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

(11) Numéro de publication: **0 252 845**
A1

(12) # DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **87401608.2**

(51) Int. Cl.4: **H 01 J 27/18**

(22) Date de dépôt: **08.07.87**

(30) Priorité: **10.07.86 FR 8610066**

(43) Date de publication de la demande:
13.01.88 Bulletin 88/02

(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)

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

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

(54) **Source d'ions à résonance cyclotronique électronique.**

(57) Cette source comprend une enceinte (2) contenant un gaz destiné à former un plasma confiné, un dispositif (12, 14) pour injecter à une extrémité (10) de l'enceinte un champ électromagnétique HF, deux bobines (20, 22) disposées autour de l'enceinte, alimentées en opposition, disposées de part et d'autre d'un plan médian (III-III) perpendiculaire à l'axe longitudinal (4) de l'enceinte, un blindage (36) en fer doux ayant la forme d'un anneau entourant l'enceinte, situé dans le plan médian, les bobines et ce blindage définissant au moins une nappe équimagnétique (28) sur laquelle la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite, et un système (32, 34) pour extraire les ions formés, situé à la seconde extrémité (8) de l'enceinte.

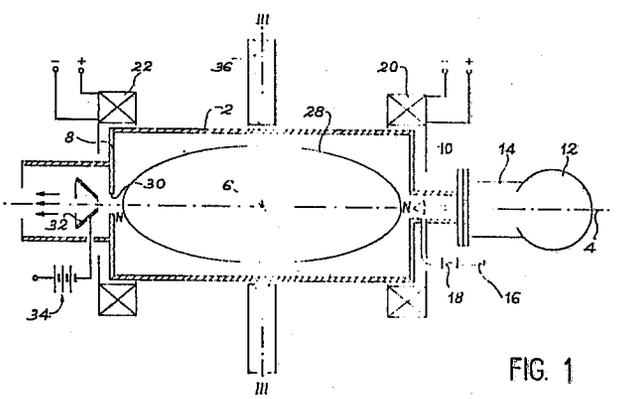


FIG. 1

EP 0 252 845 A1

Description

SOURCE D'IONS A RESONANCE CYCLOTRONIQUE ELECTRONIQUE

La présente invention a pour objet une source d'ions à résonance cyclotronique électronique permettant notamment la production d'ions lourds positifs multichargés. Elle trouve de nombreuses applications, en fonction des différentes valeurs de l'énergie cinétique des ions extraits, 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 à résonance cyclotronique électronique, les ions sont obtenus en ionisant, dans une enceinte fermée du genre cavité hyperfréquence présentant un axe de symétrie, un milieu gazeux, constitué d'un ou plusieurs gaz ou de vapeurs métalliques. Cette ionisation résulte d'une interaction entre le milieu gazeux et un plasma d'électrons fortement accélérés par résonance cyclotronique électronique.

Cette résonance est obtenue grâce à l'action conjuguée d'un champ électromagnétique de haute fréquence, injecté à une première extrémité de l'enceinte, et d'un champ magnétique à symétrie axiale régnant dans cette même 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 $B_r = f.2\pi m/e$, dans laquelle e représente la charge de l'électron, m sa masse, f la fréquence du champ électromagnétique.

Les ions ainsi créés sont extraits de l'enceinte par une seconde extrémité.

Une telle source est notamment décrite dans la demande de brevet français n°85 19252 déposée le 26 décembre 1985 au nom du demandeur.

Le champ magnétique axial est généralement créé par des solénoïdes ou bobines, entourant l'enceinte, parcourus par des courants circulant dans le même sens.

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 due à une collision de ces ions 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 l'impact d'un ion sur lesdites parois.

Le problème dans ce type de source est donc de minimiser la destruction des ions formés en évitant toute collision de ceux-ci avec un atome neutre.

Pour remédier à cet inconvénient, on a prévu de confiner dans l'enceinte les ions formés ainsi que les électrons servant à leur ionisation. Ceci est réalisé en créant à l'intérieur de cette enceinte un ensemble de champs magnétiques locaux, radiaux et axiaux, définissant au moins 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 représente le lieu des points où l'amplitude des champs magnétiqus locaux présente la même valeur.

Une telle source a notamment été décrite dans le document US-A-4 417 178 déposé au nom du demandeur.

Les champs locaux radiaux sont en particulier engendrés par plusieurs barreaux aimantés, disposés symétriquement autour de l'enceinte et allant d'une extrémité à l'autre de l'enceinte. Ils sont constitués chacun de plusieurs aimants élémentaires, accolés. Une telle configuration magnétique est notamment décrite dans le document FR-A-2 556 498 déposé au nom du demandeur.

Cette configuration magnétique présente à ces deux extrémités des perturbations magnétiques locales (ou effets de bords) engendrant des composantes magnétiques axiales parasites qui s'ajoutent ou se retranchent, suivant la polarité des aimants, au champ magnétique principal à symétrie axiale.

La modulation de ces champs magnétiques axiaux parasites est d'autant plus forte que les aimants élémentaires constituant les barreaux sont plus performants.

Or, il apparaît actuellement sur le marché des aimants de plus en plus performants de compositions ternaires comme en particulier des aimants à base de fer, de praséodyme et de bore. Ces aimants à base de terres rares ont l'avantage de présenter une grande rigidité magnétique, ce qui, en plus de leurs performances magnétiques élevées, permet la superposition de deux champs antagonistes sans risque de démagnétisation de ces aimants. Une grande rigidité magnétique autorise notamment la confection de structures multipolaires composites où les champs axiaux et radiaux se composent algébriquement.

Ces aimants de haute performance engendrent aux extrémités des barreaux aimantés des champs magnétiques axiaux et radiaux qui en se combinant au champ axial principal conduisent à la condition de résonance cyclotronique électronique. Cette condition de résonance engendre des calottes résonnantes aux deux extrémités de la structure magnétique qui, suivant qu'elles se trouvent du côté de l'extraction des ions ou du côté de l'injection de l'onde électromagnétique, peuvent être bénéfiques ou nuisibles.

