



⑪ Numéro de publication : **0 483 004 A1**

⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑳ Numéro de dépôt : **91402829.5**

⑤① Int. Cl.⁵ : **H01J 27/18**

㉔ Date de dépôt : **23.10.91**

③① Priorité : **25.10.90 FR 9013232**

⑦② Inventeur : **Briand, Paul**
37, avenue Rhin et Danube
F-38100 Grenoble (FR)

④③ Date de publication de la demande :
29.04.92 Bulletin 92/18

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

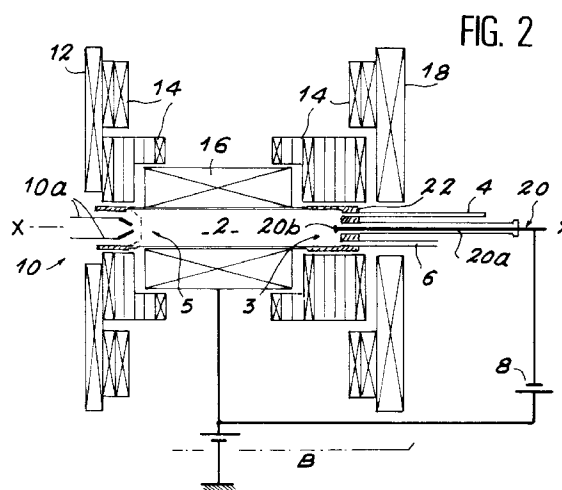
⑧④ Etats contractants désignés :
BE DE GB NL

⑦① Demandeur : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE**
ATOMIQUE
31-33, rue de la Fédération
F-75015 Paris (FR)

⑤④ **Source d'ions fortement chargés à sonde polarisable et à résonance cyclotronique électronique.**

⑤⑦ L'invention concerne une source d'ions à sonde polarisable (20) permettant de produire, à partir d'atomes neutres, une quantité d'ions fortement chargés.

Cette source comprend une cavité hyperfréquence (2), des moyens de production (14) d'un champ magnétique axial dans la cavité, des moyens de production (16) d'un champ magnétique radial multipolaire dans cette cavité, une entrée haute fréquence (4), une introduction de gaz (6) dans la cavité, des moyens d'extraction (10) des ions et une sonde (20) polarisable en tension pour améliorer l'ionisation du gaz.



La présente invention a pour objet une source d'ions positifs fortement chargés à sonde polarisable et à résonance cyclotronique électronique (RCE). Elle trouve de nombreuses applications, en fonction des différentes valeurs de l'énergie cinétique des ions extraits, dans les domaines 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 à résonance cyclotronique électronique, les ions sont obtenus en ionisant, dans une enceinte fermée du genre cavité hyperfréquence, un gaz, constitué par exemple de vapeurs métalliques, au moyen d'un plasma d'électrons fortement accélérés par résonance cyclotronique électronique. Cette résonance est obtenue grâce à l'action conjuguée d'un champ électromagnétique haute fréquence (HF) injecté dans l'enceinte, contenant le gaz à ioniser, et d'un champ magnétique, régnant dans cette même enceinte, dont l'amplitude B satisfait à la condition de résonance cyclotronique électronique suivante : $B = f \cdot 2 \pi m / e$ dans laquelle e représente la charge de l'électron, m sa masse et f la fréquence du champ électromagnétique.

Dans ce type de source, la quantité d'ions pouvant être produite résulte de la compétition entre deux processus : d'une part la formation des ions par impact électronique sur des atomes neutres constituant le gaz à ioniser et d'autre part la destruction de ces mêmes ions par recombinaison, simple ou multiple, lors d'une collision de ces derniers avec un atome neutre ; cet atome neutre peut provenir du gaz non encore ionisé ou bien être produit sur les parois de l'enceinte par impact d'un ion sur lesdites parois.

