



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
01.03.2017 Bulletin 2017/09

(51) Int Cl.:
H01J 27/18^(2006.01) H01J 27/02^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16180059.4**

(22) Date de dépôt: **19.07.2016**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **DELFERRIERE, Olivier**
91680 BRUYERES-LE-CHATEL (FR)
• **TUSKE, Olivier**
91120 Palaiseau (FR)
• **HARRAULT, Francis**
93170 BAGNOLET (FR)

(30) Priorité: **21.07.2015 FR 1556871**

(74) Mandataire: **Cabinet Camus Lebkiri**
25 rue de Maubeuge
75009 Paris (FR)

(71) Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES**
75015 Paris (FR)

(54) **DISPOSITIF GENERATEUR D'IONS A RESONANCE CYCLOTRONIQUE ELECTRONIQUE**

(57) L'invention concerne un dispositif générateur d'ions à résonance cyclotronique électronique comportant :

- un tube métallique (1) soumis à un premier potentiel (V₁) et percé par :
 - o une première cavité formant une chambre plasma (3) destinée à contenir un plasma;
 - o une deuxième cavité formant un guide d'onde (4) agencé pour injecter une onde haute fréquence dans la chambre plasma (3),

- des moyens d'extraction (12) comportant une extrémité amont (15) connectée à la chambre plasma (3) et une extrémité aval (16) destinée à être connectée à une ligne de transport des ions (22), la bride de connexion (21) étant soumise à un deuxième potentiel (V₂),
- des moyens de génération (8) d'un champ magnétique,
- un tube céramique (17) en contact avec le tube métallique (1), le tube céramique (17) entourant le tube métallique (1) et au moins une partie des moyens d'extraction (12).

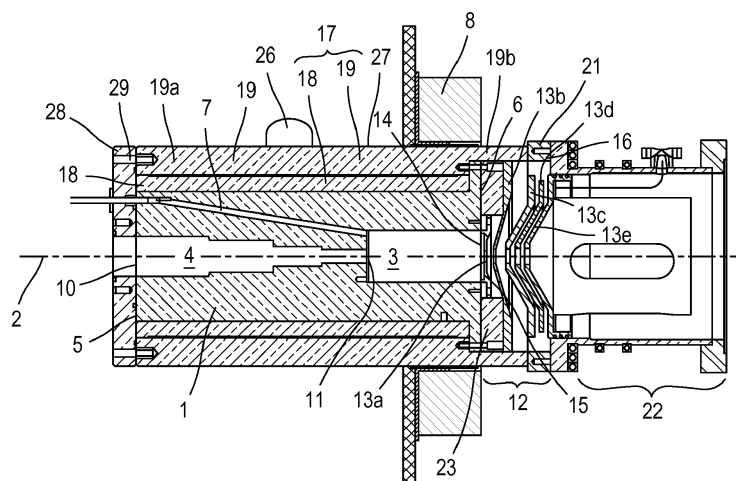


FIG. 1

Description**DOMAINE TECHNIQUE**

[0001] La présente invention concerne un dispositif générateur d'ions à résonance cyclotronique électronique, et plus précisément une source d'ions de type ECR ou « electron Cyclotron Resonance », pour résonance cyclotronique électronique.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEUR

[0002] De façon connue, les dispositifs à résonance cyclotronique électronique, également appelées sources ECR, sont utilisés pour produire des ions mono-chargés ou multichargés (c'est-à-dire des atomes auxquels on a arraché un ou plusieurs électrons).

[0003] Le document FR2969371 décrit un dispositif à résonance cyclotronique électronique comportant :

- une chambre plasma destinée à contenir un plasma ;
- des moyens de génération d'un champ magnétique dans la chambre plasma, la chambre plasma étant à un premier potentiel, les moyens de génération d'un champ magnétique étant à un deuxième potentiel,
- des moyens de propagation d'une onde haute-fréquence à l'intérieur de la chambre plasma,
- une structure isolante, la structure isolante présentant une extrémité amont qui est au premier potentiel et une extrémité aval qui est au deuxième potentiel, les moyens de génération d'un champ magnétique étant situés en aval de la structure isolante.

[0004] Ce dispositif est particulièrement avantageux car il est très compact grâce à la présence de la structure isolante en amont de la chambre plasma, ce qui permet de réduire la longueur totale du dispositif. Toutefois, il reste malgré tout relativement volumineux.

[0005] Par ailleurs, ce dispositif comporte un tube accélérateur permettant d'extraire les ions de la chambre plasma. Pour cela, le tube accélérateur comporte plusieurs électrodes dont la forme est simplifiée par rapport aux dispositifs de l'art antérieur.

[0006] Toutefois, on a constaté que l'extraction du faisceau d'ions est parfois interrompue dans ce dispositif. Ces interruptions dans l'extraction du faisceau pourraient s'expliquer par la présence de décharges de type Penning dans le dispositif. En effet, lors de certaines combinaisons favorables des lignes de champ électrique et magnétique dans la chambre plasma, des décharges de type Penning peuvent apparaître. Or, du fait du niveau de vide régnant dans le tube accélérateur, des particules peuvent alors être piégées entre les électrodes. Ces particules acquièrent alors de l'énergie et décrivent des trajectoires circulaires en oscillant avec une plus ou moins grande amplitude selon les niveaux de champ électrique et magnétique. Ces particules finissent généralement par frapper les électrodes du tube accélérateur ce qui crée un débit de particules au niveau de l'alimentation électrique haute tension du dispositif, ce qui provoque une chute de tension. Le faisceau d'ions ne peut alors plus être extrait de la chambre plasma.

[0007] Par ailleurs, la deuxième électrode de ce dispositif de l'art antérieur, également appelée « électrode intermédiaire » car elle est polarisée à un potentiel intermédiaire, présente une géométrie complexe afin d'éviter les claquages électriques dans le tube accélérateur.