La production de calottes résonnantes du côté de l'extraction des ions est en général bénéfique comme le montre le document FR-A-2 556 498.

Toutefois, l'orifice d'extraction se trouvant dans une zone à champ magnétique non optimisé où le plasma d'électrons et d'ions multichargés est moyennement dense, l'extraction des ions selon l'axe de l'enceinte n'est pas optimale.

En outre, les calottes résonnantes sont toujours nuisibles du côté de l'injection de la haute fréquence puisqu'elles prélèvent de l'énergie dans l'onde électromagnétique qui devrait normalement être

utilisée pour l'ionisation du milieu gazeux contenu dans l'enceinte.

Cette absorption de l'énergie parasite se traduit par des phénomènes génants, liés au transfert d'énergie électromagnétique à des électrons situés en dehors de la zone de confinement et en particulier dans une zone à fort gradient magnétique décroissant vers les parois de l'enceinte. Il en résulte un bombardement intense, localisé en regard des barreaux aimantés, de la paroi de l'enceinte par des électrons énergétiques pouvant conduire à l'endommagement de celle-ci, une émission de rayons X importante et la création d'instabilités dans le plasma d'électrons confiné.

Afin d'éviter l'endommagement de la paroi interne de l'enceinte, un bouclier thermique doit être prévu sur ladite paroi.

On connaît par ailleurs depuis plus d'un quart de siècle des structures magnétiques en forme de "bouteille cuspée" ou cuspidée. Cette configuration magnétique est obtenue à l'aide de deux bobines, disposées de façon symétrique par rapport au centre de l'enceinte et alimentées par des courants circulant dans des sens opposés.

Dans une telle configuration, le champ magnétique présente une symétrie de révolution axiale et une symétrie par rapport au centre de la source. L'amplitude du champ magnétique croît dans toutes les directions de l'espace à partir du centre de l'enceinte, jusqu'à atteindre un maximum auprès des bobines, tout en passant par des valeurs définissant des surfaces fermées équimagnétiques sur lesquelles la condition de résonance cyclotronique électronique peut être satisfaite et dont les dimensions croissent à partir du centre de l'enceinte.

En particulier, le champ magnétique créé par des bobines alimentées en opposition présente des composantes axiales et radiales.

Pour obtenir un optimum du champ magnétique axial, compte tenu de l'alimentation en opposition des bobines, celles-ci doivent être le plus éloignées possible l'une de l'autre. A l'inverse, pour obtenir un optimum du champ magnétique radial, notamment dans le plan médian de l'enceinte, les deux bobines doivent être le plus rapprochées possible l'une de l'autre.

Entre ces deux exigences contradictoires, il existe un compromis correspondant approximativement à l'égalité des flux magnétiques axiaux dans les bobines et radiaux dans la partie latérale commune. Ceci est obtenu pour une distance séparant les bobines, égale au rayon moyen de ces bobines.

Malheureusement dans ce cas, on constate un déficit de champ magnétique radial dans le plan médian de l'enceinte, par rapport au champ magnétique axial créé, déficit dû au fait que le maximum du champ magnétique radial se fait tout contre les bobines (loi de Biot et Savart). De ce fait les surfaces équimagnétiques sont vite limitées.

La présente invention a justement pour objet une source d'ions à résonance cyclotronique électronique permettant de remédier aux différents inconvénients ci-dessus.

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

- une enceinte fermée ayant un axe de symétrie longitudinal, une premiére et une seconde extrémités orientées selon cet axe, cette enceinte contenant un gaz destiné à former par résonance cyclotronique un plasma confiné dans ladite enceinte,
- un dispositif pour injecter à la première extrémité de l'enceinte un champ électromagnétique de haute fréquence,
- une structure magnétique, disposée autour de l'enceinte et présentant un axe de symétrie confondu avec celui de l'enceinte, engendrant ds champs magnétiques locaux, axiaux et radiaux, définissant au moins une nappe équimagnétique sur laquelle la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite, et
- un système pour extraire de l'enceinte les ions formés, situés à la seconde extrémité de l'enceinte,

caractérisée en ce que la structure magnétique comprend :

- une premiére et une seconde bobines disposées de part et d'autre et à égale distance d'un plan médian, perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'enceinte et passant par le centre de la cavité, ces deux bobines étant parcourues par des courants de sens de circulation opposés, et
- des moyens de concentration des lignes de forces magnétiques, entourant l'enceinte dans le plan médian et renforçant localement les champs magnétiques radiaux dans ce plan.

Par gaz destinés à former un plasma, il faut comprendre un milieu gazeux contenant un ou plusieurs gaz ou des vapeurs d'un ou plusieurs matériaux solides. A cet effet, on peut se référer au document FR-A-2 548 436 déposé au nom du demandeur.

L'utilisation de deux bobines alimentées en opposition permet d'obtenir une "bouteille magnétique" cuspée ou cuspidée, présentant une symétrie de révolution selon l'axe longitudinal de la cavité et une symétrie par rapport au centre de cavité.

Dans cette structure magnétique, il existe des valeurs du champ magnétique pour lesquelles la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite.

L'utilisation de moyens de concentration des lignes de forces magnétiques dans le plan médian de l'enceinte constituant une structure unipolaire, permet notamment de rapprocher les bobines élémentaires alimentées en opposition, les influences antagonistes des bobines étant atténuées par la présence de ces moyens de concentration. En outre, ces moyens de concentration permettent une répartition homogène des nappes ou surfaces équimagnétiques à l'intérieur de l'enceinte.

Comme dans toute "bouteille magnétique" il y a des fuites magnétiques orientées radialement, entraînant par conséquent des fuites de plasma énergétique le long des lignes de forces magnétiques correspondantes. Or, dans la source selon l'invention, les lignes de forces de fuites radiales convergent toutes vers le plan médian de l'enceinte, ce qui conduit à un impact thermique du plasma de fuite dans tout le plan médian, sur une bande

circulaire, et non sur des génératrices discrètes de l'enceinte comme dans le cas d'un système multipolaire constitué par des barreaux aimantés entourant l'enceinte selon l'art antérieur. Ceci facilite considérablement la protection thermique de la paroi interne de l'enceinte et par conséquent le refroidissement local de ladite paroi.