Cet inconvénient est évité en confinant, dans l'enceinte constituant la source, les ions formés ainsi que les électrons servant à leur ionisation. Ceci est réalisé en créant à l'intérieur de l'enceinte des champs magnétiques radial et axial, définissant une nappe fermée dite "équimagnétique", n'ayant aucun contact avec les parois de l'enceinte et sur laquelle la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite. Cette nappe a la forme d'un ballon de rugby. Plus cette nappe équimagnétique est proche des parois de l'enceinte, plus son efficacité est grande car elle permet de limiter le volume de présence des atomes neutres et donc la quantité de collision ions-atomes neutres. Cette nappe permet aussi de confiner les ions et les électrons produits par ionisation du gaz. Grâce à ce confinement, les électrons créés ont le temps de bombarder plusieurs fois un même ion et de l'ioniser totalement.

Le principe d'une telle source a été décrit dans le document FR-A-2 475 798, déposé au nom du demandeur et dans les articles :

- "Minimafios - Surfaces magnétiques et parois" de Mrs GELLER et JACQUOT, publié à l'occasion du quatrième séminaire international sur les

sources RCE et sujets annexes, en Janvier 1982, p. 14.1 à 14.14.

- "Source d'ions lourds multichargés triplema-fios" de Mrs BRIAND, CHAN-TUNG, GELLER et JACQUOT, publié dans la revue de physique appliquée, en Août 1977, p.1 135 à 1 138.

- "Electron cyclotron resonance multiply charged ion sources" de Mr. GELLER, publié dans IEEE transactions on nuclear science, vol. NS 23, n° 2, en Avril 1976, p. 904 à 912.

Sur la figure 1, on a représenté schématiquement une source d'ions de l'art antérieur.

Cette source contient deux étages.

Le rôle du premier étage A est en grande partie de fournir un flux d'électrons dans l'axe X de la source. Ce premier étage A comporte une cavité 2a à symétrie de révolution des bobines solénoïdales 14a disposées aux deux extrémités de la cavité 2a, créant un champ magnétique axial, ce champ étant majoré par un blindage de fer doux 18a situé à l'entrée de la source. Le gaz ou la vapeur à ioniser est introduit par un conduit 6 à l'intérieur de la cavité 2a. Lorsqu'il s'agit de vapeur, celle-ci peut être introduite dans la cavité sous la forme d'une tige apte à se vaporiser. Un champ électromagnétique est créé à l'intérieur de la cavité 2a par une première entrée haute fréquence 4a.

Le gaz sortant du premier étage A est préionisé et passe ensuite dans le second étage B. Cet étage B est constitué d'une cavité cylindrique multimode 2 d'ordre élevé, c'est-à-dire de dimension grande par rapport à la dimension de la longueur d'onde du champ électromagnétique. Son axe de symétrie porte la référence X. Ce champ électromagnétique est introduit radialement par une seconde entrée haute fréquence 4.

La cavité 2 est réunie à son extrémité 5 à une pompe à vide 10b, au moyen d'une canalisation d'extraction dans laquelle sont logées des électrodes 10a. Une source d'alimentation 9 permet d'appliquer une différence de potentiel à ces électrodes.

Cet ensemble pompe, canalisation et électrodes constitue les moyens d'extraction 10 des ions. Les ions ainsi extraits de la cavité 2 peuvent ensuite être sélectionnés suivant leur degré d'ionisation à l'aide de tout moyen connu utilisant un champ magnétique et/ou un champ électrique.

Autour de la cavité sont disposées des bobines 14 créant un champ magnétique axial et un ensemble 16 d'aimants permanents créant un champ magnétique radial, généralement du type hexapolaire. Ces champs magnétiques axial et radial sont superposés l'un sur l'autre et répartis dans toute la cavité ; ils forment ainsi un champ magnétique résultant qui définit au moins une surface équimagnétique à l'intérieur de la cavité 2.

Le premier problème dans ce type de source est l'importance de l'encombrement ; à ce problème vient

s'ajouter la difficulté de fabrication et donc le coût d'une telle source.

Par ailleurs, les courants d'ions fournis par ces sources sont généralement trop faibles.

