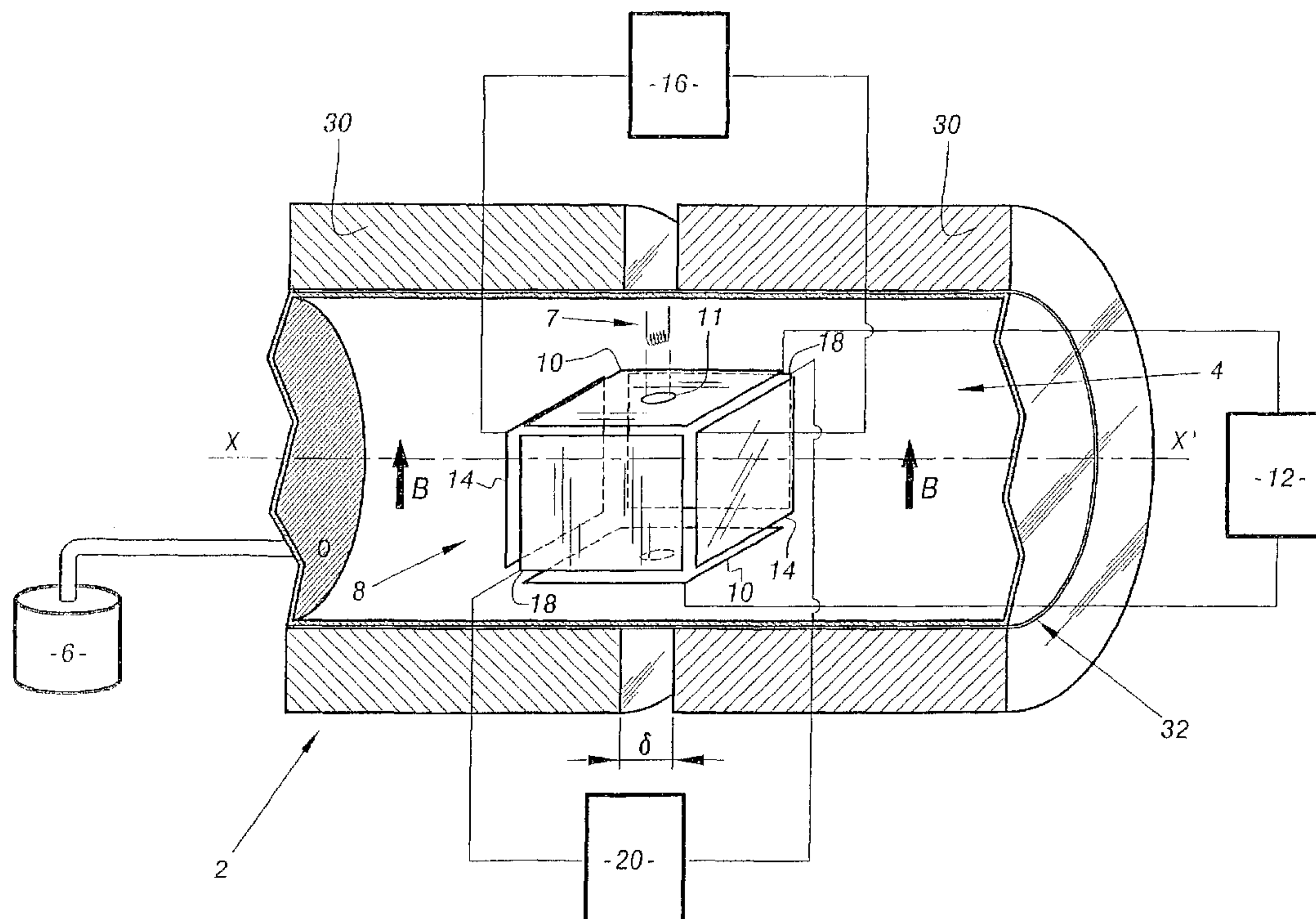




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/01/07  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2003/08/21  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2004/08/06  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/000024  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2003/069651  
 (30) Priorité/Priority: 2002/02/14 (02/01867) FR

(51) Cl.Int.<sup>7</sup>/Int.Cl.<sup>7</sup> H01J 49/38  
 (71) Demandeur/Applicant:  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.), FR  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
BELLEC, GERARD, FR;  
BOISSEL, PIERRE, FR;  
HENINGER, MICHEL, FR;  
LEMAIRE, JOEL, FR;  
MAUCLAIRE, GERARD, FR  
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PIEGE A IONS A AIMANT PERMANENT ET SPECTROMETRE DE MASSE UTILISANT UN TEL AIMANT  
 (54) Title: PERMANENT MAGNET ION TRAP AND MASS SPECTROMETER USING SUCH A MAGNET



(57) Abrégé/Abstract:

Ce piège à ions sous vide comportant une enceinte de traitement étanche (4) et un aimant permanent (30) délimitant une cavité (32) et créant un champ magnétique orienté (B) dans ladite cavité (32), ladite enceinte (4) étant disposée dans ladite cavité (32) et renfermant une cellule de confinement (8) comprenant au moins deux électrodes de piégeage (10) parallèles entre elles et perpendiculaires audit champ magnétique orienté (B), lesdites électrodes de piégeage (10) étant connectables à un générateur de tension (12). Il est caractérisé en ce qu'il comporte au moins un aimant (30) permanent en forme de cylindre creux, structuré selon une structure de type cylindre de Halbach, afin de générer ledit champ magnétique permanent (B) orienté perpendiculairement à l'axe longitudinal (XX') de la cavité dudit aimant (30). Application notamment à la spectrométrie de masse par transformée de Fourier (FTICR).

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
21 août 2003 (21.08.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/069651 A1(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H01J 49/38

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR03/00024

(22) Date de dépôt international : 7 janvier 2003 (07.01.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

02/01867 14 février 2002 (14.02.2002) FR

(71) Dépositant (pour tous les États désignés sauf US) :  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) [FR/FR]; 3, rue Michel Ange,  
F-75016 Paris (FR).

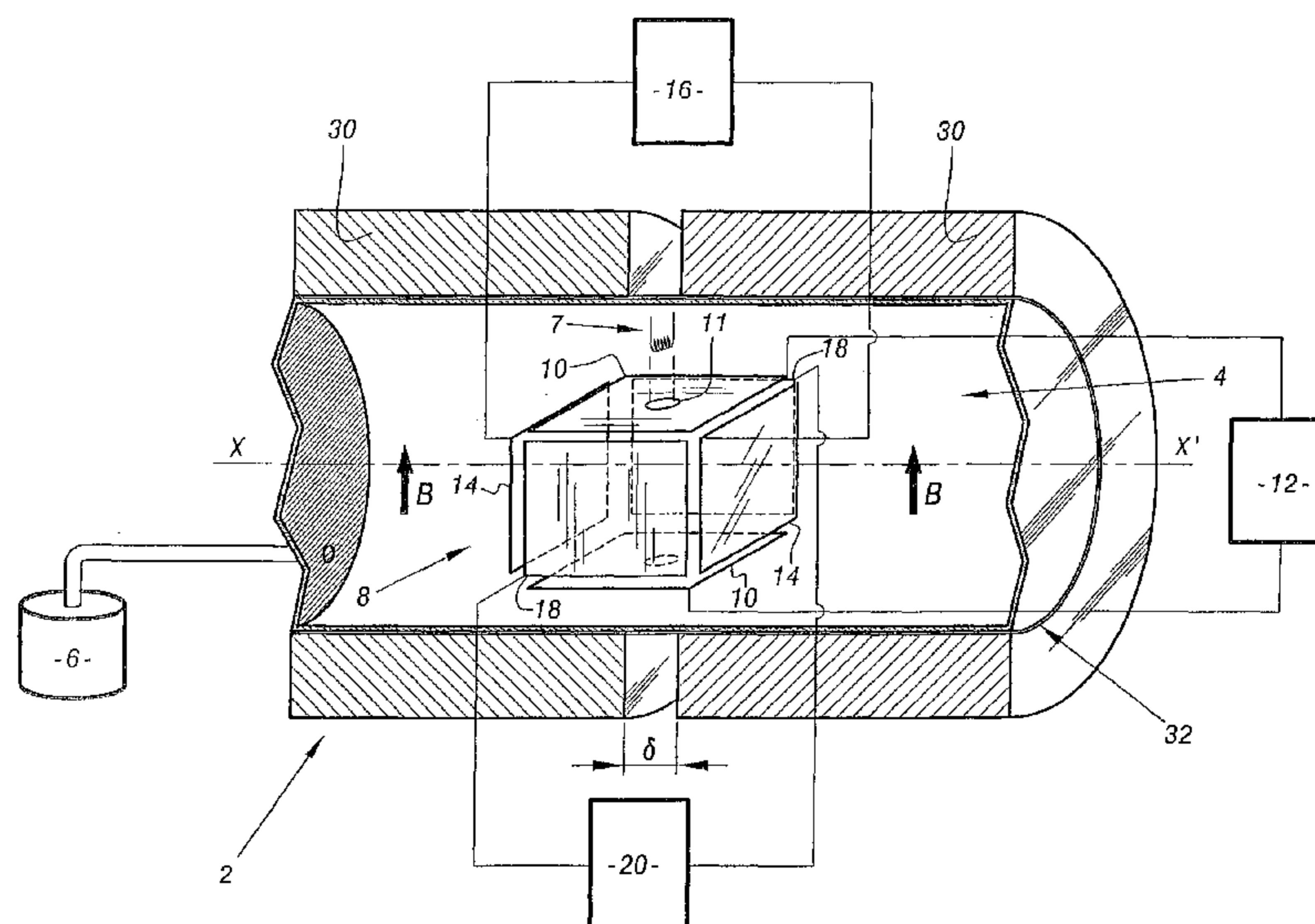
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BELLEC,  
Gérard [FR/FR]; 37, rue Rémond, F-78000 Versailles (FR).  
BOISSEL, Pierre [FR/FR]; 33, rue des Vignes, F-91640  
Fontenay les Briis (FR). HENINGER, Michel [FR/FR];  
15, avenue du Château, F-91450 Etolles (FR). LEMAIRE,  
Joël [FR/FR]; 49, rue de Chatenay, Bât. D1, F-92160  
Antony (FR). MAUCLAIRE, Gérard [FR/FR]; 35, rue  
Molière, F-91470 Limours (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PERMANENT MAGNET ION TRAP AND MASS SPECTROMETER USING SUCH A MAGNET