Par ailleurs, la suppression des barreaux aimantés par rapport à l'art antérieur permet d'éviter les perturbations magnétiques aux extrémités des barreaux qui sont le plus souvent néfastes.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, les moyens de concentration comprennent un blindage magnétique ayant la forme d'un anneau entourant l'enceinte et disposé dans le plan médian.

En vue de rendre la source d'ions selon l'invention la plus compacte possible, notamment en rapprochant au maximum les bobines, les moyens de concentration peuvent être formés d'un blindage magnétique enfermant les deux bobines et présentant en coupe selon un plan contenant l'axe longitudinal la forme d'un E tourné vers cet axe longitudinal, la jambe centrale du E, située dans le plan médian, présentant une largeur double de celle des autres jambes du E.

La jambe centrale du E joue le même rôle que l'anneau simple, prévu ci-dessus.

De préférence, le blindage magnétique qu'il soit sous forme d'un anneau simple ou sous la forme d'un E, vu en coupe longitudinale, est réalisé en fer doux.

Selon un second mode de réalisation de l'invention, les moyens de concentration sont constitués de plusieurs aimants permanents identiques, disposés autour de l'enceinte et dans le plan médian, les pôles de ces aimants orientés vers l'axe longitudinal étant accolés et situés à une même distance de l'axe longitudinal et présentant la même polarité.

Avantageusement, ces aimants permanents sont réalisés en un alliage de samarium et de cobalt de formule $SmCo_5$.

En cas de besoin, pour augmenter l'intensité du champ magnétique, il est possible d'utiliser simultanément le blindage magnétique, ayant la forme d'un anneau simple ou d'un E, en coupe longitudinale, et les aimants permanents.

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

- la figure 1 représente schématiquement, en coupe longitudinale, une source d'ions conforme à l'invention,
- la figure 2 est une vue schématique montrant la circulation des lignes de forces magnétiques créées par les bobines seules à l'intérieur de la source selon l'invention,
- la figure 3 représente schématiquement une vue en coupe selon la ligne III-III de la figure 1,
- la figure 4 est une vue schématique montrant la circulation des lignes de forces magnétiques créées à l'intérieur de la source de la figure 1,
- la figure 5 représente schématiquement, en coupe longitudinale, une variante de la source d'ions de la figure 1,
- la figure 6 représente schématiquement, en coupe transversale, selon le plan médian de l'enceinte d'une source de l'invention, une variante de réalisation des moyens de concentration des lignes de forces magnétiques situés dans ce plan,
- la figure 7 est une vue schématique montrant la circulation des lignes de forces magnétiques créées à l'intérieur de la source de la figure 6,
- la figure 8 représente schématiquement, en coupe transversale selon le plan médian de l'enceinte d'une source selon l'invention, une autre variante des moyens de concentration des lignes de forces magnétiques situés dans ce plan, et
- la figure 9 est un schéma montrant la circulation des lignes de forces magnétiques créées à l'intérieur de la source de la figure 8.

Sur la figure 1, on a représenté schématiquement en coupe longitudinale une source d'ions à résonance cyclotronique électronique selon l'invention.

Cette source comprend une enceinte à vide de confinement 2 constituant une cavité résonnante pouvant être excitée par un champ électromagnétique hyperfréquence, continu ou pulsé, présentant une fréquence comprise entre 1 et 100 GHz.

Cette enceinte présente un axe longitudinal 4 de symétrie, passant par le centre 6 de l'enceinte, qui dans le cas d'une enceinte cylindrique représente l'axe de révolution ; elle comprend en outre deux extrémités 8 et 10 situées dans le prolongement l'une de l'autre et orientées selon l'axe 6.

L'onde électromagnétique, produite par une source 12 tel qu'un Klystron est introduite dans la cavité résonnante 2, à l'extrémité 10 de l'enceinte, au moyen d'un guide d'onde 14 de section circulaire ou rectangulaire.

Une conduite 16, équipée d'une vanne 18 permet d'introduire un gaz ou une vapeur d'un matériau, à l'intérieur de la cavité 2, destiné à former un plasma dans ladite cavité. Ce plasma peut être un plasma d'hydrogène, de néon, de xénon, d'oxygène, de carbone, d'azote, de tungstène, de titane, de molybdène, de zirconium, etc., à une pression de l'ordre de 10^{-5} mbar pour une onde électromagnétique de 10 GHz.

Des moyens non représentés tels qu'une pompe à vide peuvent être montés sur la cavité 2.

Deux bobines 20 et 22 situées respectivement au voisinage des extrémités 8 et 10 de l'enceinte permettent de créer principalement un champ magnétique de symétrie axiale.

Selon l'invention, ces deux bobines 20 et 22 sont parcourues, de façon continue ou pulsée, par des courants de sens de circulation opposés. Elles engendrent une structure magnétique dans laquelle le champ magnétique présente la forme d'une bouteille magnétique cuspée (appelée en terminologie anglo-saxonne cusp) dont on a représenté les lignes de forces magnétiques 24 sur la figure 2.

Le champ magnétique créé par ces bobines 20 et 22 présente une symétrie de révolution selon l'axe 4

de l'enceinte et une symétrie par rapport au centre 6 de cette enceinte. Il est de plus nul au centre 6, par raison de symétrie ; maximal et axial dans les zones 25 de l'enceinte situées à l'intérieur de chaque bobine ; maximal et radial dans la zone 27 située entre les deux bobines et une certaine distance de l'axe 4, et maximal mais deux composantes (axiale et radiale) dans les zones 29 de l'enceinte près des spires des bobines.

Le champ magnétique définit notamment un pôle nord axial à chaque extrémité 8 et 10 de l'enceinte.

En conclusion, les deux bobines alimentées en opposition engendrent une structure magnétique dans laquelle l'amplitude du champ magnétique croît dans toutes les directions de l'espace à partir du centre de la cavité jusqu'à atteindre un maximum près des bobines, en passant par des valeurs pouvant satisfaire la condition de résonance cyclotronique électronique.