La présente invention a pour objet une source d'ions à résonance cyclotronique permettant de remédier à ces inconvénients en simplifiant notamment ce type de source.

De façon plus précise, l'invention a pour objet une source d'ions fortement chargés comportant essentiellement les éléments suivants :

- une cavité, hyperfréquence 2 comportant un axe de symétrie ;
- une entrée haute fréquence 4 débouchant dans la cavité pour y créer un champ électromagnétique de haute fréquence ;
- une introduction de gaz 6 dans la cavité ;
- des moyens de production 14 d'un champ magnétique selon l'axe dans ladite cavité ;
- des moyens de production 16 d'un champ magnétique radial multipolaire dans cette cavité, la superposition de ces champs magnétiques axial et radial formant un champ magnétique résultant réparti dans toute la cavité et définissant au moins une surface équimagnétique S complètement fermée à l'intérieur de la cavité ;
- des moyens d'extraction 10 des ions à l'extrémité 5 de la cavité ;
- une sonde polarisable en tension 20 pour améliorer l'ionisation du gaz et augmenter ainsi le flux d'ions extrait, disposée en amont des moyens d'extraction et n'ayant aucun contact avec la surface magnétique ; et
- des moyens d'alimentation en tension 8 de la sonde.

Par gaz, il faut aussi comprendre des vapeurs métalliques.

La caractéristique principale de l'invention est de remplacer le premier étage de la source MinimaFios par une sonde polarisable en tension.

Outre les avantages décrits précédemment, l'invention permet un coût plus faible que celui des sources existantes telles MinimaFios, la fabrication de la sonde étant plus aisée que celle du premier étage de MinimaFios.

Selon un mode préféré de l'invention, les moyens d'alimentation en tension consistent en une source de tension variable apte à fournir à ladite sonde une tension négative par rapport au potentiel de la cavité assurant ainsi une augmentation du courant d'ions.

Cette tension négative a une valeur absolue au moins égale à environ 100 volts pour une augmentation de la charge des ions.

Selon un mode de réalisation préféré, la sonde est disposée selon l'axe de la cavité, à une de ses extrémités et du côté opposé aux moyens d'extraction. Il est aussi possible de la disposer latéralement.

D'après l'invention, la sonde consiste en un métal

émetteur d'électrons.

Dans un mode préféré de réalisation de la source d'ions, la sonde est fabriquée en tantale. Bien entendu, tout autre métal émetteur d'électrons peut être envisagé et, en particulier, le tungstène et le molybdène.

En particulier, la sonde comporte une tige de ce métal émetteur d'électrons et un disque de ce même métal fixé à une des extrémités de cette tige. Il est possible d'utiliser une sonde dont la tige est réalisée en un métal différent de celui du disque.

Avantageusement, l'introduction du gaz se fait selon l'axe de la cavité, parallèlement à la sonde. Ceci permet d'augmenter l'ionisation des atomes neutres. On peut toutefois introduire le gaz radialement. De préférence, l'introduction de la haute fréquence se fait selon l'axe de la cavité, du côté de la sonde. Il est toutefois possible d'introduire la haute fréquence radialement. Cette source permet en particulier l'obtention d'un courant d'ions d'argon dix sept fois chargés positivement.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, donnée à titre illustratif mais non limitatif. La description se réfère aux figures annexées, dans lesquelles :

- la figure 1, déjà décrite, représente schématiquement une source RCE de l'art antérieur ;
- la figure 2 représente schématiquement la source d'ions selon l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique de la cavité de la source de la figure 2 ;
- les figures 4 à 6 sont des courbes de résultats obtenus lors d'expériences avec la source selon l'invention ; les courbes de la figure 4 donnent les variations du courant ionique I_i exprimé en microampères, en fonction de la charge de l'ion krypton. La courbe de la figure 5 montre les variations du nombre N approximatif d'impulsions par seconde de l'ion Ar^{17+} en fonction du potentiel U de la sonde exprimé en volts. La courbe de la figure 6 donne les variations du courant I_s de la sonde exprimé en milliampères en fonction du potentiel U de cette même sonde exprimé en volts.