(54) Titre : PIEGE A IONS A AIMANT PERMANENT ET SPECTROMETRE DE MASSE UTILISANT UN TEL AIMANT



(57) Abstract: Disclosed is a vacuum ion trap comprising a sealed processing space (4) and a permanent magnet (30) which defines a cavity (32) and creates a directed magnetic field (B) in said cavity (32). The sealed space (4) is arranged in the cavity (32) and houses a confinement cell comprising at least two trapping electrodes which are located parallel to each other and perpendicular to the directed magnetic field (B) and are connected to a voltage generator (12). The inventive ion trap comprises at least one permanent magnet (30) which is shaped as a hollow cylinder and structured like a Halbach cylinder so as to create a permanent magnetic field (B) that lies perpendicular to the longitudinal axis (XX') of the cavity of said magnet (30). The invention applies particularly to Fourier-transform ion cyclotron resonance (FTICR) mass spectrometry.

(57) Abrégé : Ce piège à ions sous vide comportant une enceinte de traitement étanche (4) et un aimant permanent (30) délimitant une cavité (32) et créant un champ magnétique orienté (B) dans ladite cavité (32), ladite enceinte (4) étant disposée dans ladite cavité (32) et renfermant une cellule de confinement (8) comprenant au moins deux électrodes

[Suite sur la page suivante]



(74) **Mandataires** : DOMENEGO, Bertrand etc.; Cabinet Lavoix, 2, Place d'Estienne d'Orves, F-75441 Paris Cedex 09 (FR).

(81) **États désignés (national)** : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés (régional)** : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet

eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avec revendications modifiées et déclaration

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

de piégeage (10) parallèles entre elles et perpendiculaires audit champ magnétique orienté (B), lesdites électrodes de piégeage (10) étant connectables à un générateur de tension (12). Il est caractérisé en ce qu'il comporte au moins un aimant (30) permanent en forme de cylindre creux, structuré selon une structure de type cylindre de Halbach, afin de générer ledit champ magnétique permanent (B) orienté perpendiculairement à l'axe longitudinal (XX') de la cavité dudit aimant (30). Application notamment à la spectrométrie de masse par transformée de Fourier (FTICR).

**Piège à ions à aimant permanent et spectromètre  
de masse utilisant un tel aimant.**

La présente invention concerne un piège à ions magnétique et un spectromètre de masse utilisant un tel piège.

Les pièges à ions sont utilisés dans de nombreuses applications de la physique moléculaire et notamment dans les phénomènes de résonance cyclotronique ioniques mis en œuvre, par exemple, dans les spectromètres de masse à transformée de Fourier ou FTICR.

Ces pièges à ions magnétiques permettent de maintenir des ions captifs dans un volume délimité afin d'effectuer différentes mesures telles que la détection de mouvements cyclotroniques.

De manière classique, les pièges à ions magnétiques mettent en œuvre des moyens de génération d'un champ magnétique homogène de forte intensité comprenant des solénoïdes résistifs ou supraconducteurs.

Ces moyens de génération permettent en effet d'obtenir des champs magnétiques de forte intensité pouvant atteindre jusqu'à 9,4 tesla et présentant une grande stabilité temporelle.

Cependant, ces composants sont d'un encombrement très important et peuvent atteindre des poids de plusieurs tonnes. En outre ils nécessitent des installations complexes d'alimentation et de refroidissement et sont donc réservés à des installations fixes.

Afin de permettre le développement de dispositifs mobiles, certains pièges à ions magnétiques mettent en œuvre des aimants permanents (Zeller L.C, Kennady J.M, Campana J.E., Kenttamaa H.I, Anal. Chem. 1993, 65, 2116-2118, brevet US-A-5 451 781 DIETRICH).

Cependant, ces aimants permanents génèrent des champs limités généralement à environ 0,4 tesla et/ou sur des volumes trop faibles.

Les qualités d'un piège à ions sont liées à l'homogénéité et l'intensité du champ magnétique auquel il est soumis. En effet, certaines performances de piège varient en fonction du carré de l'intensité du champ magnétique et une valeur minimum de l'ordre de 1 tesla est recommandée pour une application performante à la spectrométrie de masse de type FTICR.

Le spectromètre de masse « Advance Quantra de Siemens », utilise un aimant permanent générant un champ magnétique de l'ordre du tesla mais requiert pour cela une géométrie fermée très contraignante.

Le but de la présente invention est de remédier à ce problème en définissant un piège à ions magnétique, d'encombrement et de poids réduits, tout en préservant de bonnes performances et une géométrie pratique.

A cet effet, l'invention a pour objet un piège à ions sous vide comportant une enceinte de traitement étanche et un aimant permanent délimitant une cavité et créant un champ magnétique orienté dans ladite cavité, ladite enceinte étant disposée dans ladite cavité et renfermant une cellule de confinement comprenant au moins deux électrodes de piégeage parallèles entre elles et perpendiculaires audit champ magnétique orienté, lesdites électrodes de piégeage étant connectables à un générateur de tension, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un aimant permanent en forme de cylindre creux, structuré selon une structure de type cylindre de Halbach, afin de générer ledit champ magnétique permanent orienté perpendiculairement à l'axe longitudinal de la cavité dudit aimant.

