(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication: **0 142 414**
A2

(12) # DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **84402080.0**

(51) Int. Cl.⁴: **H 01 J 27/18**

(22) Date de dépôt: **16.10.84**

(30) Priorité: **17.10.83 FR 8316465**

(43) Date de publication de la demande:
22.05.85 Bulletin 85/21

(84) Etats contractants désignés:
DE GB NL

(71) Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**
Etablissement de Caractère Scientifique Technique et Industriel
31/33, rue de la Fédération
F-75015 Paris(FR)

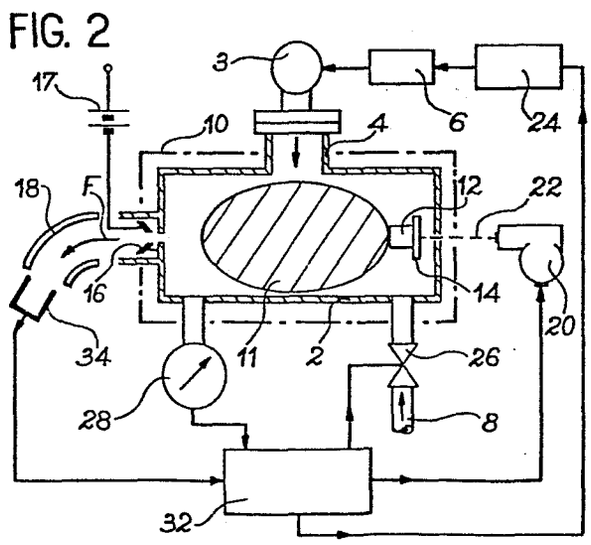
(72) Inventeur: **Jacquot, Bernard**
1, Boulevard Jomardière
F-38120 Saint Egreve(FR)

(74) Mandataire: **Mongrédien, André et al,**
c/o BREVATOME 25, rue de Ponthieu
F-75008 Paris(FR)

(54) **Dispositif de régulation d'un courant d'ions, notamment métalliques fortement chargés.**

(57) L'invention concerne un dispositif de régulation de courant d'ions notamment métalliques fortement chargés, obtenu en vaporisant puis ionisant, dans une cavité hyperfréquence (2), un matériau solide (12) à l'aide d'un plasma chaud d'électrons (11), confiné dans la cavité, ce plasma étant créé en ionisant un gaz grâce à l'action conjuguée d'un champ électromagnétique de haute fréquence et d'un champ magnétique dont l'amplitude est telle que la condition de résonance cyclotronique électronique soit satisfaite, ce dispositif comprenant entre autres, un générateur, d'impulsions (24) dont on règle le cycle utile pour pulser le champ électromagnétique et contrôler sa puissance moyenne, une vanne (26) servant à modifier le flux du gaz entrant dans la cavité et des moyens (28, 32) pour asservir cette vanne de façon que la pression régnant dans la cavité reste constante.

FIG. 2



EP 0 142 414 A2

La présente invention a pour objet un dispositif de régulation d'un courant d'ions, notamment métalliques, fortement chargés. Ce courant d'ions fortement chargés est notamment utilisé pour la mesure de constantes physiques et surtout destiné à équiper les accélérateurs de particules, utilisés aussi bien dans le domaine scientifique que médical.

L'un des procédés utilisé pour obtenir un courant d'ions fortement chargés, ou multichargés, consiste à évaporer un matériau solide, par exemple un échantillon de métal placé dans une cavité hyperfréquence, et à ioniser les vapeurs produites.

La vaporisation, puis l'ionisation du matériau sont obtenues par interaction d'un plasma chaud d'électrons, confiné dans ladite enceinte, avec ledit matériau. Ce plasma d'électrons est formé en ionisant un gaz, injecté dans la cavité, grâce à l'action conjuguée d'un champ électromagnétique de haute fréquence, établi dans ladite cavité, et d'un champ magnétique régnant à l'intérieur de cette même cavité. Le champ magnétique présente une amplitude B satisfaisant à la condition de résonance cyclotronique électronique : $B = f.2\pi\frac{m}{e}$, où m est la masse de l'électron, e sa charge et f la fréquence du champ électromagnétique. Cette résonance permet d'accélérer fortement les électrons créés, tout d'abord à partir du gaz, puis à partir de la vaporisation du matériau.

Ce procédé de vaporisation a été décrit dans une demande de brevet n° 2 512 623 déposée le 10 septembre 1981 par le demandeur et intitulée "Procédé de fusion et/ou d'évaporation pulsée d'un matériau solide". Les ions métalliques créés peuvent ensuite être extraits de la cavité pour former un faisceau d'ions.