La figure 2 représente la source d'ions selon l'invention. Cette source comporte, comme celle de l'art antérieur, un étage B équipé de la cavité 2 RCE quasiment identique au second étage B de la source de la figure 1. En revanche, le premier étage A de la source de la figure 1 a disparu et a été remplacé par une sonde 20 polarisable, alimentée en tension par une source d'alimentation variable 8. Par ailleurs, cette source comporte, à l'entrée de la cavité HF, un élément de fer doux 18 et un autre élément de fer doux 12 à la sortie de la cavité HF, en aval des électrodes 10a.

Le rôle de l'élément 18 est identique à celui de l'élément 18a de la source de la figure 1. L'élément

12, quant à lui, permet la diminution du champ magnétique axial en aval des électrodes de sortie 10a.

En outre, l'alimentation 6 en gaz ou vapeur métallique est effectuée selon l'axe X de la cavité HF et non plus radialement afin d'augmenter la quantité d'ions.

La sonde 20 est alimentée par la source 8 de tension variable (0 - 200 V) dont le branchement électrique est tel que la sonde 20 reçoit une tension négative par rapport au potentiel de la cavité qui est supérieur de quelques kilovolts (10 à 20 kV) par rapport à la masse. La sonde 20 est constituée d'une tige 20a d'un métal émetteur d'électrons au bout de laquelle est fixé un disque 20b du même métal. Ce disque a un diamètre environ dix fois plus grand que celui de la tige 20a afin d'améliorer l'émission des électrons. Ce métal est en particulier du tantale.

Dans la réalisation représentée, la sonde 20 est placée à l'extrémité 3 de la cavité 2, extrémité opposée à celle des moyens d'extraction 10 des ions. De plus, elle est placée selon l'axe X de la cavité 2, parallèlement à l'entrée haute fréquence 4 et à l'introduction du gaz 6. La sonde est fixée dans cette position à l'aide d'un obturateur 22, isolant électrique équipé d'orifices pour le passage, respectivement, de la tige 20a, de l'introduction du gaz 6 et de l'entrée haute fréquence 4.

Sur la figure 3, on a représenté schématiquement une partie de la source selon l'invention et, en particulier, l'intérieur de la cavité hyperfréquence 2. La surface équimagnétique S en forme de ballon de rugby, créée par le champ magnétique résultant, est représentée à l'intérieur de la cavité 2, sans contact avec les parois de la cavité. La sonde 20 située à l'extrémité 3 de la cavité 2 n'a aucun contact avec cette surface équimagnétique S afin d'éviter au mieux les possibilités de recombinaisons d'un ion avec un ou plusieurs électrons.

Les courbes des figures 4 à 6 ont été établies pour une fréquence de 18 GHz et une tension de 15 kV appliquée à la cavité HF.

La figure 4 représente les spectres d'ionisation du krypton, c'est-à-dire les variations du courant ionique I_i du krypton, en microampères, en fonction de l'état de charge Q de l'ion krypton. Le premier spectre a est obtenu pour une sonde non polarisée et donc pour une tension de sonde nulle. Le second spectre b est obtenu pour une sonde polarisée par une tension négative de -180 volts. On remarque une augmentation du courant avec la tension de polarisation ; la valeur maximale est multipliée par un facteur au moins égal à deux lorsque la tension de la sonde passe de 0 à -180 volts.

Une autre conséquence de cette polarisation de la sonde est l'augmentation de la charge des ions du krypton qui passe de quatorze fois chargés positivement à dix sept fois chargés positivement, pour la valeur maximale du courant.

A l'inverse, les inventeurs ont constaté que la sonde, alimentée par une tension positive par rapport à la cavité HF, a pour effet de diminuer le courant d'ions et d'augmenter les faibles états de charge.

