dense à l'intérieur de l'extrémité 65a, plus le guidage coaxial des ondes électromagnétiques est bon, ce cordon de plasma dense devenant lui-même conducteur. De plus, ce cordon de plasma a le même diamètre extérieur que la partie 65b de la deuxième canalisation. L'impédance caractéristique de la ligne coaxiale n'est donc pas modifiée, ce qui permet d'éviter la réflexion des ondes électromagnétiques.

Cette extrémité transparente aux ondes électromagnétiques constitue donc un étage de pré-ionisation auto-régulé, où l'excédent de puissance incidente des ondes électromagnétiques est transmis sans réflexion à la zone de résonance cyclotronique électronique située dans la nappe équimagnétique 11.

Le dispositif de contrôle et de régulation du courant d'ions extrait représenté sur cette figure comporte un comparateur 30 relié d'une part à des moyens 28 de mesure de pression totale de l'enceinte, et d'autre part à une vanne 26 reliée à la canalisation 8 d'introduction du gaz, une tension de référence R étant par ailleurs appliquée à ce comparateur. Le dispositif comprend en outre, également un générateur d'impulsions 24, relié à la source d'alimentation 6 du générateur 3 d'ondes électromagnétiques.

Bien entendu, les dispositifs de contrôle et de régulation du courant d'ions extraits représentés figures 3 et 4 peuvent être associés indifféremment aux deux modes de réalisation des sources d'ions conformes à l'invention.

Dans le cas où le dispositif de contrôle et de régulation représenté figure 4 est associé à une source d'ions produits à partir d'un échantillon solide 80, un moteur 20 (réglé manuellement) est relié à cet échantillon.

La cavité 60, les plaques métalliques 79 et les canalisations 63, 65, 65b sont de préférence en

cuivre, mais d'autres matériaux conducteurs peuvent bien entendu être utilisés. Par ailleurs, la fenêtre 72 est réalisée en un matériau étanche au vide et transparent aux ondes électromagnétiques haute fréquence ; ce matériau est en  $BeO$  ou en  $Al_2O_3$ .

La source d'ions selon l'invention possède un certain nombre d'avantages spécifiques qui seront mentionnés ci-après.

L'injection coaxiale des ondes électromagnétiques entre la première canalisation 63, et la deuxième canalisation 65, 65a, 65b permet de ne pas perturber la propagation de ces ondes, au passage du blindage magnétique 41. La transmission de ces ondes se fait donc pratiquement sans réflexion, ni absorption d'énergie.

De plus, l'utilisation d'une cavité de transition pour injecter les ondes électromagnétiques permet de libérer l'extrémité de la deuxième canalisation 65, 65b d'introduction de l'échantillon. De ce fait, un dispositif de contrôle et de régulation du courant d'ions extraits peut être associé à la source d'ions conforme à l'invention.

D'autre part, l'utilisation d'une canalisation 63 de faible diamètre, de même ordre de grandeur que l'épaisseur du blindage magnétique 41 qu'elle traverse, permet de conserver un blindage magnétique simple. La simplicité de ce blindage facilite l'isolation haute tension de la source d'ions et permet un démontage aisé de celle-ci et en particulier de l'enceinte, (l'enceinte 1 étant généralement solidaire de la canalisation 63). De ce fait, le nettoyage de la source d'ions est aisé, permettant l'élaboration d'ions métalliques de haute intensité en régime continu pendant de longues durées (de tels ions encrassant généralement la source d'ions).

Par ailleurs, n'importe quel échantillon solide peut être introduit dans l'enceinte 1 par la deuxième canalisation 65 sans perturbation, ni modification du réglage du piston, du fait de la traversée de la cavité par cette canalisation métallique.

Un autre avantage de la source d'ions conforme à l'invention est la position de la fenêtre 72 en dehors de tout champ magnétique et donc de plasma. Par ce biais, on évite la pollution de la fenêtre 72 par exemple par des éléments métalliques provenant du plasma.