Suivant d'autres caractéristiques :

- les dimensions et la composition du ou de chaque aimant sont adaptées pour engendrer un champ magnétique permanent homogène d'une intensité au moins de 0,8 tesla ;

- le piège à ions comporte deux aimants permanents en forme de cylindres creux, tous deux structurés selon des structures de type cylindre de Halbach, de dimensions et de composition identique, disposés coaxialement suivant un même axe longitudinal et orientés de manière à faire coïncider l'orientation des champs magnétiques qu'ils génèrent ;

- les deux aimants permanents sont espacés entre eux, selon leur axe longitudinal, par un intervalle prédéterminé non nul afin d'accroître l'homogénéité dudit champ magnétique ;

- ledit intervalle est inférieur à 1 mm ;

- le ou chaque aimant permanent présente un diamètre intérieur compris entre 45 et 55 mm, un diamètre extérieur compris entre 180 et 220 mm et une longueur comprise entre 90 et 110 mm ;

- le ou chaque aimant permanent (30) est composé de segments élémentaires en Nd-Fe-B ;
- ladite cellule de confinement comporte en outre deux électrodes de détection parallèles entre elles et perpendiculaires auxdites électrodes de piégeage, lesdites électrodes de mesure étant connectables à des moyens de mesure afin de transmettre des informations relatives aux mouvements des ions contenus dans ladite cellule de confinement ;
- ladite cellule de confinement comporte en outre deux électrodes d'excitation parallèles entre elles et perpendiculaires auxdites électrodes de piégeage, lesdites électrodes d'excitation étant connectables à un générateur de signaux d'excitation afin d'exciter les ions contenus dans ladite cellule de confinement ;
- lesdites électrodes de piégeage, d'excitation et de détection sont planes et de formes rectangulaires de sorte que ladite cellule de confinement présente une forme générale de parallélépipède rectangle ;
- lesdites électrodes d'excitation sont chacune constituées de quatre plaques, agencées selon la forme générale d'un parallélépipède rectangle ouvert par deux faces opposées, lesdites électrodes d'excitation étant disposées suivant un même axe, de part et d'autre desdites électrodes de piégeage, lesdites faces ouvertes se faisant face de sorte que ladite cellule de confinement présente une forme générale de tunnel ;
- ladite cellule de confinement en forme générale de tunnel est placée selon l'axe longitudinal dudit aimant ; et
- ladite enceinte de traitement comporte, à au moins une extrémité, un hublot disposé dans l'axe de la cellule en forme générale de tunnel, et permettant le passage de photons ;
- l'enceinte de traitement comporte des moyens de connexion à des moyens de pompage et d'injection de gaz afin de commander la densité et/ou la nature de l'atmosphère dans l'enceinte de traitement ; et
- il est associé à des moyens d'émission d'électrons vers ladite enceinte afin de générer des ions au moins dans ladite cellule de confinement.

L'invention a également pour objet un spectromètre de masse comportant un piège à ions magnétique, un dispositif de pompage, un générateur de tension de piégeage, et des moyens de mesure, propres à effectuer une analyse

par transformée de Fourier du mouvement cyclotron des ions contenus dans le piège à ions, caractérisé en ce que ledit piège à ions magnétique est un piège tel que décrit précédemment.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Fig.1 est un schéma de principe d'un spectromètre de masse équipé d'un piège à ions selon l'invention représenté selon une vue en coupe partielle;
- 10 - la Figs. 2 et 3 sont des coupes transversales des aimants permanents utilisés dans l'invention ;
- la Fig. 4 est un schéma de principe du mouvement d'un ion dans un champ magnétique uniforme ;
- la Fig. 5 est une représentation partielle en perspective d'électrodes de piégeage contenues dans un piège à ions selon l'invention ;
- 15 - les Figs. 6 et 7 sont des vues de dessus de la cellule de confinement du piège à ions de l'invention ; et
- la Fig.8 est une vue en coupe partielle d'un second mode de réalisation du piège à ions de l'invention.

20 Le spectromètre de masse à transformée de Fourier ou FTICR illustré sur la figure 1 est équipé d'un piège à ions magnétique 2 selon l'invention.

Ce piège à ions magnétique 2 comporte une enceinte de traitement étanche 4, de forme générale cylindrique d'axe longitudinal XX', reliée à un dispositif 6 de pompage.

25 Le dispositif de pompage 6 comprend, par exemple, un assemblage de pompes turbo moléculaires, de pompes à membranes et de canalisations d'injection et d'extraction de gaz afin de commander la densité et la nature de l'atmosphère à l'intérieur de l'enceinte 4.

30 En fonctionnement, le dispositif 6 assure la création, dans l'enceinte 4, d'une atmosphère ultravide dont la pression est de l'ordre de  $10^{-8}$  millibars.

Ce spectromètre de masse comporte, dans l'enceinte 4, un filament 7 de génération d'électrons, qui permet notamment d'émettre des électrons afin de créer des ions dans l'enceinte 4.

Une cellule de confinement 8 définissant un volume de traitement dans lequel le mouvement des ions peut être analysé est prévue dans l'enceinte 4.

La cellule 8 comporte deux électrodes de piégeage 10, de forme plane et carrée s'étendant parallèlement l'une à l'autre et parallèlement à l'axe longitudinal XX' de l'enceinte 4.

Chaque électrode 10 présente une ouverture 11 en son milieu et les électrodes 10 sont disposées de sorte que leurs ouvertures sont alignées avec l'axe d'émission d'électrons du filament 7.

Les électrodes 10 sont en outre reliées électriquement à un générateur 12 de tension continue de piégeage, pour être chargées électriquement à un potentiel prédéterminé.

La cellule 8 comporte également deux électrodes d'excitation 14, de forme plane et carrée s'étendant parallèlement l'une à l'autre, perpendiculairement aux électrodes 10 de piégeage et perpendiculairement à l'axe longitudinal XX' de l'enceinte 4.

Les électrodes d'excitation 14 sont reliées électriquement à un générateur de signaux d'excitation 16.

Enfin, la cellule 8 comporte deux électrodes de détection 18, de forme plane et carrée s'étendant parallèlement l'une à l'autre et perpendiculairement aux électrodes 10 de piégeage ainsi qu'aux électrodes 14 d'excitation.

Les électrodes 18 de mesure sont reliées à un dispositif de mesure 20 constitué, par exemple, d'un micro-ordinateur doté de cartes électroniques d'acquisition et de logiciels d'analyses appropriés.

Les électrodes de piégeage 10, d'excitation 14 et de mesure 18 sont disposées de sorte que la cellule 8 a la forme générale d'un cube ou plus généralement d'un parallélépipède rectangle.

Par exemple, les électrodes utilisées sont des plaques carrées de 20 mm de côté, réalisées à base d'un matériau ARCAP AP4 monté sur un support isolant en MACOR et reliées électriquement à l'aide de fils d'argent.

Le piège à ions 2 comporte en outre deux aimants permanents 30 identiques, de forme cylindrique et évidés de manière à présenter des cavités selon leurs axes longitudinaux. Ainsi chaque aimant a la forme d'un cylindre creux ou d'un tube.

Les aimants 30, décrits plus en détail en référence aux figures 2 et 3, sont des aimants permanents structurés selon une structure dite de type cylindre de Halbach. De tels aimants sont décrits notamment dans le document WO-A-00 62313.

5 Chaque aimant 30 génère du fait de sa structure, un champ magnétique B homogène et orienté transversalement à son axe longitudinal.

Les aimants 30 présentent des sections annulaires ainsi que cela est représenté sur les vues en coupe illustrées sur les figures 2 et 3.

10 Ils comportent une pluralité de segments élémentaires aimantés dans des directions différentes, répartis angulairement autour de l'axe et s'étendant généralement suivant une génératrice longitudinale de l'aimant 30.

Le cylindre de Halbach représente une structure symétrique par rapport à un plan de symétrie défini par l'axe longitudinal du cylindre et la direction de champ magnétique homogène B créé par ce cylindre.

15 Les segments élémentaires constituant le cylindre, se correspondent ainsi deux à deux symétriquement de part et d'autre de ce plan de symétrie et sont aimantés dans des directions symétriques par rapport à ce plan.

20 De plus, les segments élémentaires disposés d'un même côté du plan de symétrie, sont aimantés dans des directions variant progressivement sur une plage de  $360^\circ$  en fonction de la position angulaire du segment sur le demi-cylindre défini d'un même côté du plan de symétrie.

25 En d'autres termes, les segments sont disposés en anneau selon une séquence telle que les segments symétriques par rapport à l'axe longitudinal du cylindre, sont aimantés avec une même orientation. De plus la variation angulaire entre les orientations des aimantations de deux segments adjacents est constante.

Cette variation d'orientation des aimantations diffère d'un segment à l'autre d'un angle correspondant à  $360^\circ$  divisé par la moitié du nombre de segments.

30 Ainsi, comme cela est décrit en référence à la figure 2, l'aimant 30 comporte huit segments, de sorte que l'orientation de l'aimantation de chaque segment est décalée de  $90^\circ$  par rapport à celles des segments adjacents.

De même, en référence à la figure 3, les seize segments présentent des aimantations dont les orientations sont décalées les unes par rapport aux autres de 45°.