La courbe de la figure 5 représente les variations de la quantité N d'ions argon dix sept fois chargés positivement, exprimée en nombre d'impulsions par seconde, en fonction du potentiel U de la sonde, exprimé en volts.

Cette courbe a été tracée en relevant l'intensité de la raie K_{α} émise par un faisceau d'ions Ar^{17+} intercepté par une cible solide. Le faisceau d'ions est extrait de la source avec un potentiel de 15 kV appliqué à la cavité par rapport à la masse et est défléchi par un aimant, par rapport à l'axe X, pour être analysé. L'angle de déviation est lié à l'état de charge sélectionné en M/Q (M est la masse de l'ion et Q sa charge). Il est ici de 104° pour $Q = 17$. La raie K_{α} (2,957 KeV) est observée avec un détecteur au germanium hyper-pur qui regarde la cible sous un angle solide 4.10^{-5} stéradian à travers une fenêtre de Kapton®.

Cette technique de mesure ne donne pas directement l'intensité du courant d'ions Ar^{17+} mais permet de suivre son évolution sans ambiguïté. L'intensité de la raie étant proportionnelle au courant d'ions Ar^{17+} tombant sur la cible. L'énergie des rayons X étant caractéristique de cet ion, on évite ainsi toute confusion avec les états de charge ayant un Q/M voisin tel que l'ion azote six fois chargé.

On remarque sur cette courbe la forte dépendance du nombre d'ions N avec le potentiel de la sonde. Le facteur de croissance du nombre d'ions Ar^{17+} est environ de 100 pour un potentiel de la sonde passant de -5 volts à -150 volts.

La courbe de la figure 6 représente les variations du courant I_s de la sonde en milliampères en fonction du potentiel U de cette même sonde en volts. Aux environs de $U = 0$, le courant de la sonde en tantale est négatif, d'une valeur absolue supérieure à 3 milliampères ; ce courant correspond à une capture d'électrons. Pour des tensions supérieures, en valeur absolue, à environ 100 volts, le courant de la sonde est positif ; il s'agit alors d'émission d'électrons par la sonde ou bien d'un courant ionique de tantale collecté ou encore d'émission d'électrons et d'un courant ionique de tantale collecté.

La source d'ions selon l'invention est de fabrication plus simple que les sources à deux étages connues et permet d'atteindre au moins les mêmes performances qu'une source à deux étages pour un coût moins élevé.

Revendications

1. Source d'ions positifs fortement chargés à sonde polarisable et à résonance cyclotronique électro-

nique comportant essentiellement les éléments suivants :

- une cavité hyperfréquence (2) comportant un axe de symétrie (X) ;
- une entrée haute fréquence (4) débouchant dans la cavité pour y créer un champ électromagnétique de haute fréquence ;
- une introduction de gaz (6) dans la cavité ;
- des moyens de production (14) d'un champ magnétique selon l'axe dans ladite cavité ;
- des moyens de production (16) d'un champ magnétique radial multipolaire dans cette cavité, la superposition de ces champs magnétiques axial et radial formant un champ magnétique résultant réparti dans toute la cavité et définissant au moins une surface équimagnétique (S) complètement fermée à l'intérieur de la cavité ;
- des moyens d'extraction (10) des ions à l'extrémité (5) de la cavité ;
- une sonde (20) polarisable en tension pour améliorer l'ionisation du gaz et augmenter ainsi le flux d'ions extrait, disposée en amont des moyens d'extraction et n'ayant aucun contact avec la surface équimagnétique ; et
- des moyens d'alimentation en tension (8) de la sonde.

duction (6) de gaz se fait selon l'axe de la cavité, parallèlement à la sonde.

8. Application de la source selon l'une quelconque des revendications précédentes, à l'obtention d'un courant d'ions d'argon dix sept fois chargés positivement.