## Revendications

1. Source d'ions à résonance cyclotronique électronique comprenant :

- une enceinte (1) ayant un axe longitudinal (50), une première et une deuxième ouvertures (51, 53) opposées, orientées selon cet axe, ladite enceinte contenant un plasma (11) d'ions et d'électrons formés par résonance cyclotronique électronique à partir d'un échantillon, la première ouverture (51) étant reliée à un système d'extraction (16, 17) des ions de l'enceinte et la deuxième ouverture (53) permettant l'introduction de l'échantillon et d'ondes électromagnétiques haute fréquence produites par un générateur (3) d'ondes élec-

tromagnétiques,

- une structure magnétique (35, 37, 39, 41) blindée extérieurement entourant l'enceinte (1) et créant à l'intérieur de celle-ci un champ magnétique radial (45) et un champ magnétique axial (49), lesdits champs permettant de confiner ledit plasma dans l'enceinte, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une cavité de transition (60) reliée à des moyens (77) pour faire le vide, comportant une première et une deuxième ouvertures (64, 66) opposées orientées selon l'axe longitudinal (50) de l'enceinte, la première ouverture (64) de la cavité (60) et la deuxième ouverture (53) de l'enceinte (1) étant reliées par une première canalisation (63) conductrice et la deuxième ouverture (66) de la cavité et la deuxième ouverture (53) de l'enceinte étant reliées par une deuxième canalisation au moins en partie conductrice (65, 65a, 65b) traversant la cavité et la première canalisation, le générateur (3) d'ondes électromagnétiques étant relié à la cavité par un guide d'onde (5), une fenêtre (72) transparente aux ondes électromagnétiques étanches au vide étant intercalée entre la cavité et le guide d'onde.

2. Source d'ions selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'échantillon étant gazeux, celui-ci est introduit dans l'enceinte (1) par la deuxième canalisation (65, 65a, 65b) à partir de la deuxième ouverture (66) de la cavité.

3. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisée en ce que l'échantillon étant gazeux, une extrémité (65a) de ladite deuxième canalisation voisine de la deuxième ouverture (53) de l'enceinte est transparente aux ondes électromagnétiques, au moins dans la partie de la deuxième canalisation en regard du blindage (41) de la structure magnétique.

4. Source d'ions selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'échantillon étant solide, celui-ci est introduit dans l'enceinte (1) sous forme d'une tige (80) traversant au moins la deuxième canalisation (65).

5. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle comprend un dispositif pour contrôler et réguler le courant d'ions extraits.

6. Source d'ions selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'échantillon étant gazeux, le dispositif pour contrôler et réguler le courant d'ions extraits comprend des moyens (26) servant à modifier le flux de gaz introduit dans la deuxième canalisation et des moyens (28, 30, 32) pour commander les moyens servant à modifier le flux de gaz.

7. Source d'ions selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'échantillon étant solide, le dispositif pour contrôler et réguler le courant d'ions extraits comprend des moyens (20) pour positionner l'échantillon solide sur l'axe longitudinal (50) de l'enceinte (1).

8. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce qu'elle

comprend un dispositif (75) pour régler le volume interne de la cavité de transition (60).

9. Source d'ions selon la revendication 8, caractérisée en ce que le dispositif (75) pour régler le volume interne de la cavité de transition (60) comprend un piston situé dans une troisième ouverture (67) ménagée dans la cavité de transition (60).

10. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que la cavité de transition (60) est en cuivre.

11. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que la première canalisation (63) est en cuivre.

12. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisée en ce que la deuxième canalisation (65, 65b) est au moins en partie en cuivre.

13. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisée en ce que les ondes électromagnétiques ayant une fréquence de 10GHz, le rapport entre le diamètre interne de la première canalisation et le diamètre externe de la deuxième canalisation va entre 3 et 5.

14. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisée en ce que le diamètre extérieur de la première canalisation (63) est du même ordre de grandeur que l'épaisseur du blindage (41) de la structure magnétique de la source d'ions.