EXPOSE DE L'INVENTION

[0008] L'invention vise à remédier aux inconvénients de l'état de la technique en proposant un dispositif générateur d'ions à résonance cyclotronique électronique plus compact que ceux de l'art antérieur.

[0009] L'invention vise également à proposer un dispositif dans lequel le risque de décharge de type Penning est limité.

[0010] L'invention vise également à proposer un dispositif plus simple que ceux de l'art antérieur, dans lequel le risque de claquage électrique est également réduit.

[0011] Pour ce faire, un premier aspect de l'invention concerne un dispositif générateur d'ions à résonance cyclotronique électronique comportant :

- un tube métallique, le tube métallique étant destiné à être placé à un premier potentiel, le tube métallique étant percé par :

o une première cavité formant une chambre plasma destinée à contenir un plasma;

o une deuxième cavité reliée à la première cavité, la deuxième cavité formant un guide d'onde agencé pour injecter une onde haute fréquence dans la chambre plasma,

- des moyens d'extraction agencés pour extraire des ions de la chambre plasma, les moyens d'extraction comportant une extrémité amont connectée à la chambre plasma et une extrémité aval pourvue d'une bride de connexion destinée à être connectée à une ligne de transport des ions, la bride de connexion étant destinée à être placée à un deuxième potentiel différent du premier potentiel,
- des moyens de génération d'un champ magnétique configurés pour générer un champ magnétique dans la chambre plasma,
- une structure isolante agencée pour isoler électriquement le tube métallique de l'extrémité aval des moyens d'extraction, la structure isolante comportant un tube céramique en contact avec le tube métallique, le tube céramique entourant le tube métallique et au moins une partie des moyens d'extraction.

[0012] Dans ce document, les termes « amont » et « aval » sont utilisés par rapport au sens de propagation d'un faisceau d'ions en sortie de la chambre plasma.

[0013] Le dispositif générateur d'ions à résonance cyclotronique électronique selon le premier aspect de l'invention est particulièrement avantageux car il est plus compact que ceux de l'art antérieur étant donné que la structure isolante est maintenant en contact avec le tube métallique dans lequel sont creusés le guide d'onde et la chambre plasma. Il n'y a donc plus de gap d'air entre la structure isolante et le guide d'onde au contraire des dispositifs de l'art antérieur. En outre, cette géométrie permet d'avoir un risque de claquage limité dans le dispositif, ainsi qu'un risque de décharge de type Penning limité. L'extraction du faisceau d'ions est donc plus fiable dans le dispositif selon le premier aspect de l'invention. En outre, en supprimant le gap d'air entre la structure isolante et le guide d'onde, on supprime le besoin d'une manchette de pompage, ce qui simplifie encore le dispositif.

[0014] Le dispositif selon le premier aspect de l'invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-après prises indépendamment ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0015] Avantageusement, les moyens d'extraction comportent au moins:

- une première électrode solidaire du tube métallique, la première électrode étant destinée à être placée au premier potentiel,
- une troisième électrode en aval de la première électrode, la troisième électrode étant destinée à être placée au deuxième potentiel ;
- une quatrième électrode en aval de la troisième électrode, la quatrième électrode étant destinée à être placée à un potentiel négatif.

[0016] Avantageusement, les moyens d'extraction comportent en outre une deuxième électrode disposée entre la première et la troisième électrode, la deuxième électrode étant destinée à être placée à un potentiel variable, la deuxième électrode étant apte à être reliée à des moyens de réglage du potentiel.

[0017] Avantageusement, la deuxième électrode est reliée au tube céramique, la deuxième électrode présentant une forme annulaire. La deuxième électrode a donc une géométrie plus simple que dans les dispositifs de l'art antérieur. Cette simplification de la géométrie de la deuxième électrode est rendue possible grâce au fait que l'on a supprimé le gap d'air entre la structure isolante et les parois de la chambre plasma et du guide d'onde.

[0018] Avantageusement, le dispositif comporte en outre un anneau céramique intercalé entre la première et la deuxième électrode. Cet anneau céramique permet de maintenir en place la première et la deuxième électrode, tout en diminuant le risque de claquage dans les moyens d'extraction.

[0019] Avantageusement, le dispositif comporte des moyens de connexion aptes à connecter la deuxième électrode à des moyens de réglage du potentiel, les moyens de connexion comportant :

- une prise de connexion située à l'extérieur du tube céramique;
- un conduit de connexion longitudinal traversant longitudinalement le tube céramique, le conduit de connexion étant traversé par un fil métallique reliant la prise de connexion à la deuxième électrode.

[0020] Selon un premier mode de réalisation, la prise de connexion est située sur une paroi extérieure latérale du tube céramique, les moyens de connexion comportant en outre un conduit de connexion radial reliant le conduit de connexion longitudinal à la prise de connexion.

[0021] Selon un deuxième mode de réalisation, le dispositif comporte en outre une bride d'entrée, la prise de connexion étant située sur une paroi extérieure de la bride d'entrée.

[0022] Selon un mode de réalisation, le tube céramique comporte deux parties tubulaires concentriques. Le conduit de connexion longitudinal peut ainsi être formé par une rainure creusée dans une des deux parties tubulaires. La rainure est de préférence creusée dans la partie tubulaire interne. Le conduit de connexion longitudinal est ainsi plus facile à réaliser, puisqu'il peut être réalisé en creusant une rainure sur une surface externe de la partie tubulaire interne du tube céramique.

[0023] Selon un autre mode de réalisation, le tube céramique est formé par une pièce d'un seul tenant.

[0024] Avantageusement, les moyens d'extraction comportent en outre une cinquième électrode en aval de la quatrième électrode, la cinquième électrode étant destinée à être placée au deuxième potentiel.