2. Source selon la revendication 1, caractérisée en ce que les moyens d'alimentation en tension consistent en une source de tension variable (8) apte à fournir à ladite sonde une tension négative par rapport au potentiel de la cavité assurant une augmentation du courant d'ions.
3. Source selon la revendication 2, caractérisée en ce que cette tension négative a une valeur absolue au moins égale à environ 100 volts pour augmenter la charge des ions.
4. Source selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la sonde est disposée selon l'axe (X) de la cavité et à une de ses extrémités.
5. Source selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la sonde consiste en un métal émetteur d'électrons.
6. Source selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la sonde (20) comporte une tige (20a) d'un métal émetteur d'électrons et un disque (20b) de ce même métal fixé à une des extrémités de ladite tige.
7. Source selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'intro-

FIG. 1

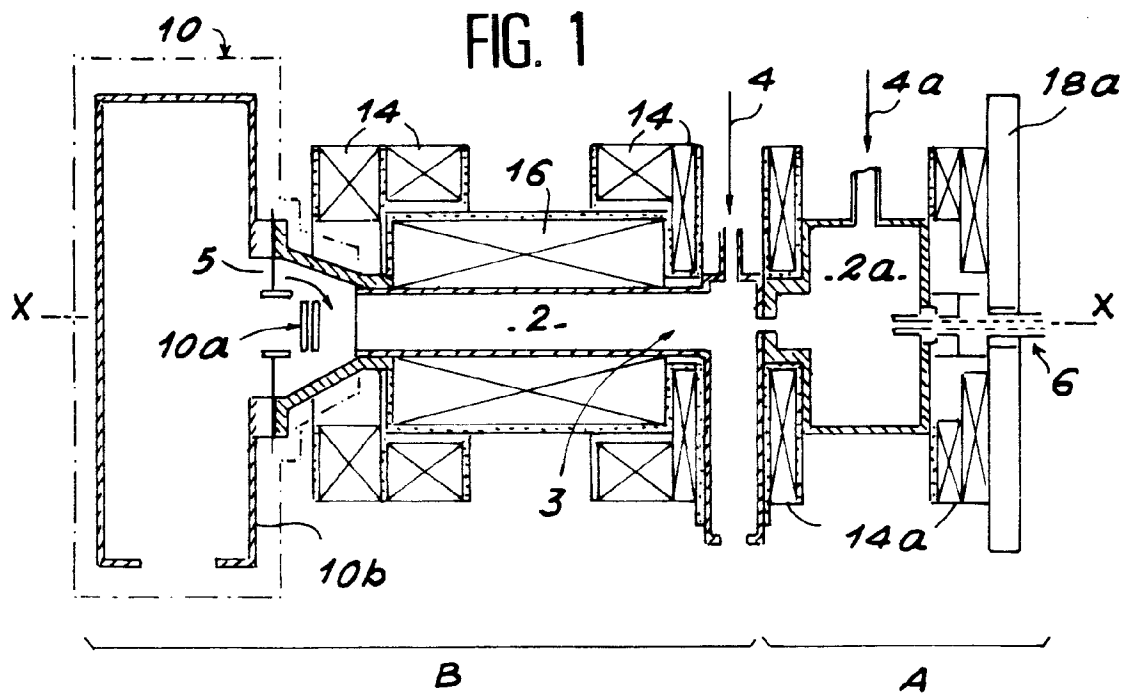


FIG. 2

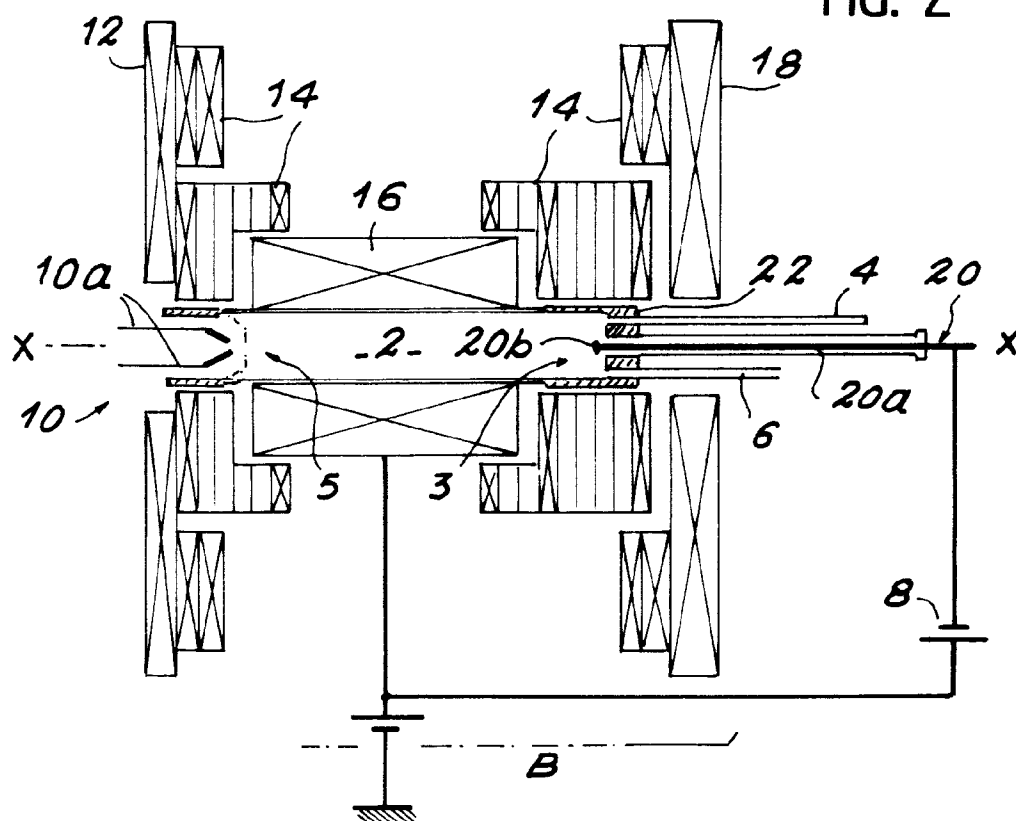


FIG. 3

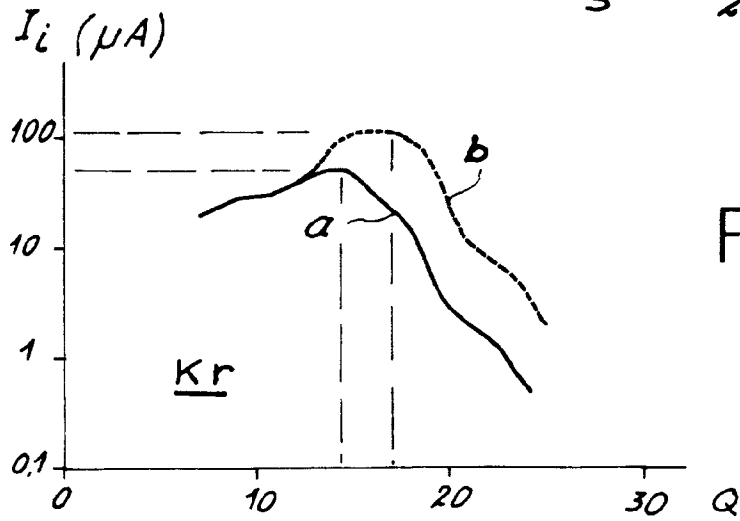
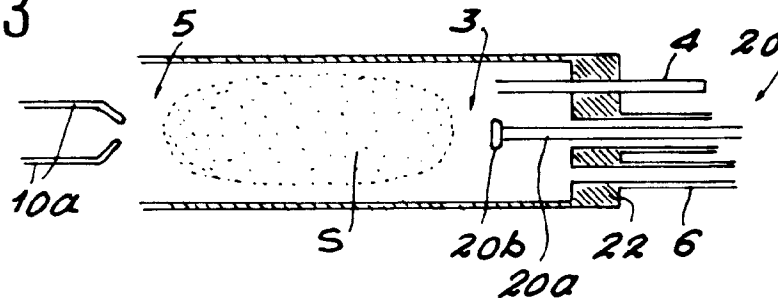