FIG. 1a

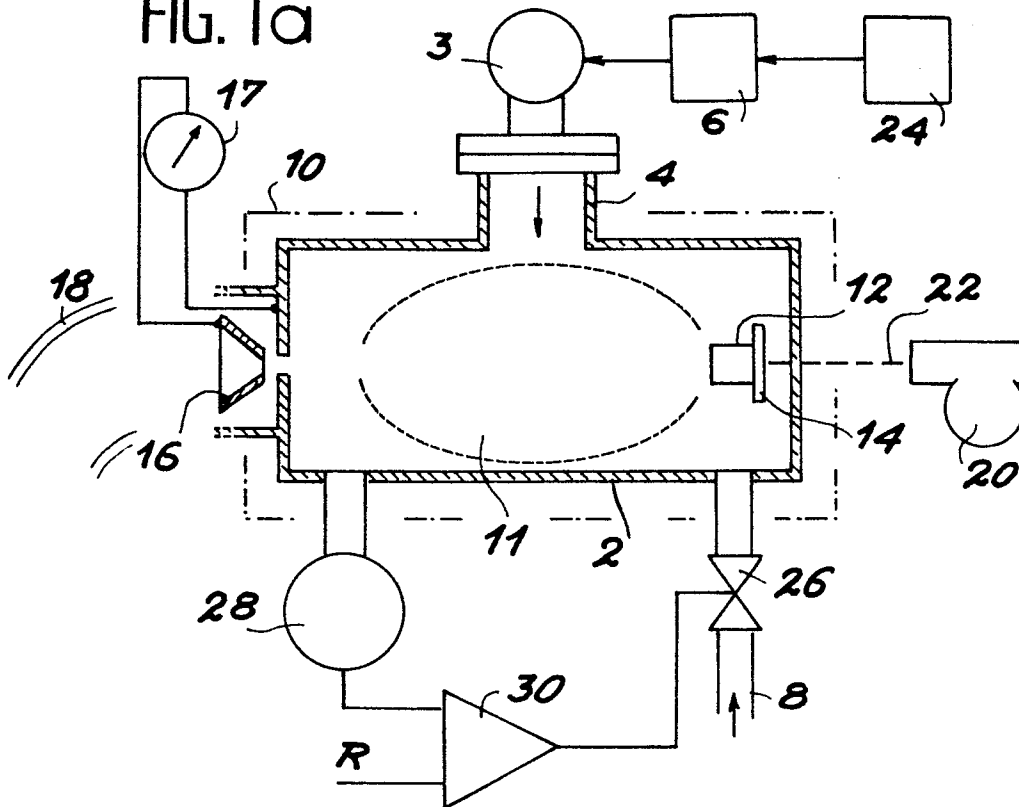


FIG. 1b

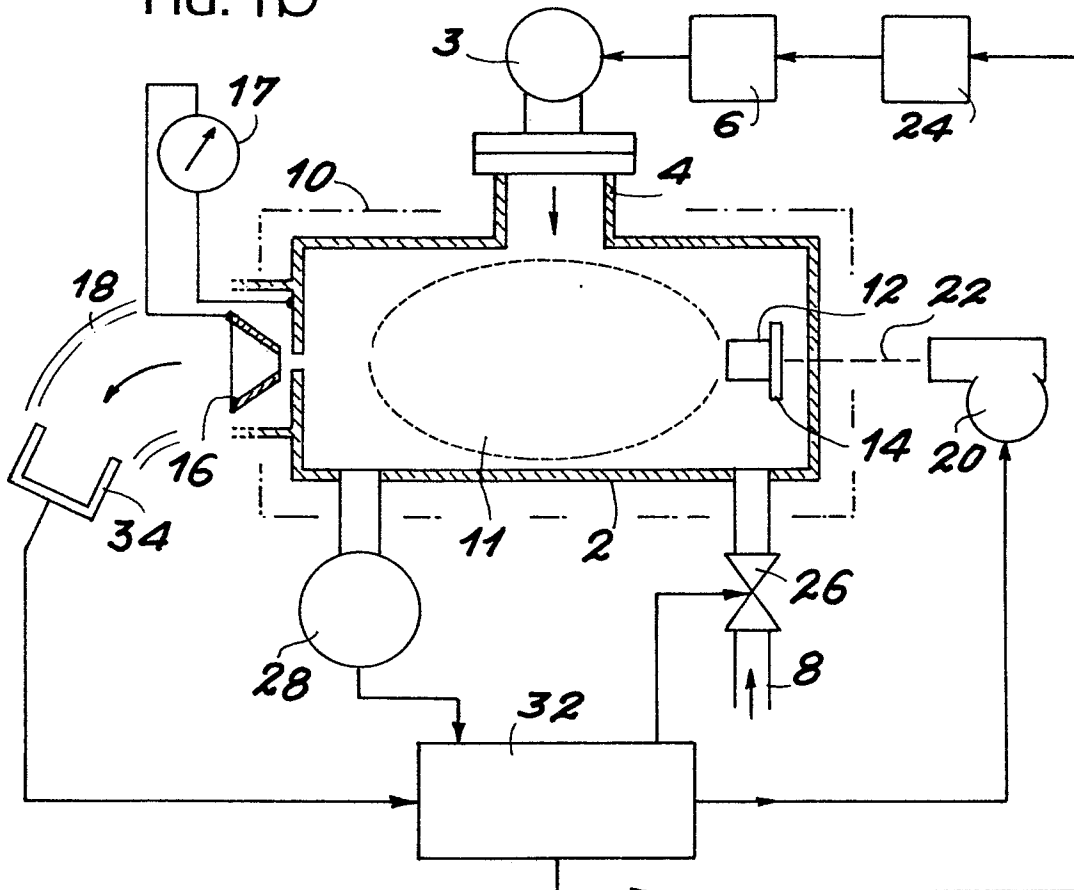