L'une des surfaces fermées équimagnétiques satisfaisant à cette condition est représentée sur la figure 1 et porte la référence 28.

La condition de résonance est notamment satisfaite pour une amplitude B_r de 3600 Gauss et une fréquence du champ électromagnétique de 10 GHz.

L'existence d'une telle surface ou nappe résonnante 28 permet d'ioniser fortement le gaz ou les vapeurs contenus dans l'enceinte 2, donnant ainsi naissance à un plasma d'électrons trés énergétiques. Cette surface 28 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 fortement et même totalement.

Les ions fortement chargés formés peuvent être extraits de l'enceinte 2 par un orifice d'extraction 30 se trouvant du côté de l'extrémité 8 de l'enceinte. Cet orifice est situé sur l'axe longitudinal 4 et dans le prolongement du guide d'onde 14 servant à l'injection de la haute fréquence. Une électrode 32, placée en aval de l'orifice d'extraction 30 et portée à un potentiel négatif à l'aide d'une source d'alimentation 34, assure l'extraction des ions.

Les ions issus de l'enceinte peuvent alors être sélectionnés suivant leur degré d'ionisation à l'aide de tous moyens connus utilisant un champ magnétique et/ou un champ électrique.

Afin d'obtenir un optimum du champ axial et un optimum du champ radial, créés par les bobines alimentées en opposition, un système de concentration des lignes de forces magnétiques, entourant l'enceinte 2, est prévu dans le plan médian III-III de l'enceinte 2, passant par le centre 6 de l'enceinte et perpendiculaire à l'axe longitudinal 4 de l'enceinte.

Ces moyens, comme représenté sur les figures 1 et 3, peuvent être constitués d'un blindage magnétique 36 en fer doux, ayant la forme d'une bande continue annulaire. Cet anneau de fer 36 est disposé dans le plan médian III-III de l'enceinte et autour de celle-ci, et le plus près possible de celle-ci.

Les bobines 20 et 22 sont disposées de part et d'autre de cet anneau 36 et à égale distance de cet anneau.

La réluctance du fer constituant l'anneau 36 crée alors, comme représenté sur la figure 4, une concentration des lignes de forces magnétiques 38 dans le plan médian III-III et dans une direction radiale permettant ainsi une répartition homogène des surfaces équimagnétiques 40 dans l'enceinte 2.

Cet anneau en fer doux 36 constitue une structure magnétique unipolaire sud par exemple.

Pour obtenir une source d'ions la plus compacte possible, le blindage en forme d'anneau 36 peut être remplacé par un blindage 42 en fer doux tel que représenté sur la figure 5.

Ce blindage 42 présente en coupe longitudinale la forme d'un E tourné vers l'ax longitudinal 4 de l'enceinte 2. La jambe centrale 44 du E est située dans le plan médian III-III de l'enceinte et joue le même rôle que l'anneau 36 en fer doux. Cette jambe centrale 44 présente une largeur L qui est double de la largeur l des autres jambes respectivement 46 et 48 du E.

Le fait que la jambe centrale 44 du E a une largeur double de celle des jambes 46 et 48 permet d'éviter la saturation magnétique de cette jambe 44. En effet, le flux magnétique traversant cette jambe est double compte tenu de l'alimentation en opposition des bobines 20 et 22.

Une variante, représentée sur la figure 6, consiste à remplacer le blindage en fer doux 36 ou 42 par des aimants permanents 50 de préférence en samarium-cobalt ($SmCo_5$) répartis de façon uniforme autour de l'enceinte 2 et disposés dans le plan médian III-III de l'enceinte. Ces aimants 50 sont accolés par leurs extrémités 52, orientées vers l'axe longitudinal 4 de l'enceinte ; ces extrémités 52 sont situées à une égale distance de l'axe 4, le plus près possible de l'enceinte.

Afin de former une structure unipolaire, les extrémités 52 des aimants permanents 50 présentent toutes la même polarité, sud par exemple. Cette structure unipolaire permet le renforcement du champ radial au niveau du plan médian III-III de l'enceinte 2 comme le montre la figure 7. Sur cette figure, les lignes de forces magnétiques engendrées par les aimants 50 portent la référence 54.

Dans une autre variante représentée sur la figure 8, il est possible de disposer dans le plan médian III-III de l'enceinte 2 un blindage magnétique en forme d'anneau 36 et une couronne d'aimants 50, tels que décrits précédemment, disposés concentriquement, la couronne d'aimants 50 étant située entre l'enceinte 2 et l'anneau 36.

Il est aussi possible de remplacer dans ce cas particulier, l'anneau 36 par le blindage 42 en forme de E, selon un plan longitudinal passant par l'axe central 4 de la cavité.

Sur la figure 9, on a représenté les lignes de forces magnétiques 56 engendrées par l'ensemble aimants-anneau. Ces lignes de forces magnétiques ne se différencient en rien de celles créées par l'anneau 36 seul.

Dans la source selon l'invention, le plasma d'électrons chauds ou énergétiques et d'ions multichargés est confiné dans la structure magnétique. Les fuites de plasma énergétique suivent les lignes de forces magnétiques et s'échappent préférentiellement là où le champ magnétique est faible (ce qui

correspond à un travail minimum). Etant donné que le champ magnétique présente un minimum sur l'axe longitudinal 4 de l'enceinte (il est maximum près du cuivre des bobines) (voir figures 4, 7 et 9) la densité du plasma de fuites est donc maximale sur cet axe où se trouve l'extraction des ions.

En conséquence, la source de l'invention permet l'extraction, selon l'axe longitudinal de l'enceinte, d'ions multichargés avec un maximum de densité contrairement aux structures de l'art antérieur utilisant une structure multipolaire pour former le champ radial.

La description donnée précédemment n'a bien entendu été donnée qu'à titre illustratif, toute modification, sans pour autant sortir du cadre de l'invention, peut être envisagée.

En particulier, l'enceinte peut présenter une autre forme qu'une forme cylindrique, et par exemple une forme parallélépipédique ou polygonale.