[0025] Avantageusement, la bride de connexion est fixée sur le tube céramique. En effet, comme le dispositif est plus compact que ceux de l'art antérieur, on peut se passer d'une bride support additionnelle et on peut fixer directement le dispositif à la ligne de transport des ions via la bride de connexion. Le dispositif est ainsi raccourci et la ligne de transport des ions est rapprochée de la chambre plasma, ce qui permet d'obtenir un faisceau d'ions de meilleure qualité dans la ligne de transport des ions.

[0026] Avantageusement, le dispositif comporte en outre des moyens de générations d'un champ magnétique agencés pour générer un champ magnétique dans la chambre plasma, les moyens de génération du champ magnétique entourant le tube céramique, les moyens de génération du champ magnétique étant situés au niveau de la chambre plasma. Ainsi, au contraire des dispositifs de l'art antérieur, les moyens de génération du champ magnétique ne sont plus situés au niveau des moyens d'extraction mais au niveau de la chambre plasma. Cette modification a été rendue possible par :

- la diminution du diamètre de la structure isolante au niveau de la chambre plasma grâce au fait que la structure isolante est maintenant en contact avec le tube formant le guide d'onde et la chambre plasma, et par
- la suppression de la manchette de pompage.

[0027] Cette nouvelle position des moyens de génération d'un champ magnétique est particulièrement avantageuse car elle permet notamment :

- de bénéficier directement dans la chambre plasma du champ magnétique généré par les moyens de génération, au contraire des dispositifs de l'art antérieur dans lesquels on n'utilisait pas directement le champ magnétique généré mais le champ de fuite généré puisque les moyens de génération étaient décalés par rapport à la chambre plasma. La génération du champ magnétique dans le dispositif selon l'invention est donc plus efficace que dans les dispositifs de l'art antérieur ;
- de pouvoir connecter la ligne de transport des ions directement en sortie de la chambre plasma, ce qui n'était pas le cas dans les dispositifs de l'art antérieur puisque l'espace en sortie de la chambre plasma était occupé par les moyens de génération du champ magnétique. On obtient donc un faisceau de meilleure qualité dans la ligne de transport des ions puisque celle-ci est plus proche de la chambre plasma. Ainsi, le faisceau peut être dès son extraction guidée par des moyens de focalisation et de déviation.

[0028] Avantageusement, le tube métallique est percé par un conduit agencé pour permettre l'injection d'un gaz depuis l'extérieur du tube métallique dans la chambre plasma.

BREVES DESCRIPTION DES FIGURES

[0029] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description détaillée qui suit, en référence aux figures annexées, qui illustrent :

- La figure 1, une vue en coupe d'un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention ;
- La figure 2, une vue en perspective du dispositif de la figure 1 en coupe;
- La figure 3, une vue en coupe du dispositif de la figure 1 sur lequel on a représenté le potentiel auquel est portée chaque zone du dispositif ;

- La figure 4, une vue agrandie en coupe d'une partie du dispositif de la figure 1 ;
- La figure 5, une vue en coupe d'un dispositif selon un autre mode de réalisation de l'invention.

5 **[0030]** Pour plus de clarté, les éléments identiques ou similaires sont repérés par des signes de références identiques sur l'ensemble des figures.

DESCRIPTION DETAILLEE D'AU MOINS UN MODE DE REALISATION

10 **[0031]** Un dispositif générateur d'ions à résonance cyclotronique électronique selon un mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en référence aux figures 1 à 5.

[0032] Ce dispositif comporte un tube métallique 1. Le tube métallique 1 s'étend suivant un axe de référence 2. Le tube métallique 1 présente une symétrie de révolution par rapport à l'axe de référence 2. Le tube métallique 1 comporte une extrémité amont 5 et une extrémité aval 6. Le tube métallique 1 peut par exemple être réalisé en cuivre.

15 **[0033]** Le tube métallique 1 comporte une première cavité qui forme une chambre plasma 3 destinée à contenir un plasma.

[0034] Le tube métallique 1 comporte également une deuxième cavité qui forme un guide d'onde 4. Le guide d'onde 4 est destiné à être parcouru par une onde haute fréquence de façon à l'injecter dans la chambre plasma 3. Une onde haute-fréquence est une onde qui présente une fréquence comprise entre 1 et 15 GHz. Le guide d'onde 4 comporte une extrémité amont 10 destinée à être connectée à des moyens de génération d'une onde haute fréquence et une extrémité aval 11 qui débouche dans la chambre plasma 3. La chambre plasma 3 et le guide d'onde 4 sont formés par une pièce d'un seul tenant, ce qui simplifie la structure du dispositif.

20 **[0035]** Le tube métallique 1 est également percé par un conduit 7 qui relie de préférence la chambre plasma 3 à l'extrémité amont du tube métallique. Ce conduit 7 permet d'injecter un gaz dans la chambre plasma 3 depuis l'extérieur du dispositif.

25 **[0036]** Le dispositif comporte également des moyens de génération 8 d'un champ magnétique dans la chambre plasma 3. Ces moyens de génération 8 peuvent par exemple comporter une ou plusieurs bobine(s) ou des aimants permanents.

[0037] En fonctionnement, la chambre plasma 3 est alimentée en atomes via le conduit 7. Le guide d'onde 4 conduit une onde haute fréquence dans la chambre plasma 3 tandis que les moyens de génération 8 génèrent un champ magnétique dans la chambre plasma 3. Le couplage de cette onde haute-fréquence et de ce champ magnétique permet d'obtenir une résonance cyclotronique électronique dans la chambre plasma 3. Les atomes présents dans la chambre plasma 3 sont alors ionisés et on obtient un plasma dans la chambre plasma 3. Pour cela, le champ magnétique dans la chambre plasma 3 doit présenter un module B_{ecr} qui satisfait à la condition (1) de résonance cyclotronique électronique :

35 condition (1) de résonance cyclotronique électronique

$$B_{\text{ecr}} = f \cdot 2\pi m / e \quad (1)$$

40 **[0038]** Avec e la charge de l'électron, m la masse de l'électron et f la fréquence de l'onde haute fréquence injectée dans la chambre plasma.