Dans un tel procédé de production d'un courant d'ions multichargés, l'un des problèmes importants

réside dans la régulation du courant d'ions, c'est-à-dire dans l'obtention d'un courant d'ions d'intensité constante. Ceci est très important notamment pour l'utilisation de ces courants d'ions dans les accélérateurs de particules.

La présente invention a justement pour objet un dispositif de régulation d'un courant d'ions permettant de résoudre ce problème.

De façon plus précise, l'invention a trait à un dispositif de régulation d'un courant d'ions, notamment métalliques, fortement chargés, obtenu selon le procédé d'évaporation décrit précédemment. Selon une des caractéristiques de l'invention, ce dispositif comprend des moyens pour pulser le champ électromagnétique, injecté dans la cavité, et pour contrôler la puissance moyenne de ce champ électromagnétique. Ces moyens sont constitués de préférence par un générateur d'impulsions haute fréquence, dont on règle le cycle utile, c'est-à-dire le rapport t/T, t étant la durée d'une impulsion et T la période des impulsions.

Dans un mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, le générateur d'impulsions est asservi de façon que l'intensité du courant d'ions reste constante. Ces moyens d'asservissement comprennent de préférence des moyens de mesure de l'intensité du courant d'ions, connectés à un microprocesseur.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le dispositif de régulation comprend une vanne servant à modifier le flux de gaz introduit dans la cavité et des moyens permettant d'asservir ladite vanne de façon que la pression régnant dans la cavité reste constante.

Dans un mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, les moyens pour asservir la vanne sont constitués de moyens de mesure de la pression, connectés à un microprocesseur.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le dispositif de régulation comprend des moyens permettant de déplacer lentement, dans la cavité, le matériau solide de façon que celui-ci intercepte au mieux le plasma d'électrons.

Dans un mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, les moyens de déplacement sont asservis pour que l'intensité du courant d'ions soit constante. Ces moyens d'asservissement sont de préférence constitués de moyens de mesure de l'intensité du courant d'ions, connectés à un microprocesseur.

De façon avantageuse, le gaz introduit dans la cavité est constitué par de l'argon, de l'azote ou de l'oxygène. Ce type de gaz convient particulièrement bien à l'obtention d'ions métalliques provenant de la vaporisation de métaux réfractaires tels que le tungstène, le tantale, le molybdène, le zirconium, etc...

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

- la figure 1 représente, schématiquement, selon une première variante, un dispositif de régulation manuelle de courant d'ions obtenu selon le procédé de vaporisation d'un matériau, et

- la figure 2 représente, schématiquement, selon une deuxième variante, un dispositif de régulation automatique d'un courant d'ions obtenu selon le procédé de vaporisation d'un matériau.

En se référant aux figures 1 et 2, on va tout d'abord décrire l'appareil permettant de produire le courant d'ions fortement chargés.

Cet appareil comprend une enceinte à vide de confinement 2 qui constitue une cavité résonnante pou-

vant être excitée par un champ électromagnétique hyperfréquence, qui est selon l'invention pulsé. Ce champ électromagnétique, produit par une source 3, tel qu'un klystron, est introduit dans la cavité au moyen d'un guide d'ondes 4, à section circulaire ou rectangulaire. Cette source 3 est alimentée en courant par une source d'alimentation 6. Une conduite 8 permet d'introduire un gaz dans la cavité hyperfréquence 2 tel que de l'argon, de l'azote ou de l'oxygène.

Des moyens, schématisés en traits mixtes et portant la référence 10, permettent de créer un champ magnétique régnant à l'intérieur de la cavité 2. Ce champ magnétique présente une amplitude qui satisfait à la condition de résonance cyclotronique électronique, condition explicitée précédemment. Comme moyen permettant de produire un tel champ magnétique, on peut se référer à la demande de brevet français n° 2 475 798 déposée le 13 février 1980 par le demandeur et intitulée "Procédé et dispositif de production d'ions lourds fortement chargés et une application mettant en oeuvre le procédé".

L'association du champ électromagnétique et du champ magnétique permet d'ioniser fortement le gaz introduit dans la cavité 2. Les électrons produits sont alors fortement accélérés par résonance cyclotronique électronique, ce qui conduit à la formation d'un plasma chaud d'électrons, confiné dans la cavité. L'espace de confinement du plasma d'électrons est représenté par une ellipse hachurée portant la référence 11.