De même, d'autres moyens pour concentrer les lignes de forces magnétiques dans le plan médian de l'enceinte, en renforçant localement les champs magnétiques radiaux dans ce plan, peuvent être utilisés.

La source d'ions selon l'invention est relativement compacte. Elle permet d'obtenir des faisceaux d'ions de forte densité ou intensité et en particulier des faisceaux d'ions plusieurs fois chargés de matériaux lourds jusqu'à l'uranium.

Revendications

1. Source d'ions à résonance cyclotronique électronique comportant :
- une enceinte fermée (2) ayant un axe de symétrie longitudinal (4), une première et une seconde extrémités (8, 10) orientées selon cet axe, cette enceinte (2) contenant un gaz destiné à former par résonance cyclotronique électronique un plasma confiné dans ladite enceinte,
- un dispositif (12, 14) pour injecter à la première extrémité (8) de l'enceinte un champ électromagnétique de haute fréquence,
- une structure magnétique, disposée autour de l'enceinte (2) et présentant un axe de symétrie confondu avec celui de l'enceinte, engendrant des champs magnétiques locaux, axiaux et radiaux, définissant au moins une nappe équimagnétique (28) sur laquelle la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite, et
- un système (30, 32) pour extraire de l'enceinte les ions formés, situé à la seconde extrémité de l'enceinte,
caractérisée en ce que la structure magnétique comprend :
- une première et une seconde bobines (20, 22) disposées de part et d'autre et à égale distance d'un plan médian (III-III), perpendiculaire à l'axe longitudinal (4) de l'enceinte et passant par le centre (6) de la cavité, ces deux bobines (20, 22) étant parcourues par des courants de sens de circulation opposés, et
- des moyens (36, 42, 50) de concentration des lignes de forces magnétiques (38), entourant l'enceinte dans le plan médian (III-III) et renforçant localement les champs magnétiques radiaux dans ce plan, au niveau de l'enceinte.

2. Source d'ions selon la revendication 1, caractérisée en ce que les moyens de concentration comprennent un blindage magnétique ayant la forme d'un anneau (36) entourant l'enceinte (2) et disposé dans le plan médian (III-III).

3. Source d'ions selon la revendication 1, caractérisée en ce que les moyens de concentration comprennent un blindage magnétique (42) enfermant les deux bobines (20, 22) et présentant en coupe, selon un plan (figure 5) contenant l'axe longitudinal (4), la forme d'un E tourné vers cet axe longitudinal, la jambe centrale (44) du E, située dans le plan médian (III-III), présentant une largeur (L) double de celle (ℓ) des autres jambes (46, 48) du E.

4. Source d'ions selon la revendication 2 ou 3, caractérisée en ce que le blindage (36, 42) est en fer doux.

5. Source d'ions selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les moyens de concentration comprennent plusieurs aimants (50) permanents identiques, disposés autour de l'enceinte (2) et dans le plan médian (III-III), les pôles de ces aimants orientés vers l'axe longitudinal (4) étant accolés et situés à une même distance de l'axe longitudinal (4) le plus près possible de l'enceinte et présentant la même polarité (S).