[0039] En outre, afin de permettre la formation des ions dans la chambre plasma 3, la chambre plasma 3 est placée à un premier potentiel V_1 . Pour cela, l'ensemble du tube métallique 1 est placé à ce premier potentiel V_1 .

45 **[0040]** Le dispositif comporte également des moyens d'extraction 12 configurés pour extraire des ions de la chambre plasma 3. Les moyens d'extraction 12 comportent une extrémité amont 15 raccordée à la chambre plasma 3 et une extrémité aval 16 destinée à être raccordée à une ligne de transport des ions 22. L'extrémité amont 15 des moyens d'extraction est donc destinée à être placée au même potentiel que la chambre plasma 3, c'est-à-dire au premier potentiel V_1 . L'extrémité aval 16 des moyens d'extraction est destinée à être placée au même potentiel que la ligne de transport des ions 22. L'extrémité aval 16 des moyens d'extraction est donc destinée à être placée à un deuxième potentiel V_2 différent du premier potentiel V_1 . La différence de potentiel entre le premier potentiel V_1 et le deuxième potentiel V_2 est de préférence comprise entre 1 et 200 kV. Le deuxième potentiel V_2 est avantageusement proche de 0 V.

[0041] Les moyens d'extraction 12 comportent :

- 55 - Une première électrode 13a disposée au niveau de l'extrémité aval 14 de la chambre plasma 3. Plus précisément, la première électrode 13a forme de préférence un anneau métallique solidaire de l'extrémité aval 14 de la chambre plasma 3. La première électrode 13a est percée par un orifice par lequel peuvent passer les ions qui sortent de la chambre plasma 3. La première électrode 13a est destinée à être placée au premier potentiel V_1 , c'est-à-dire au

même potentiel que la chambre plasma 3;

- Une deuxième électrode 13b disposée en aval de la première électrode 13a. La deuxième électrode 13b est de préférence également formée d'un anneau métallique percé en son centre. La deuxième électrode 13b est destinée à être placée à un potentiel variable V_{var} pour ajuster finement les propriétés optiques du faisceau dès sa formation, au niveau du trou d'extraction ;
- Une troisième et une cinquième électrodes 13c, 13e disposées en aval de la deuxième électrode 13b. La troisième et la cinquième électrodes 13c, 13e sont destinées à être placées au deuxième potentiel V_2 ;
- Une quatrième électrode 13d disposées entre la troisième et la cinquième électrode 13c, 13e. La quatrième électrode 13d est destinée à être placée à un potentiel négatif V_{neg} par rapport au potentiel de la ligne de transport afin d'éviter que les électrons produits par ionisation du gaz résiduel dans la ligne de transport ne retournent en direction de la chambre plasma 3.

[0042] Afin d'isoler les parties du dispositif qui sont à des potentiels différents, le dispositif comporte une structure isolante. Cette structure isolante comporte un tube céramique 17. Ce tube céramique 17 peut par exemple être réalisé en alumine. Le tube céramique 17 est de préférence fixé au tube métallique 1 par l'intermédiaire d'une bride d'entrée 28 annulaire solidaire du tube métallique 1. Le tube céramique 17 est de préférence fixé par des vis 29 à la bride d'entrée 28, de préférence par l'intermédiaire d'inserts métalliques.

[0043] Ce tube céramique 17 comporte de préférence une partie tubulaire interne 18 qui entoure le tube métallique 1. La partie tubulaire interne 18 est en contact avec le tube métallique 1, ce qui permet d'avoir un dispositif moins encombrant radialement et ce qui limite le risque de claquage dans le dispositif. Le tube céramique comporte également une partie tubulaire externe 19 concentrique de la partie tubulaire interne 18. La partie tubulaire externe 19 comporte de préférence une première partie cylindrique 19a qui entoure la partie tubulaire interne 18 et une deuxième partie 19b qui entoure au moins partiellement au moins une partie des électrodes des moyens d'extraction 12. Dans ce mode de réalisation, la deuxième partie cylindrique 19b entoure la première et la deuxième électrode 13a, 13b. La première électrode 13a est fixée sur le tube métallique 1. La deuxième électrode 13b est fixée sur la partie tubulaire externe 19b. Un anneau céramique 23 est intercalé entre la première et la deuxième électrode 13a, 13b afin de les isoler électriquement l'une de l'autre et afin d'éviter les claquages électriques.

[0044] Le dispositif comporte également une bride de connexion 21 permettant de fixer le dispositif à une ligne de transport des ions 22. La bride de connexion 21 est fixée au tube céramique 17. La bride de connexion 21 entoure de préférence les troisième, quatrième et cinquième électrodes 13c, 13d, 13e. Les troisième, quatrième et cinquième électrodes 13c, 13d, 13e sont de préférence fixées sur une bride d'entrée de la ligne de transport 22. Les troisième, quatrième et cinquième électrodes 13c, 13d, 13e peuvent être séparées les unes des autres soit par des gaps d'air et des entretoises isolées, soit par des anneaux céramiques.

[0045] Le dispositif comporte de préférence des moyens de connexion aptes à connecter la deuxième électrode 13b à des moyens de réglage du potentiel. Ces moyens de connexion permettent de polariser la deuxième électrode 11 b en la reliant à une alimentation haute tension.

[0046] Selon un mode de réalisation, les moyens de connexion comportent :

- une prise de connexion 26 située sur une paroi extérieure latérale 27 du tube céramique 17;
- un conduit de connexion radial 36 réalisé dans le tube céramique 17 ;
- un conduit de connexion longitudinal 25 traversant longitudinalement le tube céramique 17.

[0047] Le conduit de connexion longitudinal 25 est de préférence formé par :

- un premier orifice 33 creusé à travers l'anneau céramique 23 ;
- un deuxième orifice 31 creusé à travers une collerette 32 en saillie radiale du tube métallique 1 ;
- une rainure 30 creusée dans la paroi externe de la partie tubulaire interne 18. Le conduit de connexion est ainsi plus facile à réaliser ;

[0048] Le conduit de connexion longitudinal 25 et le conduit de connexion radial 36 sont traversés par un fil métallique 24 reliant la prise de connexion 26 à la deuxième électrode 13b.