Chaque aimant 30 en forme de cylindre creux, génère, à l'intérieur de sa cavité et perpendiculairement à son axe longitudinal, un champ magnétique B homogène, permanent et de forte intensité.

Pour une longueur infinie, le champ magnétique théorique B ainsi obtenu dans chaque cylindre répond à la formule suivante :  $B = B_r \ln \frac{r_0}{r_1}$ . Dans cette formule,  $B_r$  est le champ magnétique rémanent dû aux matériaux utilisés,  $r_0$  est le diamètre extérieur des cylindres 30 et  $r_1$  le diamètre intérieur.

La longueur du cylindre intervient sur l'intensité réelle du champ ainsi que sur son homogénéité.

Par exemple, ces aimants 30 sont constitués de Nd-Fe-B, ou Néodyme Fer Bore, présentent un diamètre extérieur de 20 cm, intérieur de 5 cm et une longueur de 10 cm. Ils génèrent alors un chacun un champ magnétique permanent de 1 Tesla avec une homogénéité de l'ordre de 1 pour 100 dans un volume central de 1 cm<sup>3</sup> environ.

Dans le mode de réalisation décrit en référence à la figure 1, les deux aimants 30 sont disposés coaxialement et séparés axialement d'un intervalle  $\delta$ . De plus, ils sont disposés de sorte que leurs structures polaires sont orientées de manière identique afin de générer des champs magnétiques homogènes orientés dans la même direction.

Pour les dimensions choisies pour les aimants 30, l'intervalle  $\delta$  est typiquement inférieur à 1 mm, avantageusement compris entre 0,3 et 0,7 mm et préférentiellement égal à 0,5 mm.

Ainsi alignés, les aimants 30 forment en leur centre une cavité 32 et grâce à leurs structures et leur disposition, ils génèrent, dans l'ensemble de la cavité 32, un champ magnétique homogène de forte intensité.

Le champ magnétique créé par les aimants 30 dans la cellule 8 est au moins égal au champ de chaque aimant 30 de sorte que la cellule 8 est soumise à un champ au moins égal à 1 Tesla.

Il apparaît en outre qu'à partir des deux aimants 30 de 1 Tesla, la structure double prise en exemple permet d'obtenir dans la cellule de confine-

ment 8, un champ magnétique de 1,25 tesla, valeur équivalente à celle que fournirait un seul aimant de même matériau, longueur et section.

De plus, il apparaît que par ajustement de l'intervalle  $\delta$ , ladite structure double décrite en référence à la figure 1, permet d'obtenir une homogénéité accrue du champ magnétique selon l'axe longitudinal sur une zone beaucoup plus  
5 longue que celle obtenue au centre d'un aimant unique équivalent.

A cette fin, l'intervalle  $\delta$  est ajusté pour obtenir un champ magnétique d'homogénéité maximum dans la cellule 8. De même, les dimensions des aimants 30 sont ajustées à  $\pm 10\%$ .

10 En fonctionnement, l'enceinte 4 de traitement est disposée coaxialement à l'intérieur de la cavité 32 définie par les aimants 30, de sorte que l'axe XX' représente l'axe longitudinal de l'enceinte 4 et des aimants 30.

L'enceinte 4 est orientée de sorte que les électrodes de piégeage 10 sont perpendiculaires au champ magnétique B généré par les aimants 30.

15 Par la suite, des échantillons de gaz sont injectés dans l'enceinte 4 par le dispositif de pompage 6.

Le filament 7 émet alors des électrons qui pénètrent dans la cellule 8 au travers des ouvertures 11 des électrodes de piégeage 10. Ces électrons ionisent des molécules du gaz contenus à l'intérieur de l'enceinte 4 et notamment à  
20 l'intérieur de la cellule 8.

Les ions produits sont alors piégés dans la cellule de confinement 8 et peuvent être excités de manière à obtenir un spectre de masse par une analyse dite de Transformée de Fourier Rapide.

Il apparaît donc que le piège à ions 2 présente une cellule 8 d'un volume de 8 cm<sup>3</sup> et un champ magnétique de l'ordre de 1,25 tesla.  
25

Ainsi le piège à ions magnétique 2 est de taille réduite tout en permettant la création d'un champ magnétique homogène de forte intensité dans une cellule de taille suffisante pour conduire des expérimentations.

De plus, le dispositif 6 de pompage, les générateurs 12 et 16 et les  
30 moyens d'analyse 20 sont de taille réduite de sorte que le spectromètre de masse décrit en référence à la figure 1, constitue une installation d'un encombrement de l'ordre du mètre cube et d'un poids de l'ordre de la centaine de kilos.

De même, un tel spectromètre de masse ne requiert qu'une alimentation standard et peut éventuellement fonctionner sur batterie de sorte qu'il est facilement transportable.

En référence aux figures 4 à 7, on va maintenant décrire plus en détails le fonctionnement du spectromètre de masse décrit précédemment.

Le dispositif 6 crée dans l'enceinte 4 une atmosphère ultravide dans laquelle sont injectés, sous forme gazeuse, des échantillons à analyser. Ces injections sont, par exemple, mises en œuvre par une vanne pulsée fonctionnant avec des périodes d'ouverture de l'ordre de la dizaine de millisecondes.

Sous l'effet d'une excitation, le filament 7 génère des électrons émis en direction de l'enceinte 4 de traitement afin les molécules contenues dans celle-ci.

Ces électrons 40 traversent l'une des électrodes de piégeage 10 par les ouvertures 11 et pénètrent dans la cellule 8. Ils ionisent alors par collisions les molécules comprises dans la cellule 8 et entraînent l'apparition d'ions 40.

Ainsi que cela est représenté en référence à la figure 4, ces ions 40 sont soumis au champ magnétique B et décrivent des trajectoires de formes générales hélicoïdales.

En fonctionnement, les électrodes de piégeage 10 sont chargées à un potentiel constant V par le générateur de tension continue 12.

Du fait de la combinaison du champ magnétique B et de la répulsion générée par les électrodes de piégeage 10 chargées à des potentiels V, et ainsi que cela est représenté en référence à la figure 5, les ions 40 sont maintenus dans la cellule 8 entre les électrodes de piégeage 10. Les autres électrodes non représentées sur la figure 5 participent également à ce piégeage en générant un puit de potentiel entre les électrodes 10.

Par la suite et ainsi que cela est représenté en référence à la figure 6, le générateur 16 délivre aux électrodes d'excitation 14 des signaux d'excitation déphasés entre eux de  $180^\circ$ .

En fonction de la fréquence des signaux d'excitation appliqués aux électrodes 14, le mouvement circulaire des ions 40 maintenus dans la cellule 8 est modifié et notamment les rayons de leurs trajectoires varient.

Ainsi, en fonction de la fréquence des signaux d'excitation délivrés par le générateur 16 aux électrodes 14, les ions entrent en résonance et peuvent être

éjectés de la cellule 8 en élargissant leurs trajectoires ou peuvent être excités de façon cohérente, de manière à décrire des trajectoires stables de grands rayons.

On obtient ainsi dans la cellule 8 des ions animés d'un mouvement cyclotron de grande amplitude.

5 Il est alors possible, ainsi que cela est représenté en référence à la figure 7, d'effectuer diverses mesures sur ces ions.

En effet, lorsque les ions 40 sont en phase, leur mouvement cohérent induit un signal électrique dans les électrodes 18 de détection.

10 Ce signal électrique est introduit dans les moyens de mesure 20 qui l'amplifient grâce à un amplificateur 42 avant de le traiter dans des moyens de traitement 44. Ces derniers permettent par exemple d'échantillonner le signal induit avant de le numériser, puis d'effectuer une Transformée de Fourier Rapide afin d'obtenir un spectre en fréquence de la résonance cyclotronique.

15 Selon des lois de calibration classiques, ce spectre de fréquence permet une détermination précise de la masse des ions 40 contenus dans la cellule 8.

En référence à la figure 8, on va maintenant décrire un second mode de réalisation de l'invention.

20 Cette figure représente une vue en coupe partielle du piège à ions magnétique 2 selon l'axe XX'.

De même que précédemment, le piège à ions 2 comprend l'enceinte 4 intégrée dans la cavité 32 des aimants cylindriques structurés 30.