FIG. 2a

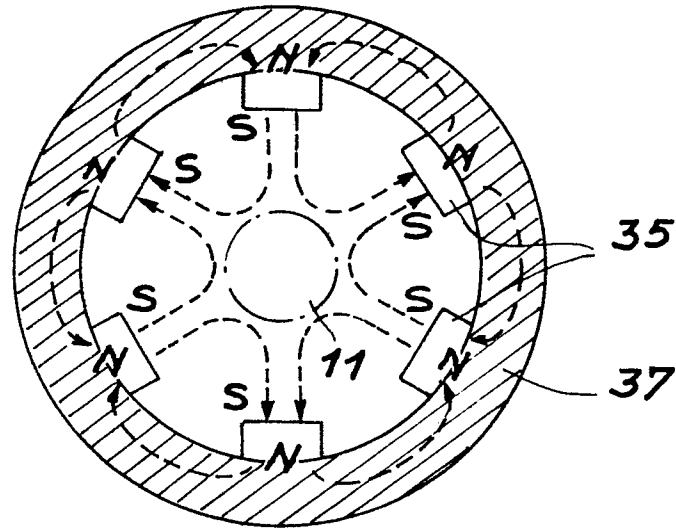
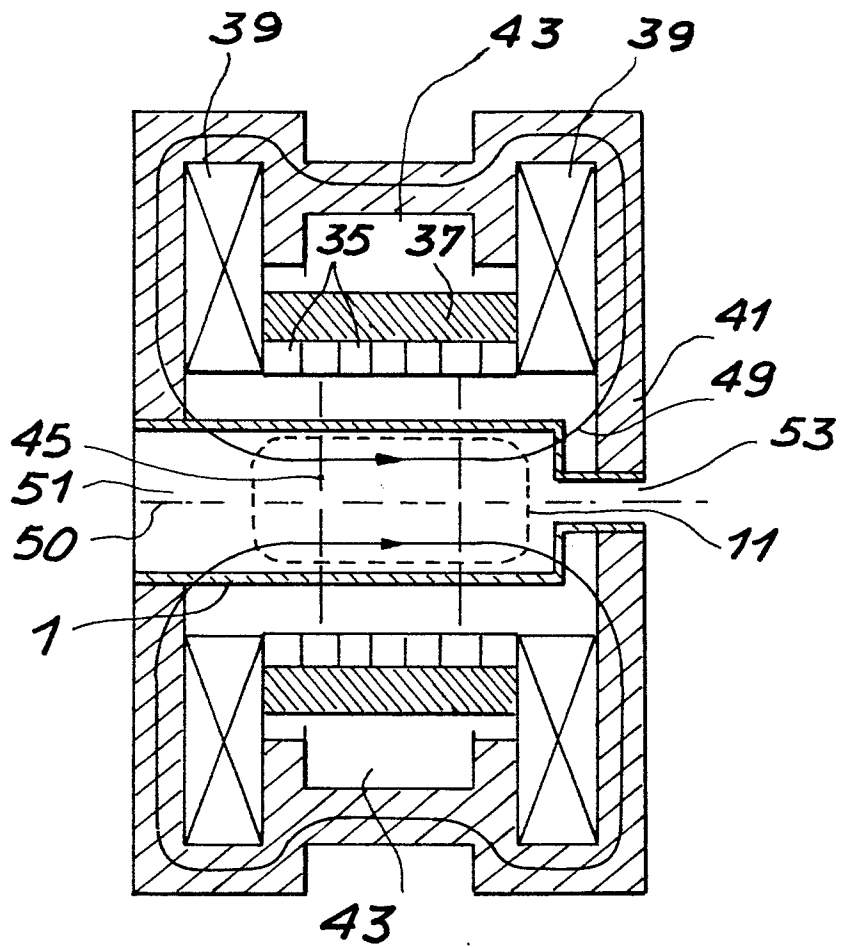