[0049] Le fil métallique 24 comporte une première extrémité 34 pincée sur la deuxième électrode 11 b au moyen d'une vis. Le fil métallique 24 passe ensuite successivement dans le premier orifice 33, le deuxième orifice 31 et la rainure 30.

[0050] Le fil métallique traverse donc en particulier la collerette 32 du tube métallique 1. Or le fil métallique 24 n'est pas au même potentiel que la collerette 32. En effet, le fil métallique est au même potentiel que la deuxième électrode 13b, tandis que la collerette est au même potentiel que la chambre plasma. Le fil métallique est donc à un potentiel compris entre le premier potentiel V_1 et le deuxième potentiel V_2 tandis que la collerette 32 est au premier potentiel V_1 . Afin d'éviter tout claquage électrique, un manchon isolant 35 est inséré dans le deuxième orifice 31. Le manchon isolant 35 est donc intercalé entre la collerette 32 et le fil métallique 24. Le manchon isolant 35 est de préférence formé par un tube de verre. Ce manchon isolant 35 s'étend de part et d'autre du deuxième orifice 31, jusque dans les parties en alumine de part et d'autre de la collerette 32 afin d'éviter tout risque de contact entre le fil métallique 24 et la collerette 32.

[0051] Les moyens de génération du champ magnétique 8 entourent de préférence le tube céramique 17. Plus précisément, les moyens de génération du champ magnétique 8 sont de préférence situés au niveau de la chambre plasma 3. Ainsi, les moyens de génération du champ magnétique 8 entourent de préférence la chambre plasma 3 afin d'optimiser la génération du champ magnétique au niveau de la chambre plasma 3.

[0052] Le dispositif ainsi réalisé est compact longitudinalement et radialement. En effet, le volume global du dispositif a ainsi été divisé par dix par rapport aux dispositifs de l'art antérieur. Le dispositif présente en outre un risque de décharge de type Penning et de claquage limité. En outre, il permet de connecter la ligne de transport des ions 22 directement en sortie de la chambre plasma 3, ce qui permet d'avoir un faisceau de meilleure qualité et plus facilement contrôlable dans la ligne de transport des ions.

[0053] Naturellement, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations décrits en référence aux figures et des variantes pourraient être envisagées sans sortir du cadre de l'invention.

[0054] Ainsi, en référence à la figure 5, le tube céramique 17 pourrait être formé d'une pièce d'un seul tenant au lieu d'être formé de deux parties tubulaires concentriques comme représenté sur les figures 1 à 4. Par ailleurs, toujours en référence à la figure 5, les moyens de connexion pourraient comporter :

- une prise de connexion 26 située sur la bride d'entrée du dispositif;
- un conduit de connexion longitudinal 25 traversant longitudinalement le tube céramique 17.

Revendications

1. Dispositif générateur d'ions à résonance cyclotronique électronique comportant :

- un tube métallique (1), le tube métallique (1) étant destiné à être placé à un premier potentiel (V_1), le tube métallique (1) étant percé par :

- o une première cavité formant une chambre plasma (3) destinée à contenir un plasma;
- o une deuxième cavité reliée à la première cavité, la deuxième cavité formant un guide d'onde (4) agencé pour injecter une onde haute fréquence dans la chambre plasma (3),

- des moyens d'extraction (12) agencés pour extraire des ions de la chambre plasma (3), les moyens d'extraction (12) comportant une extrémité amont (15) connectée à la chambre plasma (3) et une extrémité aval (16) pourvue d'une bride de connexion (21) destinée à être connectée à une ligne de transport des ions (22), la bride de connexion (21) étant destinée à être placée à un deuxième potentiel (V_2) différent du premier potentiel (V_1),

- des moyens de génération (8) d'un champ magnétique configurés pour générer un champ magnétique dans la chambre plasma (3),

- une structure isolante agencée pour isoler électriquement le tube métallique (1) de l'extrémité aval (16) des moyens d'extraction, la structure isolante comportant un tube céramique (17) en contact avec le tube métallique (1), le tube céramique (17) entourant le tube métallique (1) et au moins une partie des moyens d'extraction (12).

2. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel les moyens d'extraction (12) comportent au moins:

- une première électrode (13a) solidaire du tube métallique (1), la première électrode (13a) étant destinée à être placée au premier potentiel (V_1),
- une troisième électrode (13c) en aval de la première électrode (13b), la troisième électrode (13c) étant destinée à être placée au deuxième potentiel (V_2) ;

- une quatrième électrode (13d) en aval de la troisième électrode, la quatrième électrode (13d) étant destinée à être placée à un potentiel négatif (V_{neg}).