25 Ainsi que cela a été décrit en référence à la figure 1, la cellule de confinement 8 disposée à l'intérieur de l'enceinte de traitement 4, comporte deux électrodes de piégeage 10 planes et carrées, parallèles entre elles et s'étendant perpendiculairement au champ magnétique B.

Les deux électrodes de détection 18 sont disposées perpendiculairement aux électrodes 10 et parallèlement à l'axe longitudinal des aimants 30.

30 Dans ce mode de réalisation, les électrodes d'excitation 14 sont chacune constituées de quatre plaques carrées, reliées entre elles électriquement et définissant chacune une structure de cube ouvert par deux faces opposées.

Les ouvertures des deux cubes constituant les électrodes 14 sont orientées l'une vers l'autre selon l'axe longitudinal des aimants 30.

L'ensemble des électrodes définit ainsi à l'intérieur de l'enceinte 4, une cellule de confinement 50 en forme générale de tunnel orienté selon l'axe longitudinal XX' des aimants 30.

5 Une telle structure peut être définie comme une structure ouverte et présente de nombreux avantages de mise en œuvre notamment pour l'ionisation des molécules présentes dans l'enceinte 4 et pour la caractérisation des ions grâce à l'interaction avec des faisceaux de photons ou avec d'autres molécules.

10 Pour cela, l'enceinte 4 comporte des moyens de connexion à des moyens 51 d'injection de gaz et comporte à ses extrémités des hublots 52, de sorte qu'il est possible de projeter directement des gaz dans la cellule 50 ou de la faire traverser, au travers des hublots 52, par des photons émis, par exemple, par un faisceau laser.

15 Il apparaît donc que le piège à ions magnétique 2 de l'invention présente des dimensions faibles et un encombrement réduit tout en permettant un traitement de qualité d'une quantité importante d'échantillons.

Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, les aimants cylindriques structurés constitués de cylindres de Halbach sont intégrés à l'intérieur de l'enceinte de traitement.

20 De même, il est possible de réaliser un piège à ions selon l'invention à partir d'un unique aimant et avec d'autres formes d'électrodes telles que par exemple des électrodes cylindriques ou rectangulaires.

25 Par ailleurs, les générateurs de tension d'excitation, de tension de piégeage et les moyens de mesure peuvent être confondus en un seul dispositif, tel qu'un micro-ordinateur équipé de cartes électroniques d'entrée-sortie adaptées pour la génération de signaux d'excitation et de tensions de piégeage.

Enfin, il est également possible d'effectuer un traitement sur des ions positif ou négatif, en inversant les polarités des électrodes de piégeage.

## REVENDEICATIONS MODIFIEES

[Reçues par le Bureau international le 16 > Juin 2003 (16.06.03):  
revendications modifiées (5 pages )]

1. Piège à ions sous vide comportant une enceinte de traitement étanche (4) et un aimant permanent (30) délimitant une cavité (32) et créant un champ magnétique homogène et orienté (B) dans ladite cavité (32), ladite enceinte (4) étant disposée dans ladite cavité (32) et renfermant une cellule de confinement (8 ;50) comprenant au moins deux électrodes de piégeage (10) parallèles entre elles et perpendiculaires audit champ magnétique orienté (B), lesdites électrodes de piégeage (10) étant connectables à un générateur de tension (12), caractérisé en ce qu'il comporte au moins un aimant (30) permanent en forme de cylindre creux, structuré selon une structure de type cylindre de Halbach, afin de générer ledit champ magnétique permanent (B) homogène et orienté perpendiculairement à l'axe longitudinal (XX') de la cavité (32) dudit aimant (30).

2. Piège à ions selon la revendication 1, caractérisé en ce que les dimensions et la composition du ou de chaque aimant (30) sont adaptés pour engendrer un champ magnétique permanent homogène (B) d'une intensité au moins de 0,8 tesla.

3. Piège à ions selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comporte deux aimants permanents (30) en forme de cylindres creux, tous deux structurés selon des structures de type cylindre de Halbach, de dimensions et de composition identique, disposés coaxialement suivant un même axe longitudinal (XX') et orientés de manière à faire coïncider l'orientation des champs magnétiques (B) qu'ils génèrent.

4. Piège à ions selon la revendication 3, caractérisé en ce que, les deux aimants permanents (30) sont espacés entre eux, selon leur axe longitudinal (XX'), par un intervalle ( $\delta$ ) prédéterminé non nul afin d'accroître l'homogénéité dudit champ magnétique (B).

5. Piège à ions selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit intervalle ( $\delta$ ) est inférieur à 1 mm.

6. Piège à ions selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le ou chaque aimant permanent (30) présente un diamètre intérieur compris entre 45 et 55 mm, un diamètre extérieur compris entre 180 et 220 mm et une longueur comprise entre 90 et 110 mm.

7. Piège à ions selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le ou chaque aimant permanent (30) est composé de segments élémentaires en Nd-Fe-B.

5 8. Piège à ions selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite cellule de confinement (8 ;50) comporte en outre deux électrodes de détection (18) parallèles entre elles et perpendiculaires auxdites électrodes de piégeage (10), lesdites électrodes de mesure (18) étant connectables à des moyens de mesure (20) afin de transmettre des informations relatives aux mouvements des ions (40) contenus dans ladite cellule de confine-  
10 ment (8 ;50).

9. Pièges à ions selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite cellule de confinement (8 ;50) comporte en outre deux électrodes d'excitation (14) parallèles entre elles et perpendiculaires auxdites électrodes de piégeage (10), lesdites électrodes d'excitation (14) étant connectables à un générateur (16) de signaux d'excitation afin d'exciter des ions (40) contenus dans ladite cellule de confinement (8 ;50).  
15

10. Piège à ions selon les revendications 8 et 9, caractérisé en ce que lesdites électrodes de piégeage (10), d'excitation (14) et de détection (18) sont plane et de formes rectangulaires de sorte que ladite cellule de confinement (8)  
20 présente une forme générale de parallélépipède rectangle.

11. Piège à ions selon la revendication 8, caractérisé en ce que lesdites électrodes d'excitation (14) sont chacune constituées de quatre plaques, agencées selon la forme générale d'un parallélépipède rectangle ouvert par deux faces opposées, lesdites électrodes d'excitation (14) étant disposées suivant un  
25 même axe, de part et d'autre desdites électrodes de piégeage (10), lesdites faces ouvertes se faisant face de sorte que ladite cellule de confinement (50) présente une forme générale de tunnel.

12. Piège à ions selon la revendication 11, caractérisé en ce que ladite cellule de confinement (50) en forme générale de tunnel est placée selon l'axe  
30 longitudinal (XX') dudit aimant (30).