Dans la cavité 2, est disposé un échantillon 12 à partir duquel sera formé le courant d'ions. Cet échantillon, fixé sur un support 14, est notamment un échantillon de métal comme par exemple de tungstène, de tantale, de molybdène, de zirconium, etc... Cet échantillon est soumis à l'action du plasma chaud d'élec-

trons 11, ce qui permet de le vaporiser, puis d'ioniser les vapeurs produites. Les ions métalliques formés sont ensuite extraits de la cavité 2 par exemple au moyen d'électrodes 16 entre lesquelles est créée une différence de potentiel négative à l'aide d'une source d'alimentation 17. Les ions issus de la cavité (flèche F) peuvent ensuite être analysés, par exemple sélectionnés suivant leur degré d'ionisation, à l'aide de tout moyen connu, schématisé en 18, utilisant un champ électrique et/ou un champ magnétique.

On va maintenant décrire le dispositif selon l'invention, permettant de réguler le courant d'ions produits, c'est-à-dire permettant d'obtenir un courant d'ions d'intensité constante.

Ce dispositif comprend un moteur 20, relié par l'intermédiaire d'une tige 22, au support 14 de l'échantillon 12 permettant de déplacer lentement ce dernier, de façon qu'il intercepte au mieux le plasma d'électrons 11. Plus l'échantillon 12 pénètre à l'intérieur de la cavité 2, plus sa température et donc son taux de vaporisation sont élevés.

Par ailleurs, le taux de vaporisation et donc d'ionisation des vapeurs, notamment métalliques, dépendent de la puissance moyenne du champ électromagnétique pulsé injecté dans la cavité 2 et ce pour une profondeur donnée de pénétration de l'échantillon dans le plasma d'électrons. Par exemple, pour obtenir des ions d'aluminium 10 fois chargés (avec un échantillon en oxyde d'aluminium, le gaz support étant l'oxygène), il est nécessaire d'utiliser un champ électromagnétique ayant une puissance au moins égale à 300 watts.

Le contrôle de la puissance moyenne du champ électromagnétique est obtenu en pulsant le champ électromagnétique. Ce champ pulsé peut être obtenu à l'aide d'un générateur d'impulsions 24, dont on ajuste le cy-

cle utile, c'est-à-dire le rapport t/T, t étant la durée d'une impulsion et T la période des impulsions, ce générateur commandant la source d'alimentation électrique 6 alimentant la source d'onde électromagnétique 3. En effet, les électrons du plasma acquièrent l'énergie nécessaire pour vaporiser l'échantillon 12 puis ioniser les vapeurs produites dès l'application du champ électromagnétique hyperfréquence et perdent cette énergie presque aussitôt après la disparition dudit champ.

Comme on l'a dit précédemment, le plasma d'électrons chaud est obtenu tout d'abord par une ionisation d'un gaz, notamment d'argon, d'azote ou d'oxygène, introduit dans la cavité 2 par une conduite 8. Ce gaz permet la formation du plasma avant que la pression partielle des vapeurs métalliques soit suffisante pour engendrer des ions métalliques.

Pour réguler le courant d'ions sortant de la cavité (flèche F), la pression totale régnant dans la cavité doit être maintenue constante. A cet effet, la conduite d'alimentation en gaz 8 est équipée d'une vanne 26 servant à moduler le flux de gaz introduit dans la cavité. Un dispositif 28 de mesure de la pression totale régnant dans la cavité 2, tel qu'un manomètre, permet, par l'intermédiaire d'un dispositif approprié, d'assurer le fonctionnement de la vanne 26 pour que la pression totale régnant dans la cavité reste constante.

Ce dispositif approprié peut être constitué, comme représenté sur la figure 1, par un dispositif 30, connecté à une tension de référence R, permettant de comparer la tension fournie par le dispositif de mesure 28 et la tension de référence R et de fournir un signal de commande à la vanne 26, signal qui correspond à la différence de tension entre la tension fournie par le dispositif de mesure 28 et la tension de référence R.

Ce dispositif approprié peut aussi être constitué, comme représenté sur la figure 2, par un microprocesseur 32 commandant l'ouverture ou la fermeture de la vanne 26 suivant la tension fournie par le dispositif de mesure 28. Le microprocesseur est par exemple celui commercialisé sous la référence 6800 de MOTOROLA.