- 5 **3.** Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel les moyens d'extraction (12) comportent en outre une deuxième électrode (13b) disposée entre la première et la troisième électrode (13a, 13c), la deuxième électrode (13b) étant destinée à être placée à un potentiel variable (V_{var}), la deuxième électrode (13b) étant apte à être reliée à des moyens de réglage du potentiel.
- 10 **4.** Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel la deuxième électrode (13b) est reliée au tube céramique (17), la deuxième électrode (13b) présentant une forme annulaire.
- 5.** Dispositif selon l'une des revendications 3 ou 4, comportant en outre un anneau céramique (23) intercalé entre la première (13a) et la deuxième électrode (13b).
- 15 **6.** Dispositif selon l'une des revendications 3 à 5, le dispositif comportant des moyens de connexion aptes à connecter la deuxième électrode (13b) à des moyens de réglage du potentiel, les moyens de connexion comportant :
 - une prise de connexion (26) située à l'extérieur du tube céramique (17);
 - un conduit de connexion longitudinal (25) traversant longitudinalement le tube céramique (17), le conduit de connexion (25) étant traversé par un fil métallique (24) reliant la prise de connexion (26) à la deuxième électrode (13b).
- 20 **7.** Dispositif selon la revendication 6, dans lequel la prise de connexion est située sur une paroi extérieure latérale (27) du tube céramique, les moyens de connexion comportant en outre un conduit de connexion radial (36) reliant le conduit de connexion longitudinal à la prise de connexion (26).
- 25 **8.** Dispositif selon la revendication 6, comportant en outre une bride d'entrée (28), la prise de connexion étant située sur une paroi extérieure de la bride d'entrée.
- 30 **9.** Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel le tube céramique (17) comporte deux parties tubulaires (18, 19) concentriques.
- 10.** Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel le tube céramique (17) est formé par une pièce d'un seul tenant.
- 35 **11.** Dispositif selon l'une des revendications 2 à 10, dans lequel les moyens d'extraction comportent en outre une cinquième électrode (13e) en aval de la quatrième électrode (13c), la cinquième électrode (13e) étant destinée à être placée au deuxième potentiel (V_2).
- 40 **12.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la bride de connexion (21) est fixée sur le tube céramique (17).
- 13.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comportant en outre des moyens de générations d'un champ magnétique (8) agencés pour générer un champ magnétique dans la chambre plasma (3), les moyens de génération du champ magnétique entourant le tube céramique (17), les moyens de génération du champ magnétique (8) étant situés au niveau de la chambre plasma (3).
- 45 **14.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le tube métallique (1) est percé par un conduit (7) agencé pour permettre l'injection d'un gaz depuis l'extérieur du tube métallique (1) dans la chambre plasma (3).
- 50