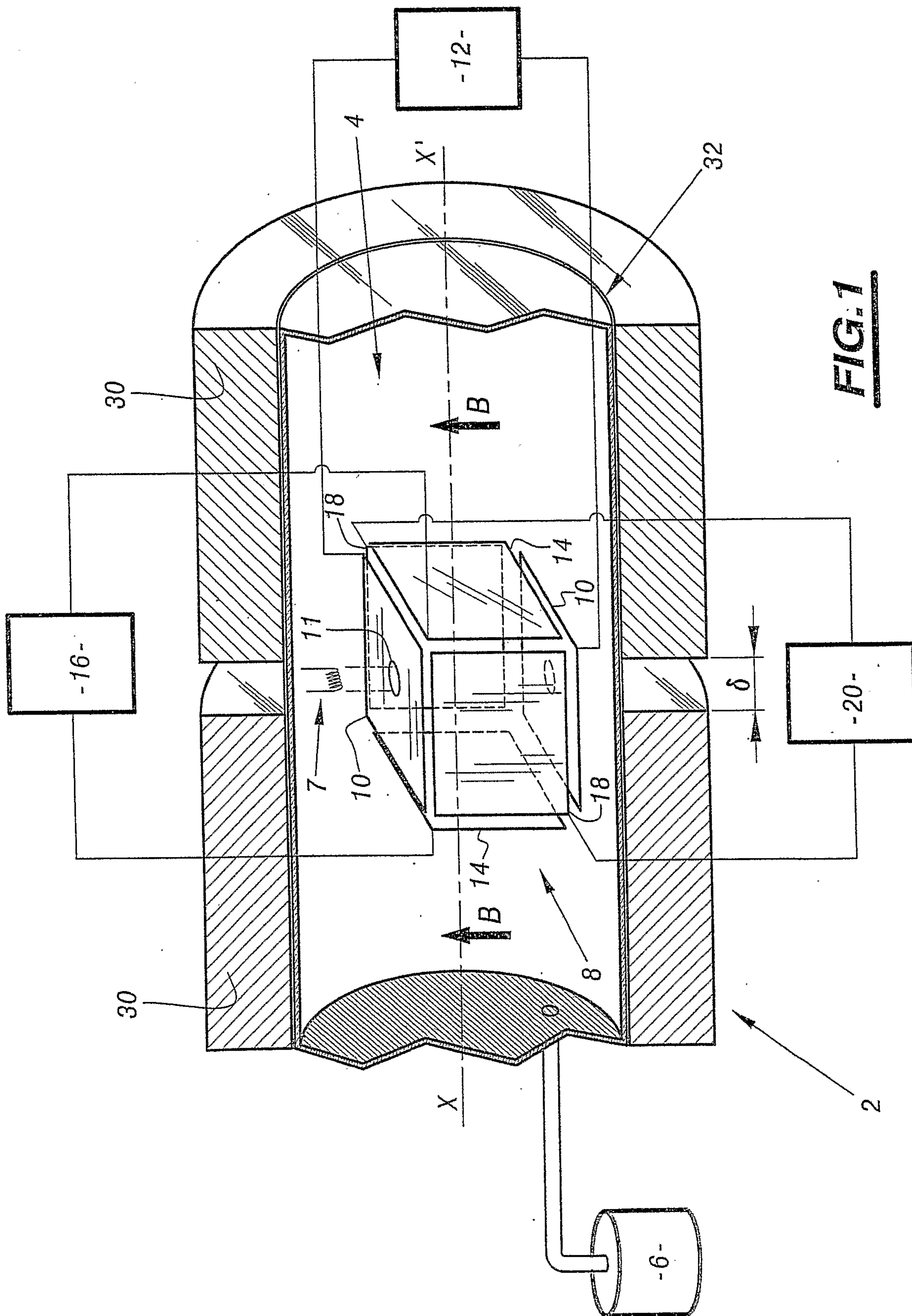
13. Piège à ions selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite enceinte de traitement (4) comporte, à au moins une extrémité, un hublot (52) disposé dans l'axe (XX') de la cellule (50) en forme générale de tunnel, et permettant le passage de photons.

14. Piège à ions selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'enceinte de traitement (4) comporte des moyens de connexion à des moyens de pompage (6) et d'injection (51) de gaz afin de commander la densité et/ou la nature de l'atmosphère dans l'enceinte de traitement  
5 (4).

15. Piège à ions selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est associé à des moyens (7) d'émission d'électrons vers ladite enceinte (4) afin de générer des ions (40) au moins dans ladite cellule de confinement (40).

10 16. Spectromètre de masse comportant un piège à ions (2) magnétique, un dispositif de pompage (6), un générateur de tension de piégeage (12) et des moyens de mesure (20), propres à effectuer une analyse par transformée de Fourier du mouvement cyclotron des ions (40) contenus dans le piège à ions (2) caractérisé en ce que ledit piège à ions magnétique (2) est un piège selon l'une  
15 quelconque des revendications précédentes.