Par ailleurs, la mise en marche du moteur 20, servant à déplacer l'échantillon 12, et celle du générateur d'impulsions 24, servant à engendrer le champ électromagnétique pulsé peuvent être effectuées manuellement comme représenté sur la figure 1 ou bien automatiquement comme représenté sur la figure 2. Dans le deuxième cas, un dispositif 34 de mesure de l'intensité du courant d'ions sortant de la cavité 2, telle qu'une cage de Faraday, doit être prévu. Le signal fourni par le dispositif 34 est entré dans le microprocesseur 32 commandant la mise en marche ou l'arrêt d'une part du moteur 20 et, d'autre part, du générateur d'impulsions 24.

Le moteur d'entraînement 20 et le générateur d'impulsions 24 asservis à l'intensité du courant d'ions ainsi que la vanne 26 asservie pour que la pression totale régnant dans l'enceinte soit constante, constituent, selon l'invention, le dispositif permettant d'obtenir un courant d'ions, notamment métalliques, d'intensité constante.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de régulation d'un courant d'ions fortement chargés, obtenu en vaporisant, dans une cavité hyperfréquence (2) un matériau solide (12) puis en ionisant les vapeurs produites grâce à l'action d'un plasma chaud d'électrons (11), confiné dans ladite cavité, ce plasma (11) étant créé en ionisant un gaz, introduit dans la cavité (2), grâce à l'action conjuguée d'un champ électromagnétique de haute fréquence, établi dans la cavité, et d'un champ magnétique dont l'amplitude est telle que les électrons sont accélérés par résonance cyclotronique électronique, caractérisé en ce que le dispositif comprend des moyens (24) permettant de pulser le champ électromagnétique, injecté dans la cavité, et de contrôler la puissance moyenne de ce champ.

2. Dispositif de régulation selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens pour pulser et contrôler le champ électromagnétique comprennent un générateur d'impulsions (24) dont on règle le cycle utile.

3. Dispositif de régulation selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (32, 34) pour asservir le générateur d'impulsions (24) de façon que l'intensité du courant d'ions soit constante.

4. Dispositif de régulation selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens pour asservir le générateur comprennent des moyens de mesure de l'intensité du courant d'ions (34), connectés à un microprocesseur (32).

5. Dispositif de régulation selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une vanne (26) servant à modifier le flux de gaz introduit dans la cavité et des moyens (28, 30, 32) pour asservir ladite vanne de façon que la pression régnant dans la cavité reste constante.

6. Dispositif de régulation selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens pour asservir la vanne (26) comprennent des moyens de mesure de la pression (28), connectés à un microprocesseur (32).

7. Dispositif de régulation selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (20) pour déplacer lentement, dans la cavité (2), le matériau solide (12) de façon que celui-ci intercepte au mieux le plasma d'électrons (11).

8. Dispositif de régulation selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (32, 34) pour asservir les moyens de déplacement (20) de façon que l'intensité du courant d'ions soit constante.

9. Dispositif de régulation selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens pour asservir les moyens de déplacement (20) comprennent des moyens de mesure de l'intensité du courant d'ions (34), connectés à un microprocesseur (32).

10. Dispositif de régulation selon la revendication 1, caractérisé en ce que le gaz introduit dans la cavité est de l'argon, de l'azote ou de l'oxygène.