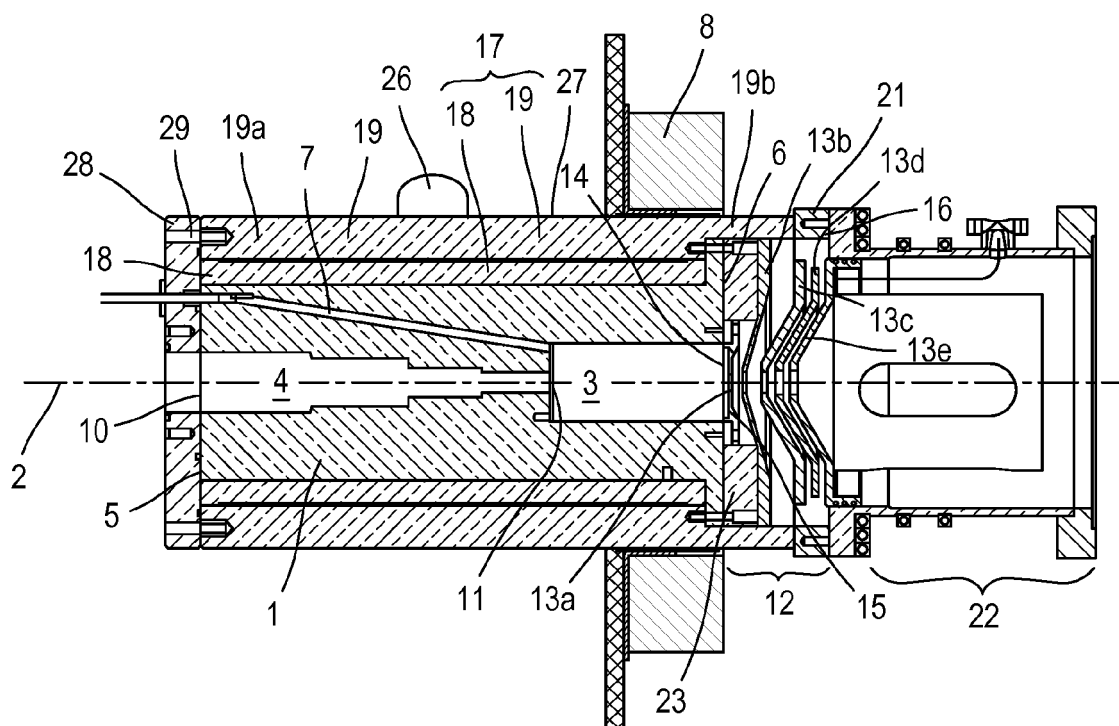


FIG. 1

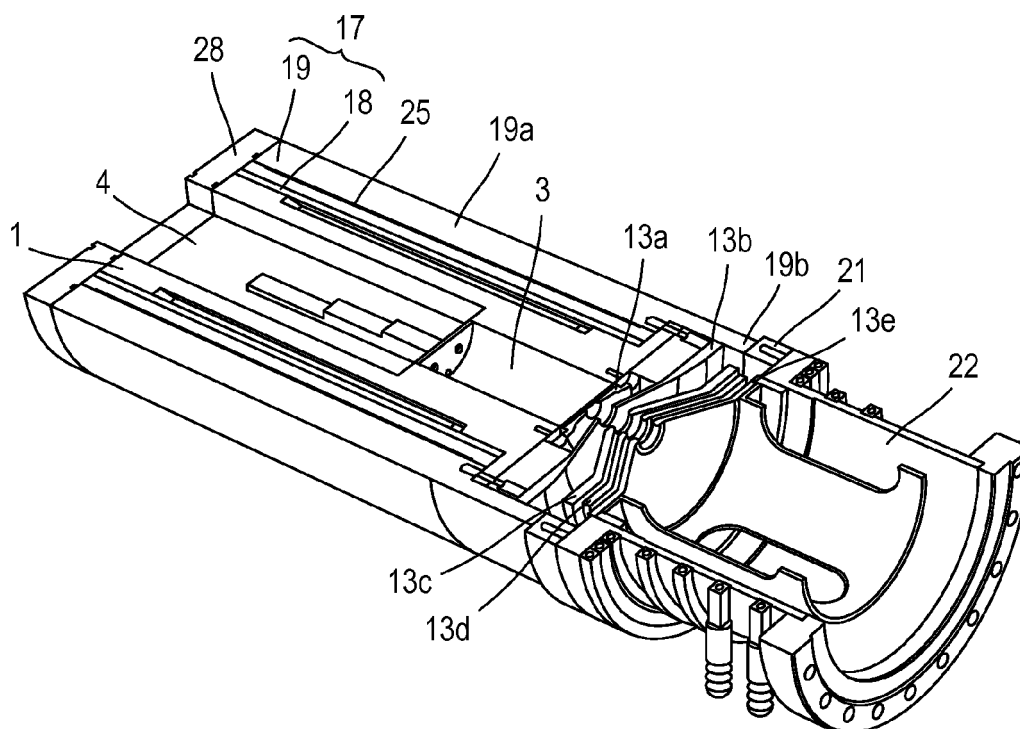


FIG. 2

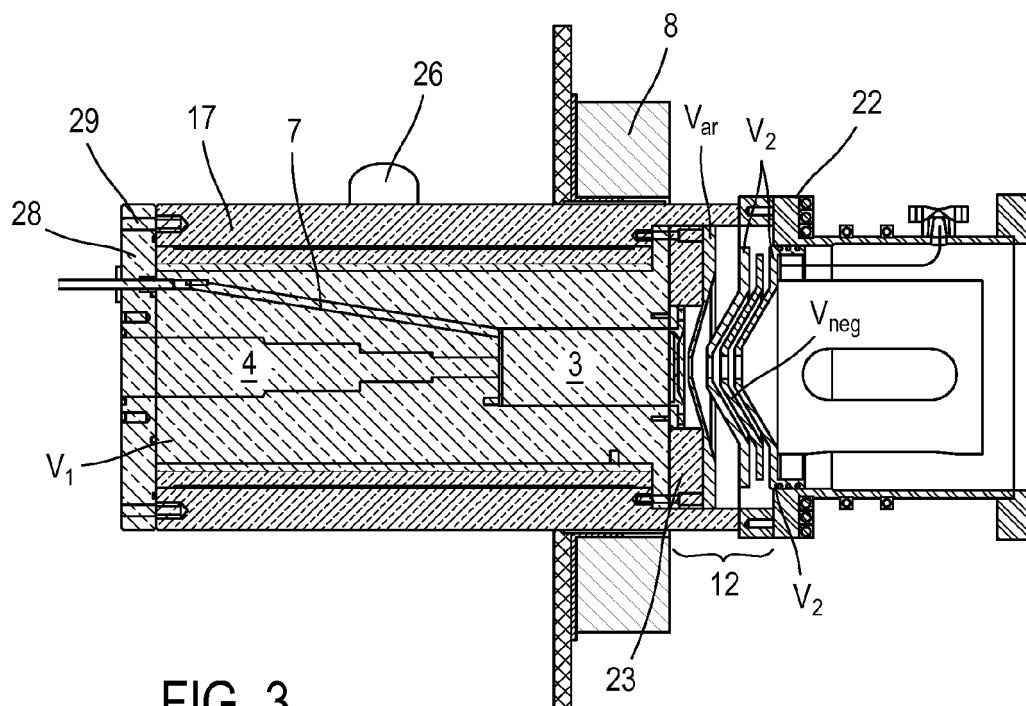


FIG. 3

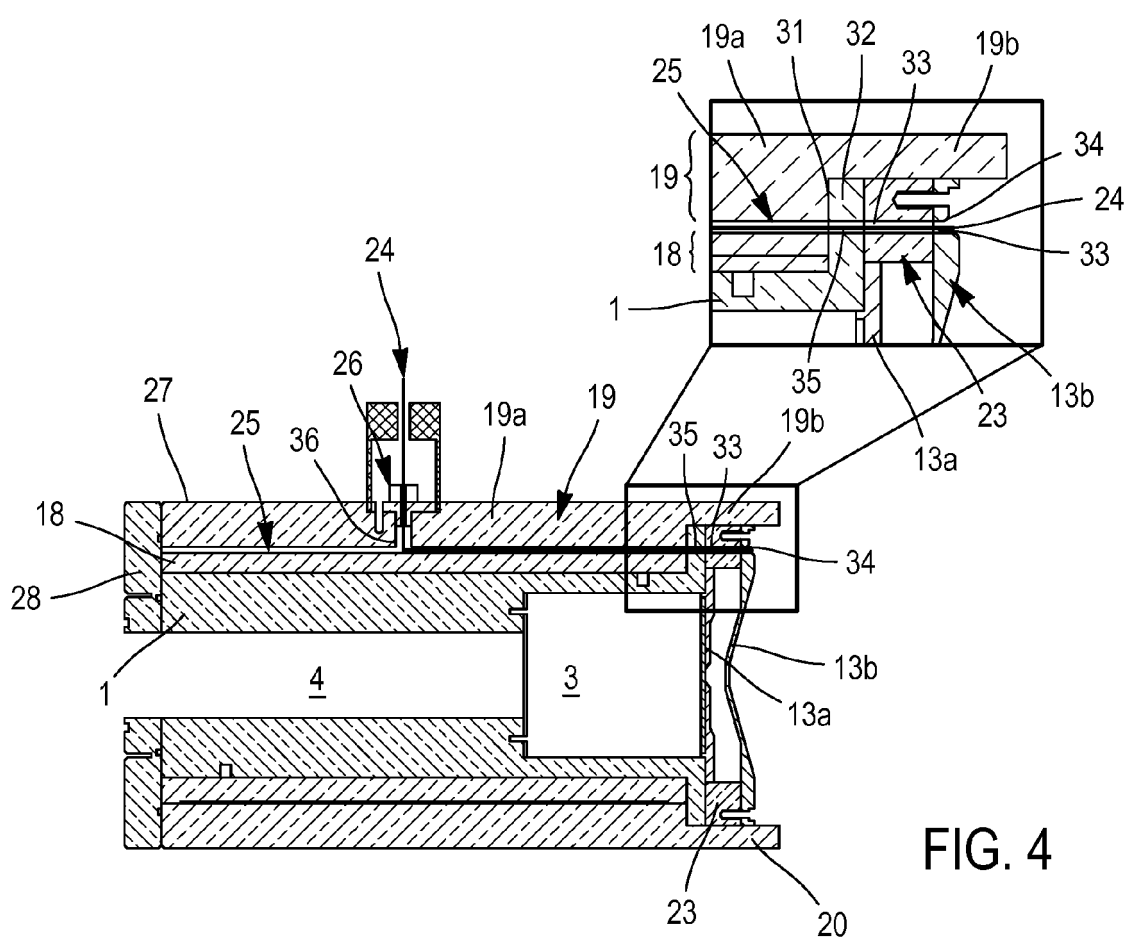


FIG. 4

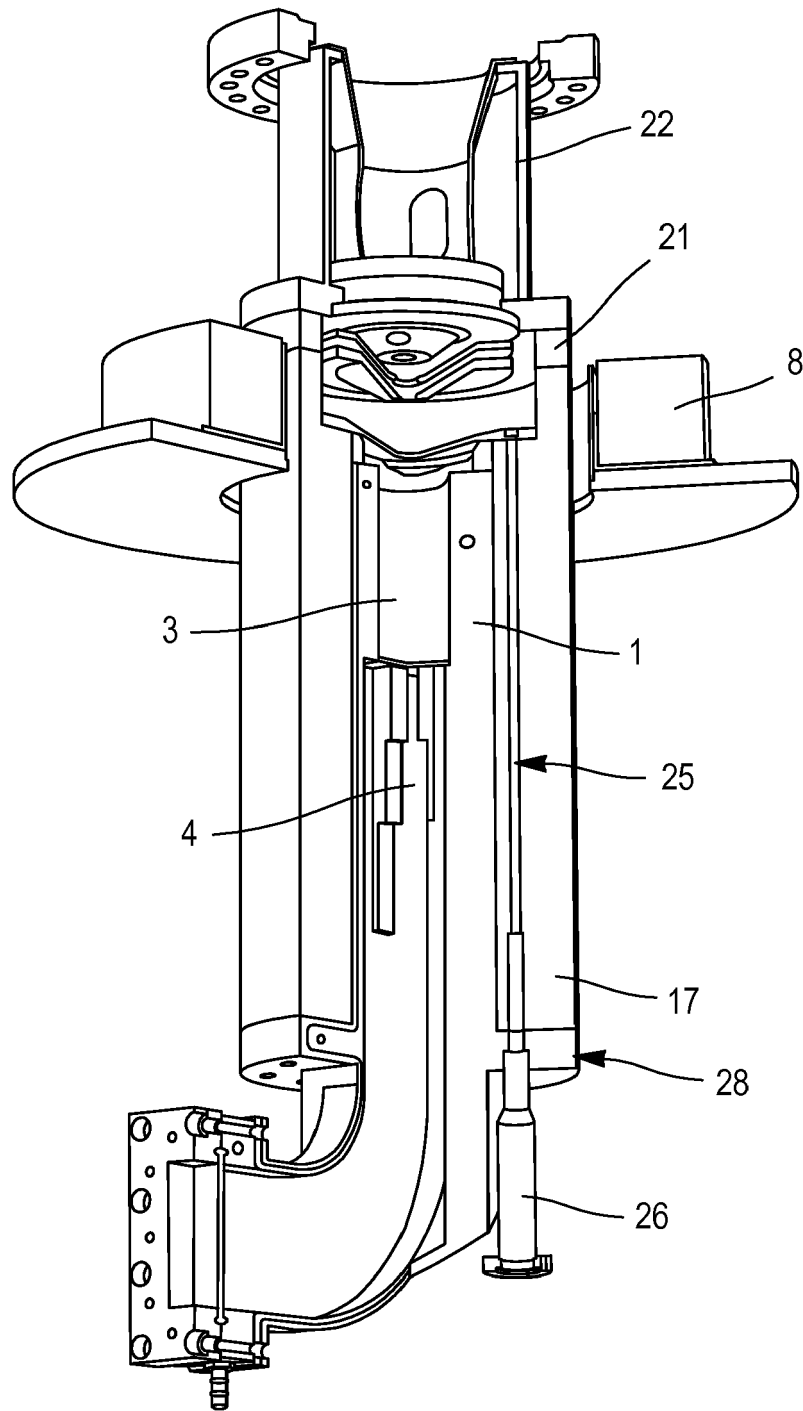


FIG. 5



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 18 0059

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	JP H09 55170 A (NISSIN ELECTRIC CO LTD) 25 février 1997 (1997-02-25)	1,9,10, 12-14	INV. H01J27/18
Y	* abrégé; figure 3 * * alinéas [0003] - [0005]; figure 1 * * alinéas [0018] - [0020] * * alinéa [0026] *	2-8,11	H01J27/02
Y,D	FR 2 969 371 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 22 juin 2012 (2012-06-22) * page 15; figure 2 *	2-8,11	
A	GOBIN R ET AL: "High intensity ECR ion source (H+, D+, H-) developments at CEA/Saclay", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AIP, MELVILLE, NY, US, vol. 73, no. 2, 1 février 2002 (2002-02-01), pages 922-924, XP012039757, ISSN: 0034-6748, DOI: 10.1063/1.1428783 * le document en entier *	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		17 janvier 2017	Loiseleur, Pierre
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 16 18 0059

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

17-01-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP H0955170 A	25-02-1997	AUCUN	
FR 2969371 A1	22-06-2012	EP 2652766 A1	23-10-2013
		FR 2969371 A1	22-06-2012
		US 2013327954 A1	12-12-2013
		WO 2012080650 A1	21-06-2012

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2969371 [0003]