1/4



**FIG. 1**

2/4

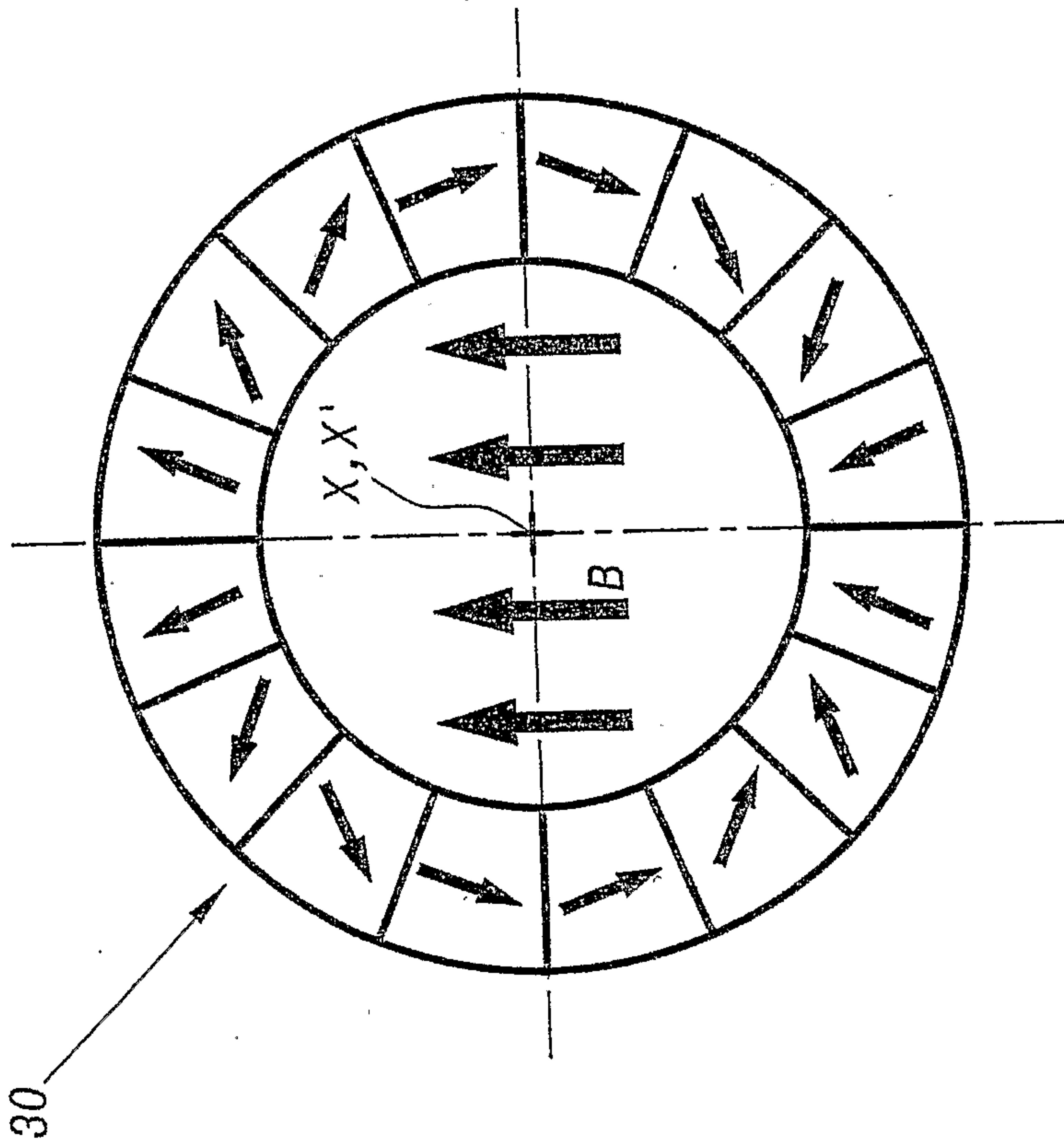


FIG. 3

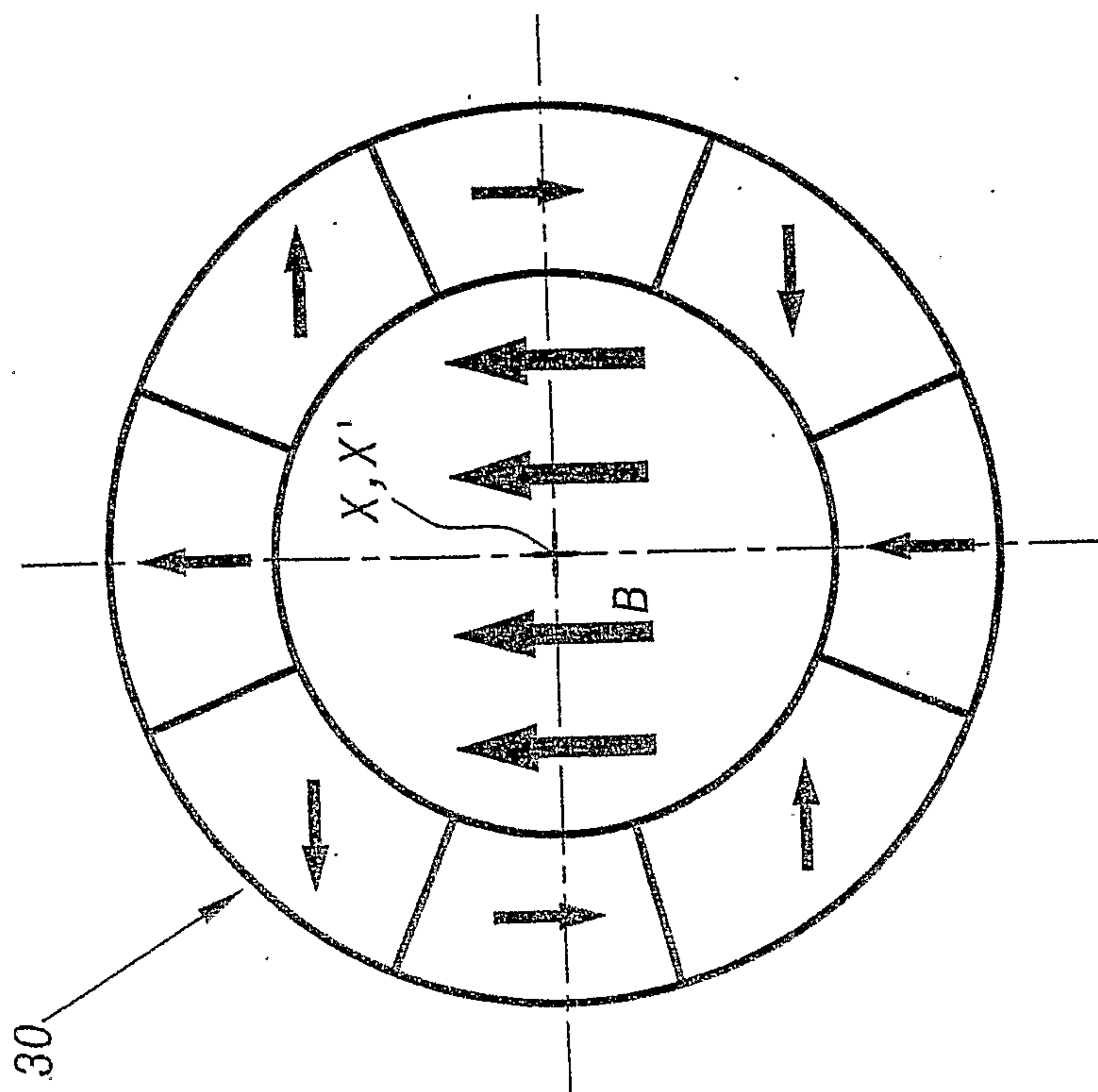
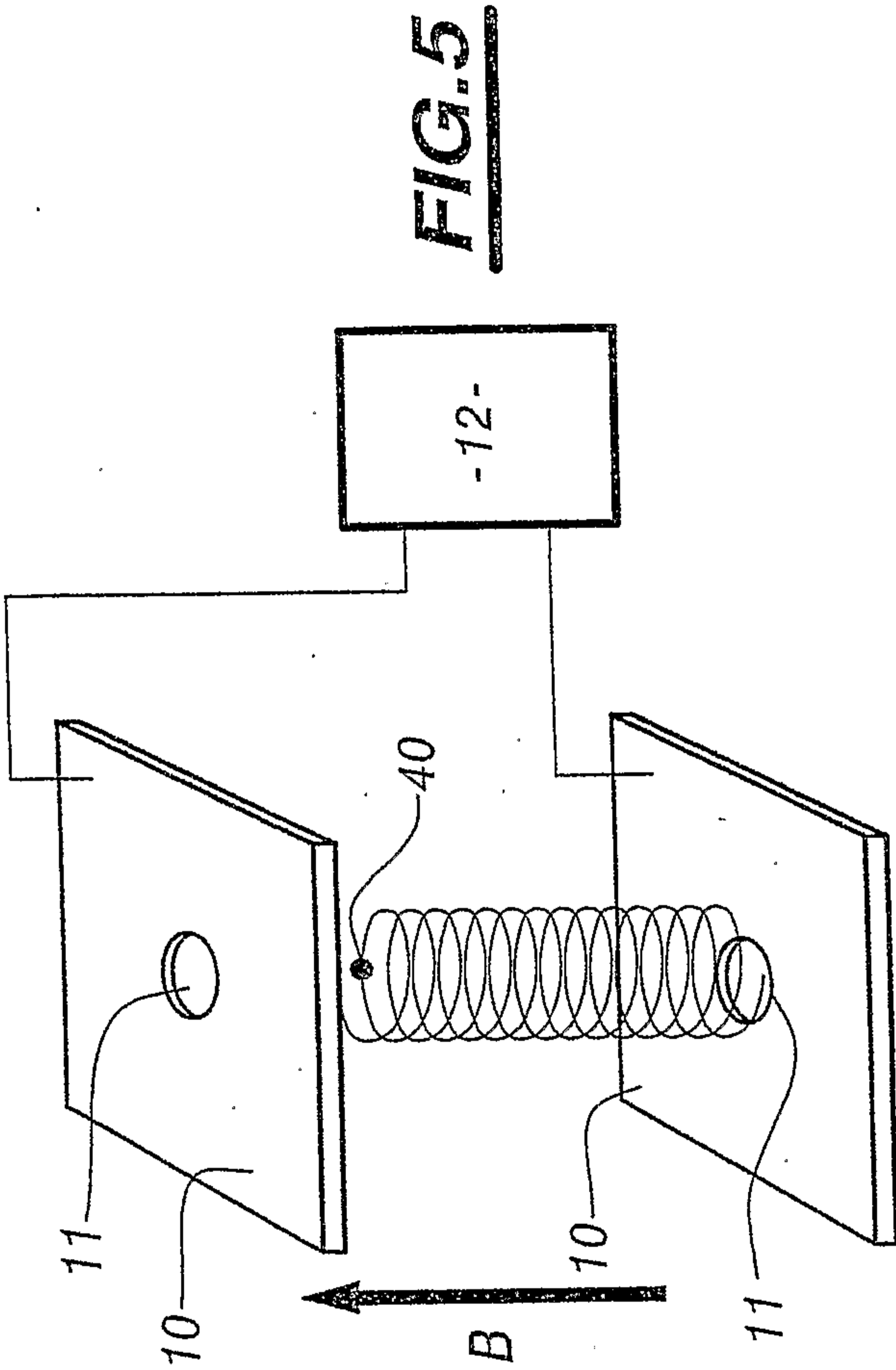
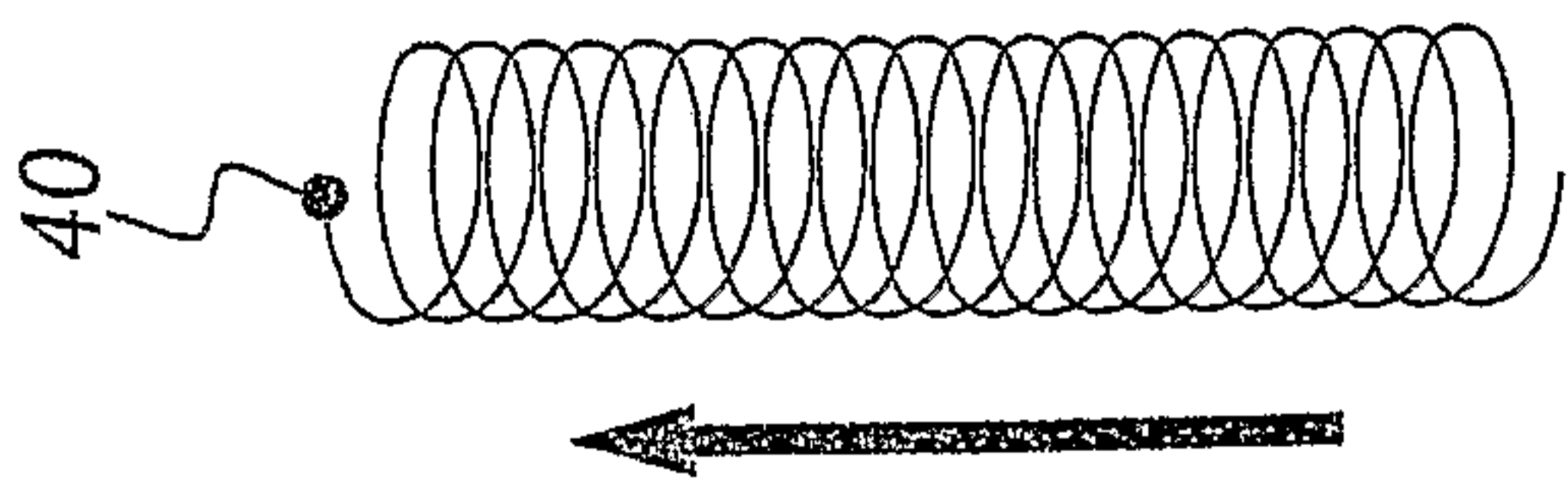