FIG. 2b



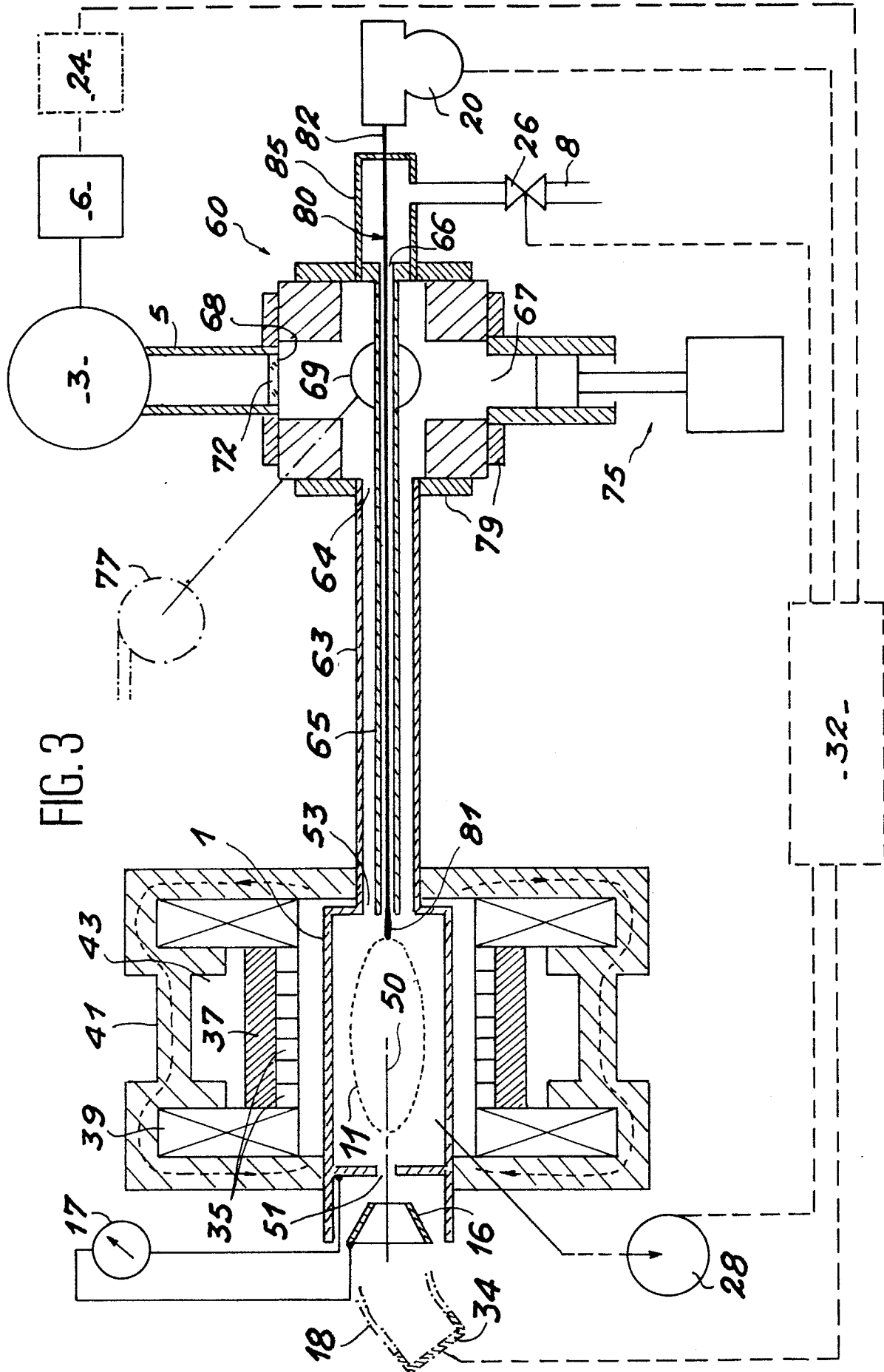


FIG. 3

-32-

-24-

-6-

-3-

17

39

41

37

51

34

18

1

53

65

63

64

72

75

5

68

69

80

85

82

81

20

26

8

66

79

75

28

50

77

32

24

6

3

11

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

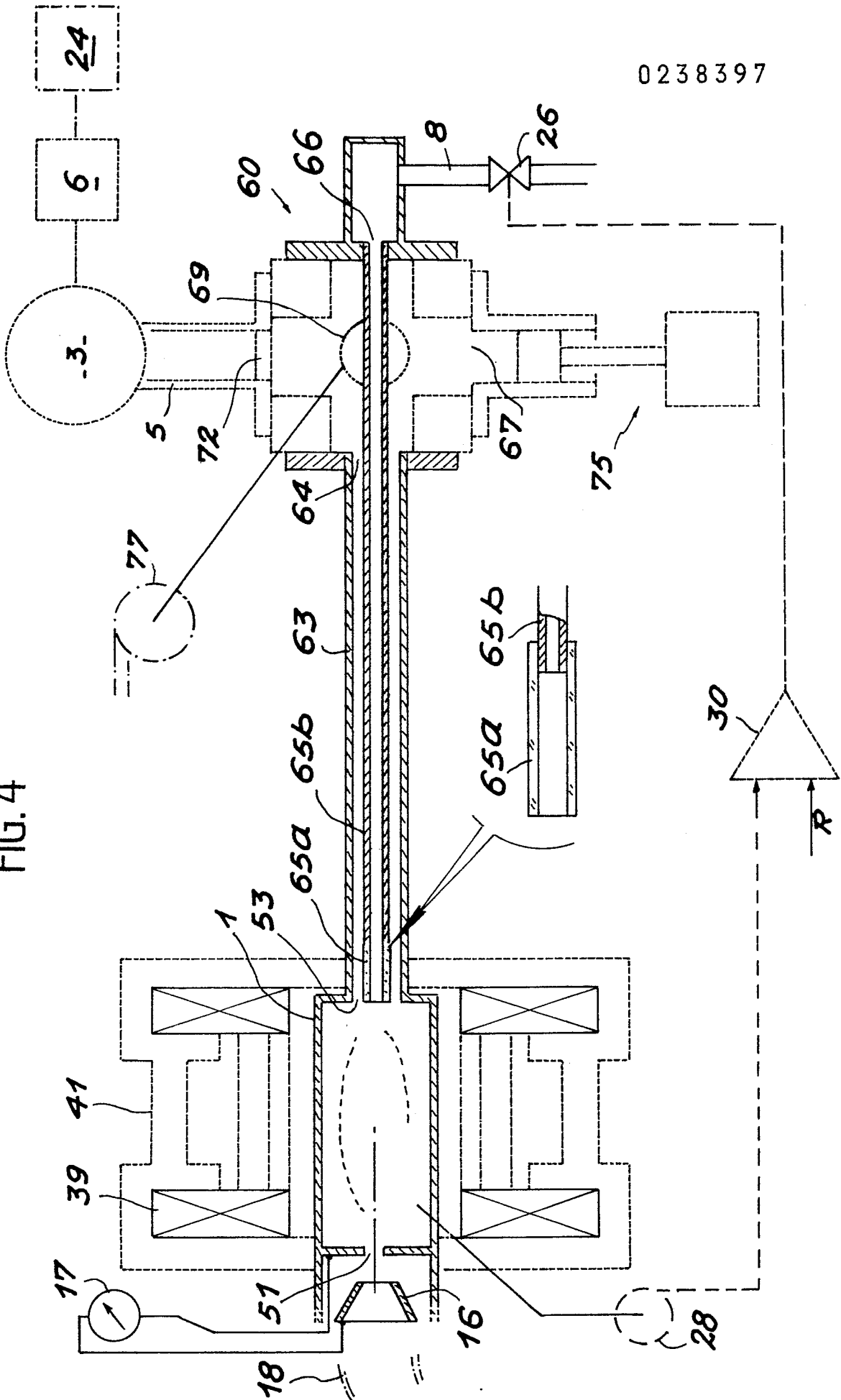
307

308

309

310

FIG. 4





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
A	EP-A-0 142 414 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) * Résumé; figure 2 * & FR-A-2 553 574 (Cat. D,A)	1,5-7	H 01 J 27/18
A	FR-A-2 551 302 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) * Résumé * & EP-A-0 138 642 (Cat. D,A)	1	
A	NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH, sect. B, vol. B10/11, no. 1, mai 1985, pages 775-778, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, NL; C.M. LYNEIS: "Performance of the LBL ECR ion source" * Page 776, colonne 1, lignes 7-9; page 777, colonne 1, lignes 15-21; figure 1 *	1-3	
A	NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH, vol. 219, no. 1, janvier 1984, pages 1-4, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, NL; R. GELLER et al.: "Production d'ions calcium dans la source d'ions multicharges ECR minimafios" * Résumé; figure 1 *	1-3	
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			H 01 J H 05 H
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examineur	
LA HAYE	23-06-1987	GALANTI M.	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
A	EP-A-0 104 109 (ANVAR) * Page 8, lignes 16-20; figure 1 *  -----	1,8-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 23-06-1987	Examineur GALANTI M.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  A : arrière-plan technologique  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			