6. Source d'ions selon la revendication 5, caractérisée en ce que les aimants permanents (50) sont en $SmCo_5$.

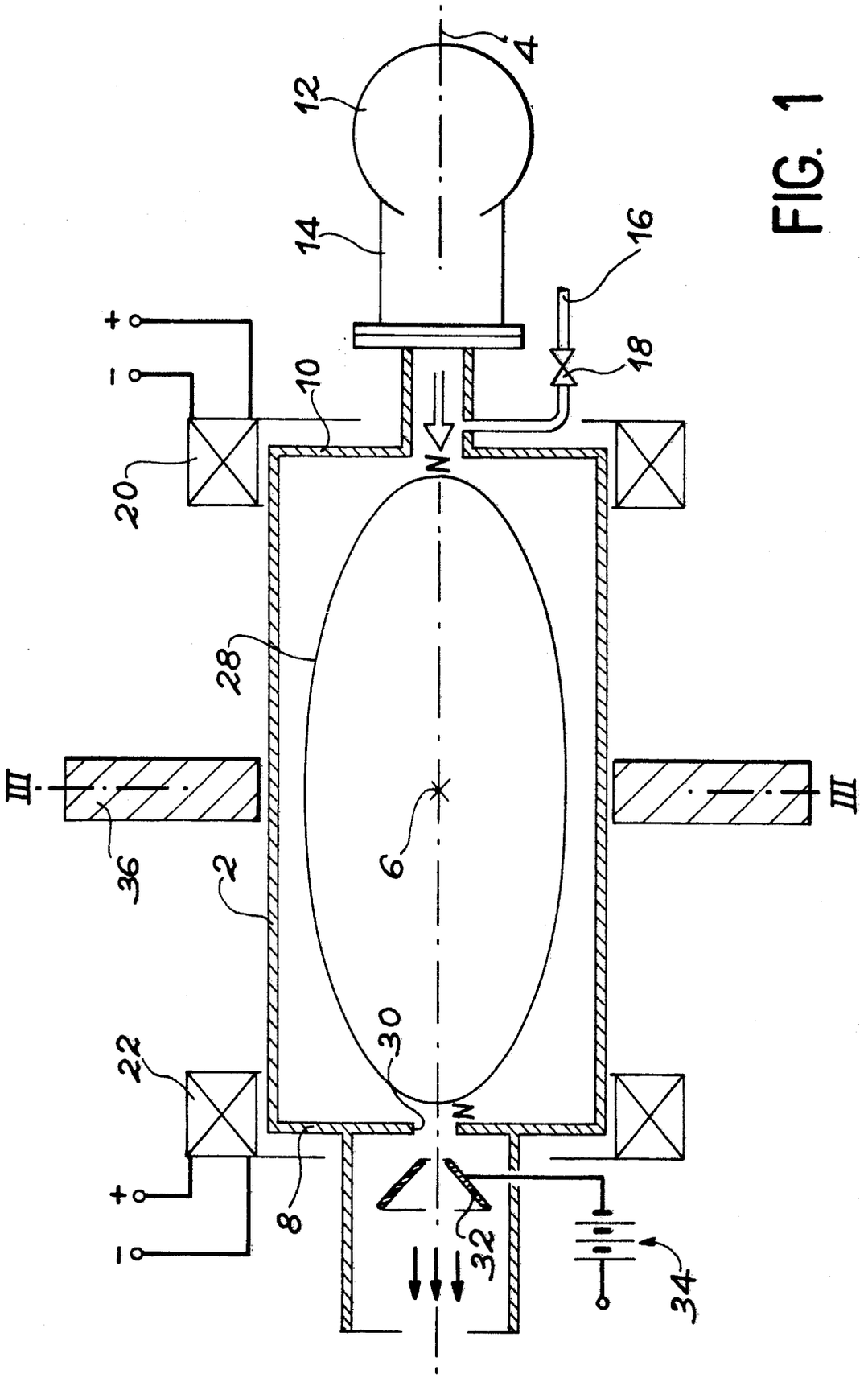


FIG. 1

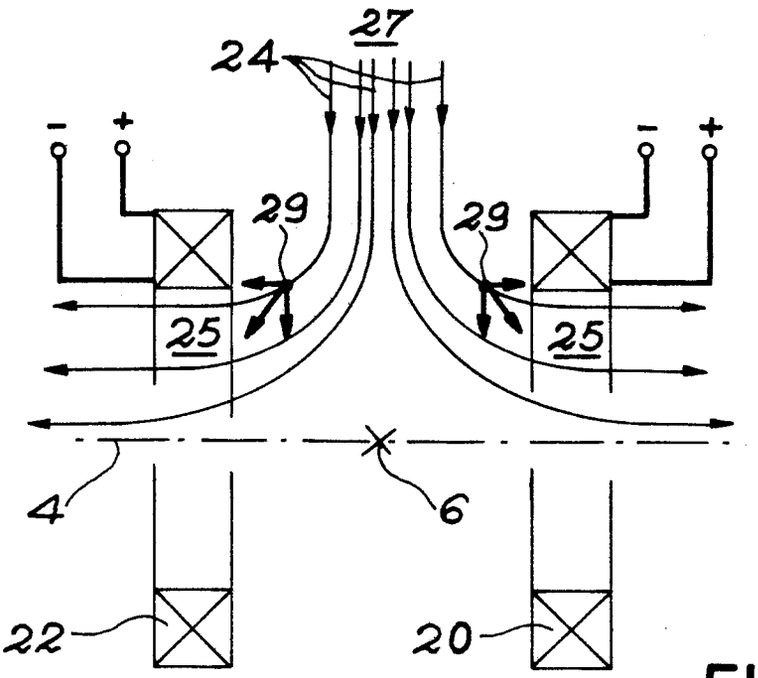


FIG. 2

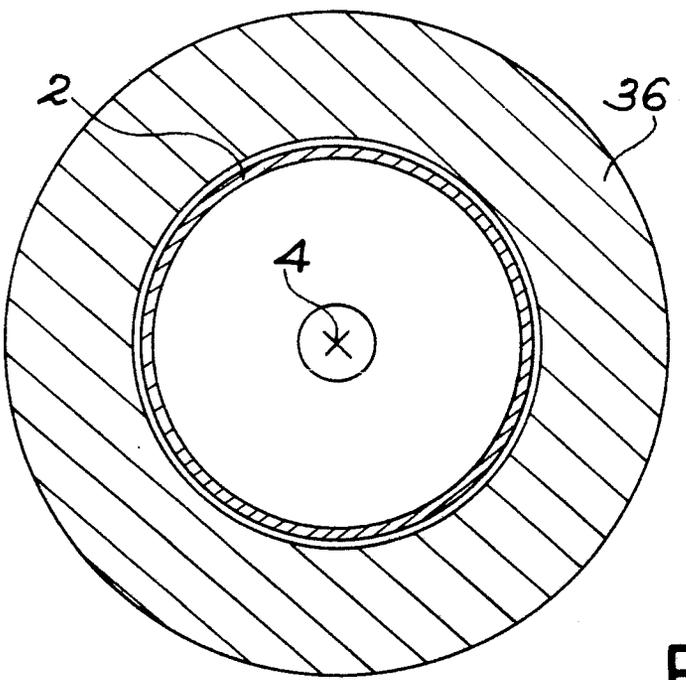


FIG. 3

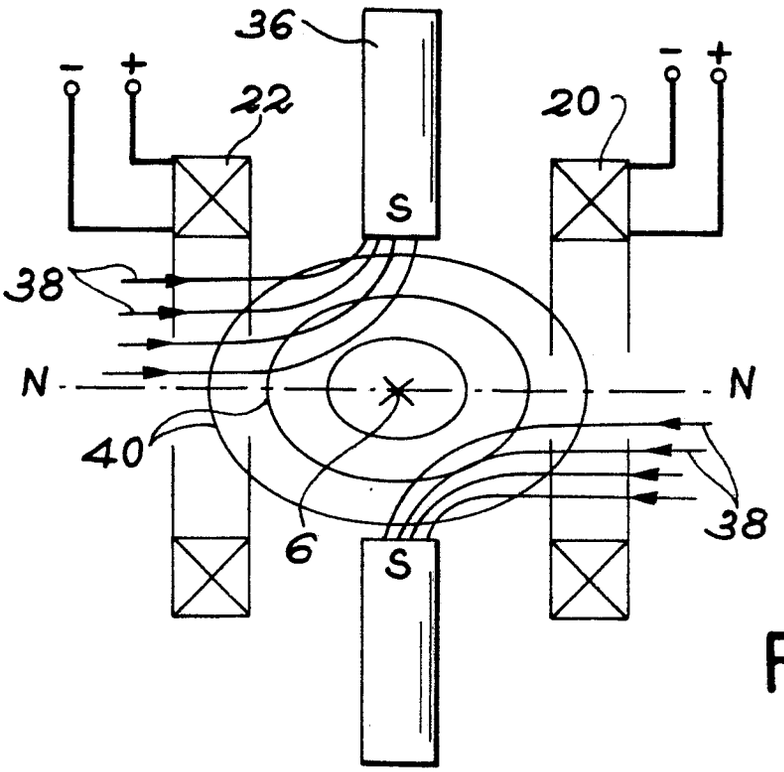


FIG. 4

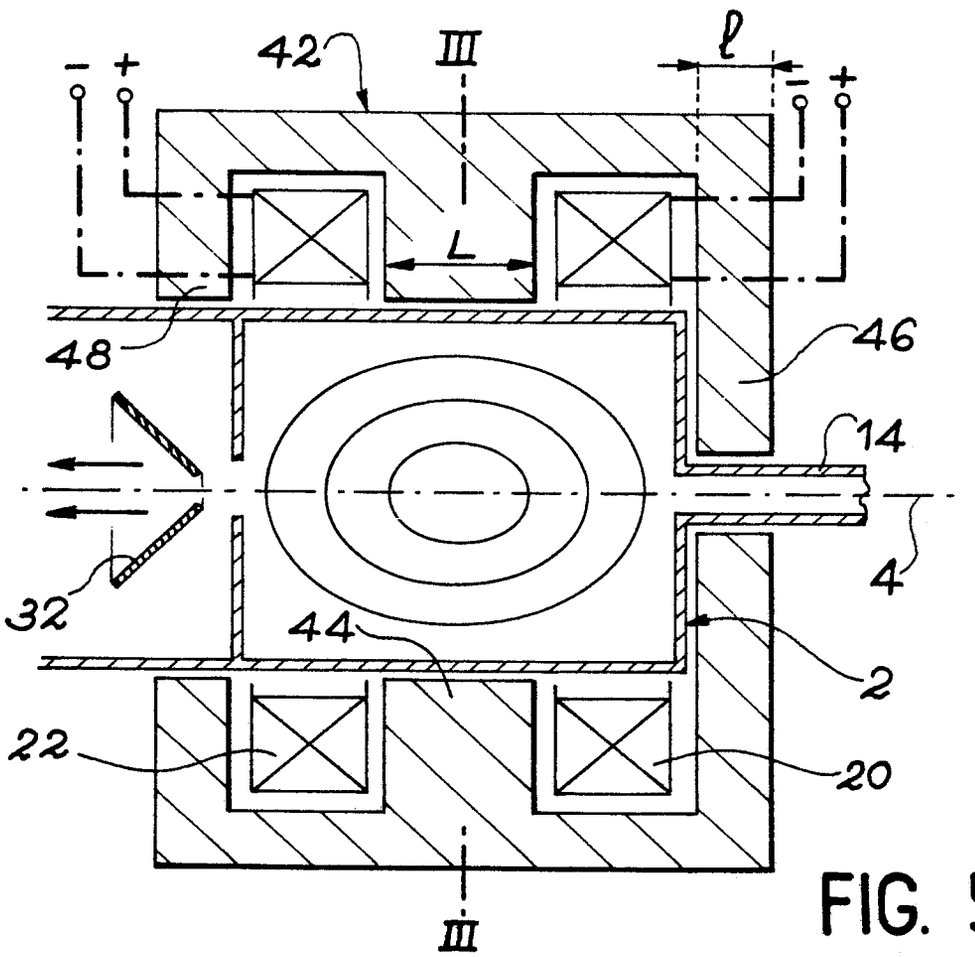


FIG. 5

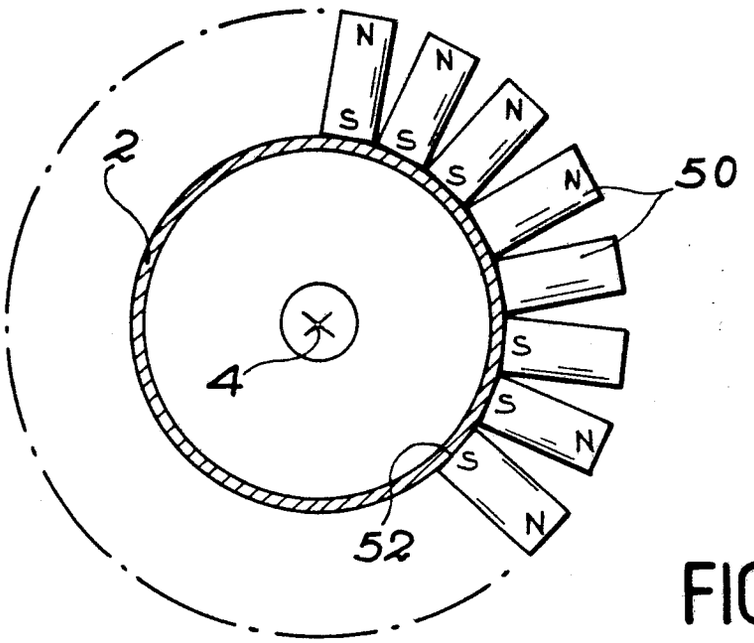