FIG. 4

FIG. 5

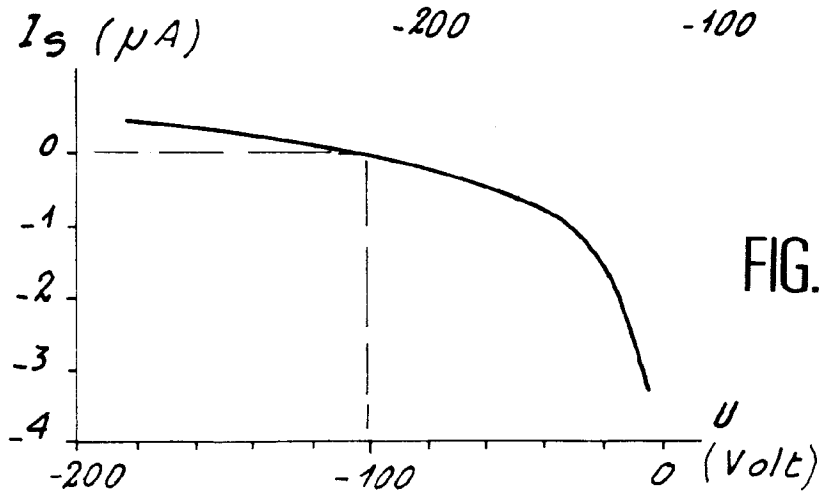
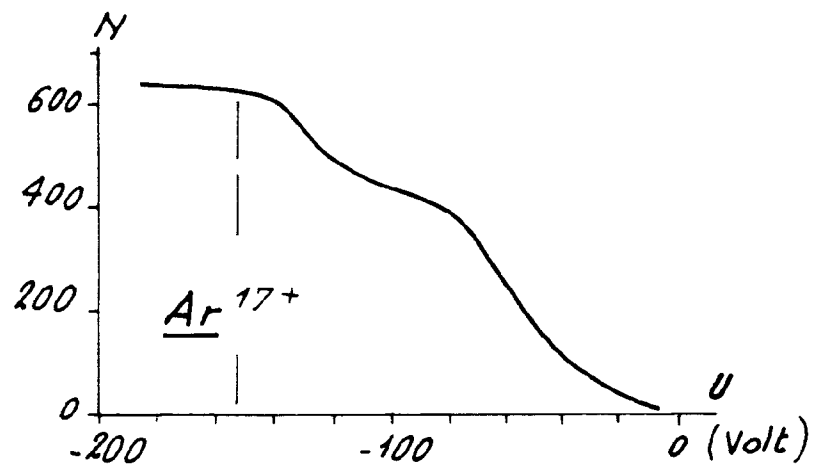


FIG. 6



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 91 40 2829

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.5)
A	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, vol. 219, no. 2, 2 Janvier 1984, AMSTERDAM NL pages 263 - 268; DUGAR - ZHABON ET AL: 'AN ECR SOURCE OF MULTIPLY CHAGED IONS HELIOS-12A' * page 264, colonne de gauche; figures 3,4 * * page 265, colonne de droite * ---	1,2,3,7,8	H01J27/18
A	EP-A-0 199 625 (COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE) * colonne 5, ligne 35 - ligne 45; figure 1 * ---	1,8	
A	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - B vol. B23, no. 1-2, Avril 1987, AMSTERDAM NL pages 177 - 185; DELAUNAY M: 'USE OF ECR ION SOURCES AT THE AGRIPPA FACILITY' * page 184, colonne de gauche; figures 6,8,11,13 * ---		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
A	GB-A-2 069 230 (COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE) * abrégé; figures 1,2 * -----	1	H01J H05H
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 24 JANVIER 1992	Examineur HULNE S. L.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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 & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P0402)