0142414

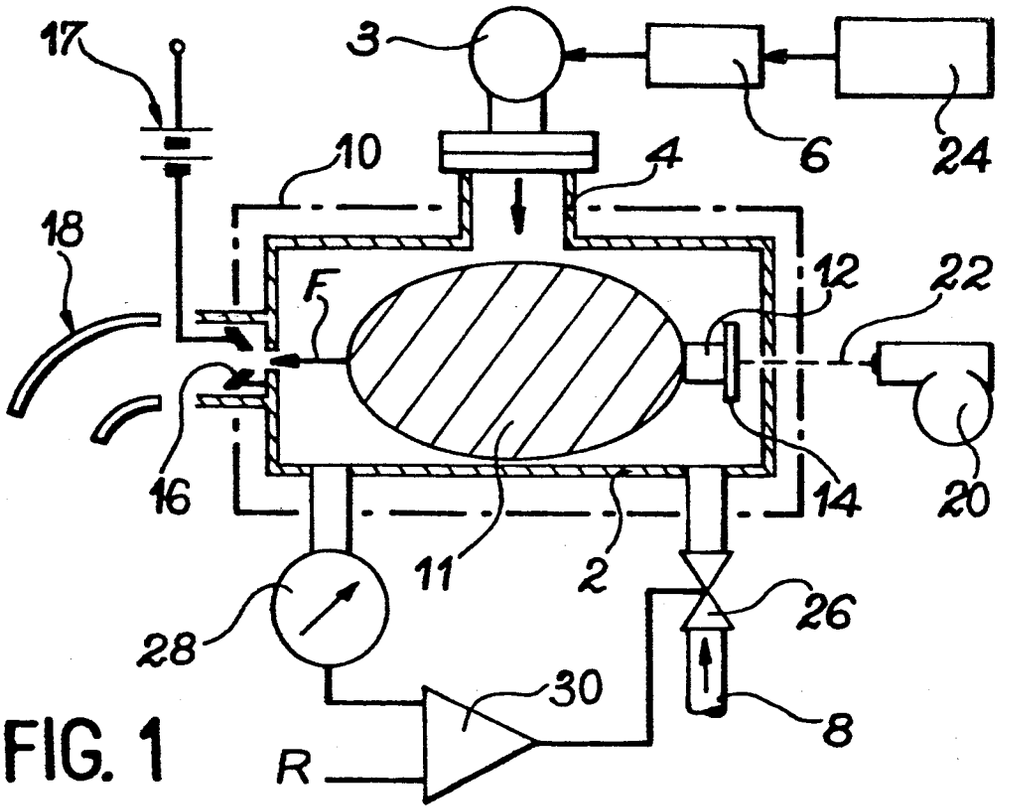


FIG. 1

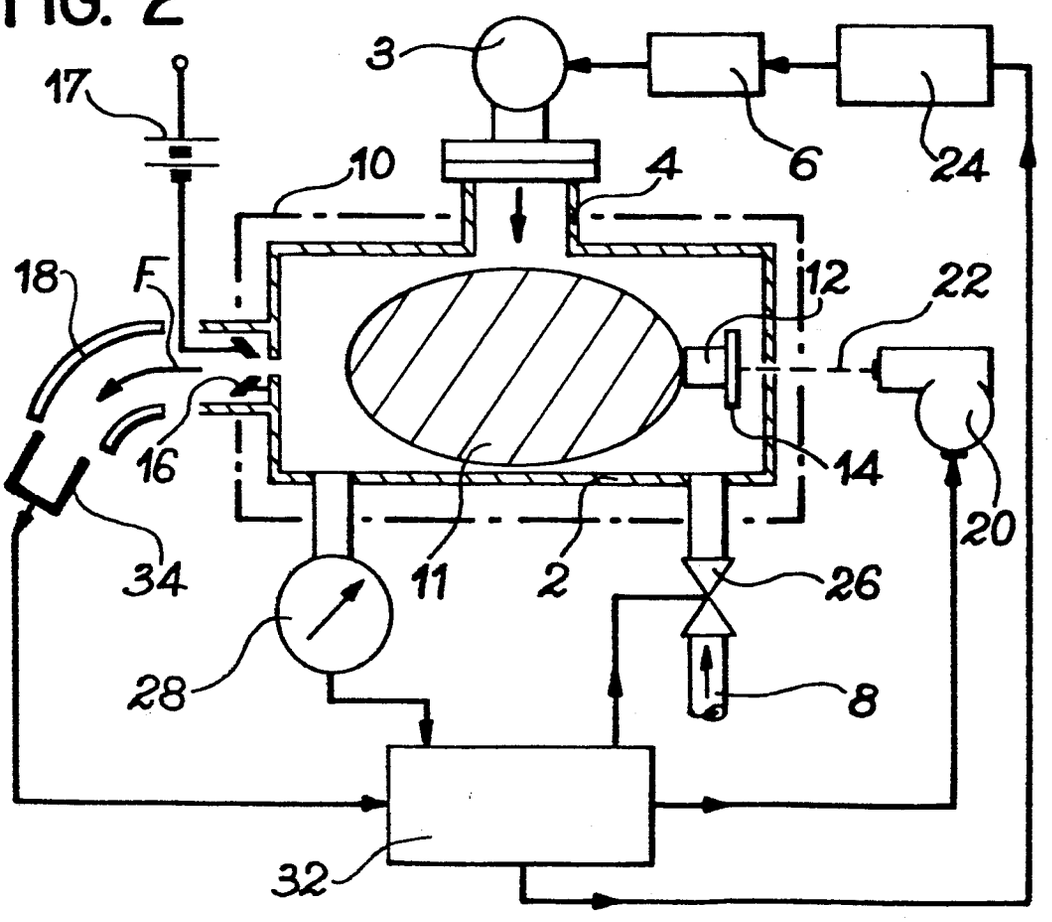



FIG. 2