FIG. 6

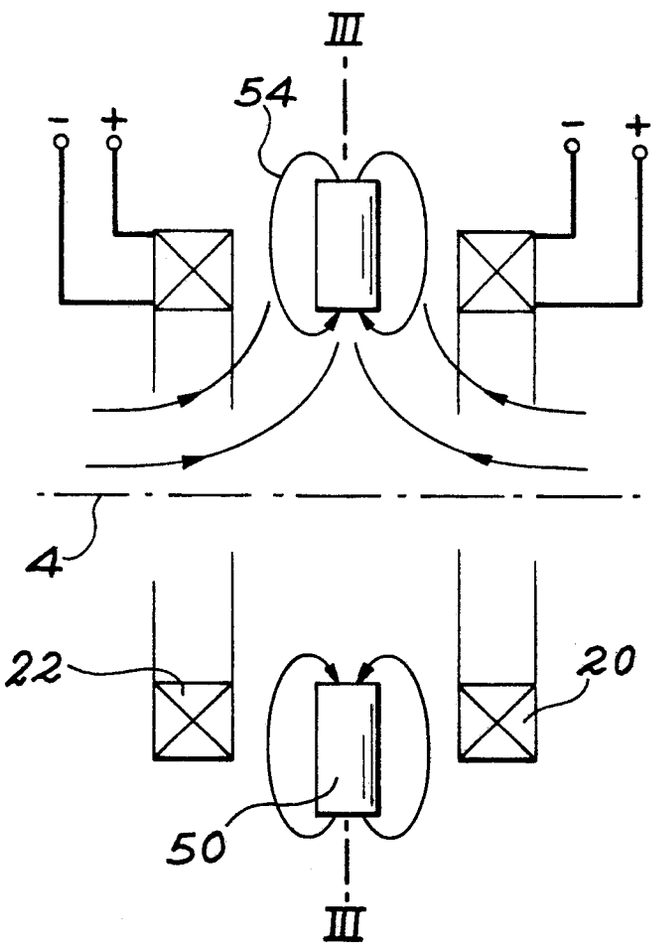


FIG. 7

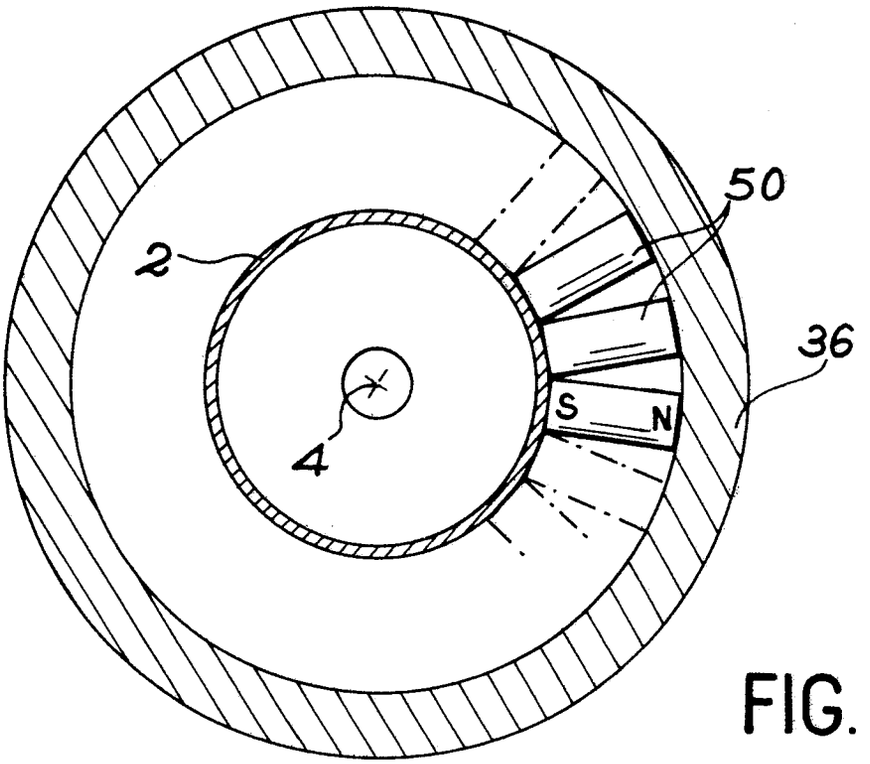


FIG. 8

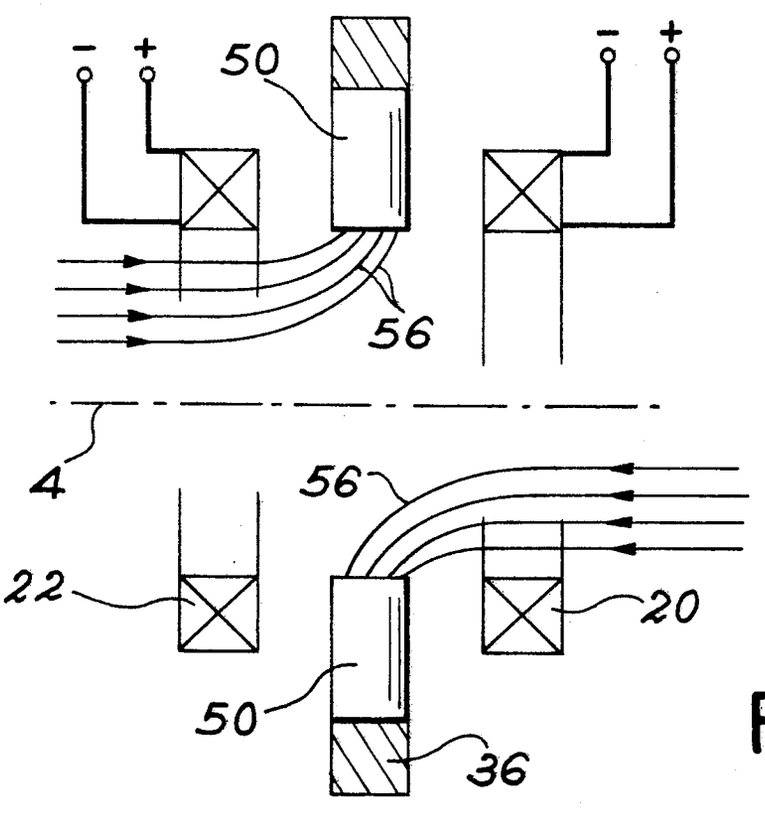


FIG. 9

Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 87 40 1608

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-0 145 586 (C.E.A.) * Abrégé; figures 1,2 * & FR-A-2 556 498 (Cat. D,A)	1,5,6	H 01 J 27/18
A	FR-A-2 551 302 (C.E.A.) * Revendications 1-3; figures 1-3 *	1-6	
A	US-A-2 946 919 (A. LERBS) * Figure 5 * & FR-A-1 158 958	1	
A	US-A-4 529 571 (F.M. BACON et al.) * Figure 2 *	1	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)

H 01 J
H 05 H

Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
LA HAYE	13-10-1987	GALANTI M.

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

OEB Form 1503 03.82