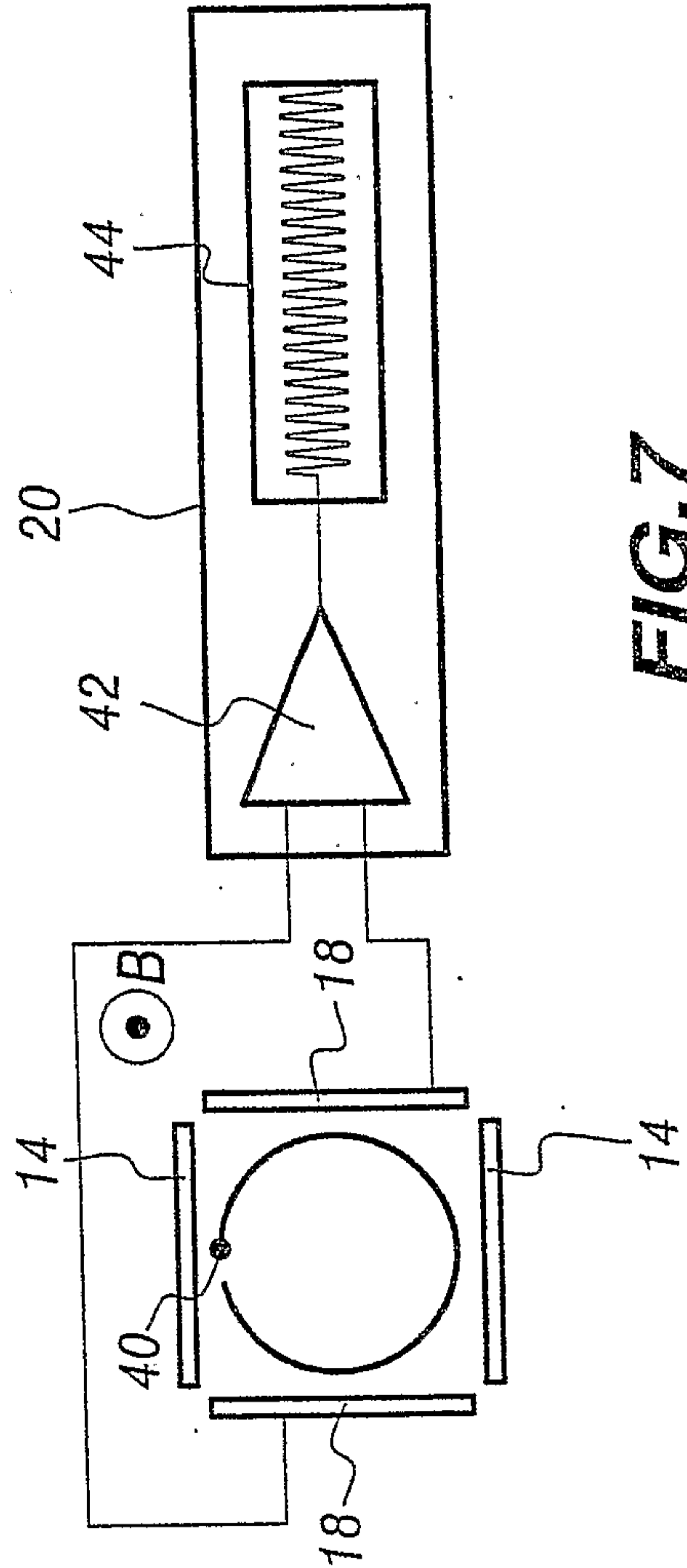
FIG. 2



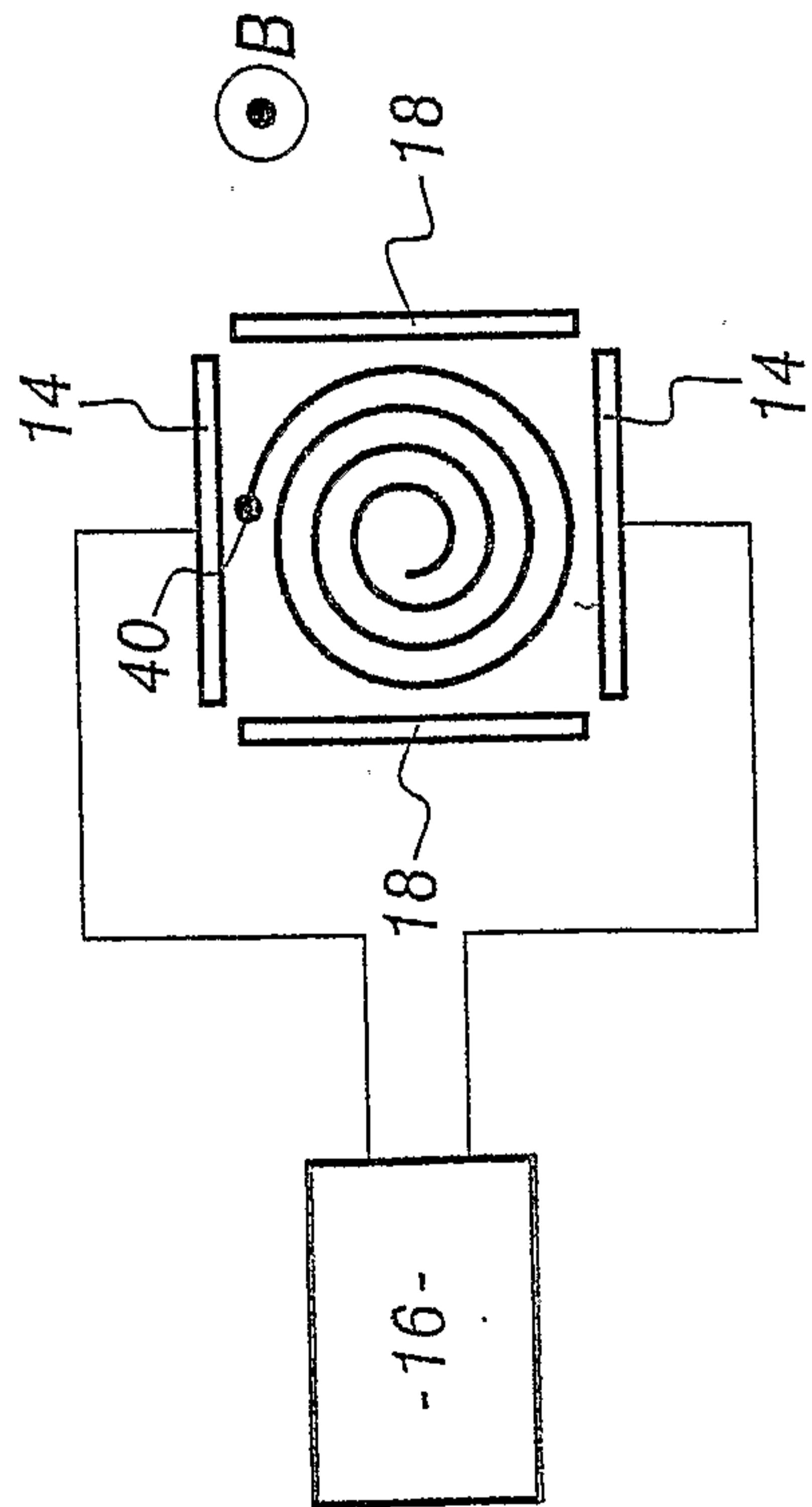
**FIG. 5**



**FIG. 4**

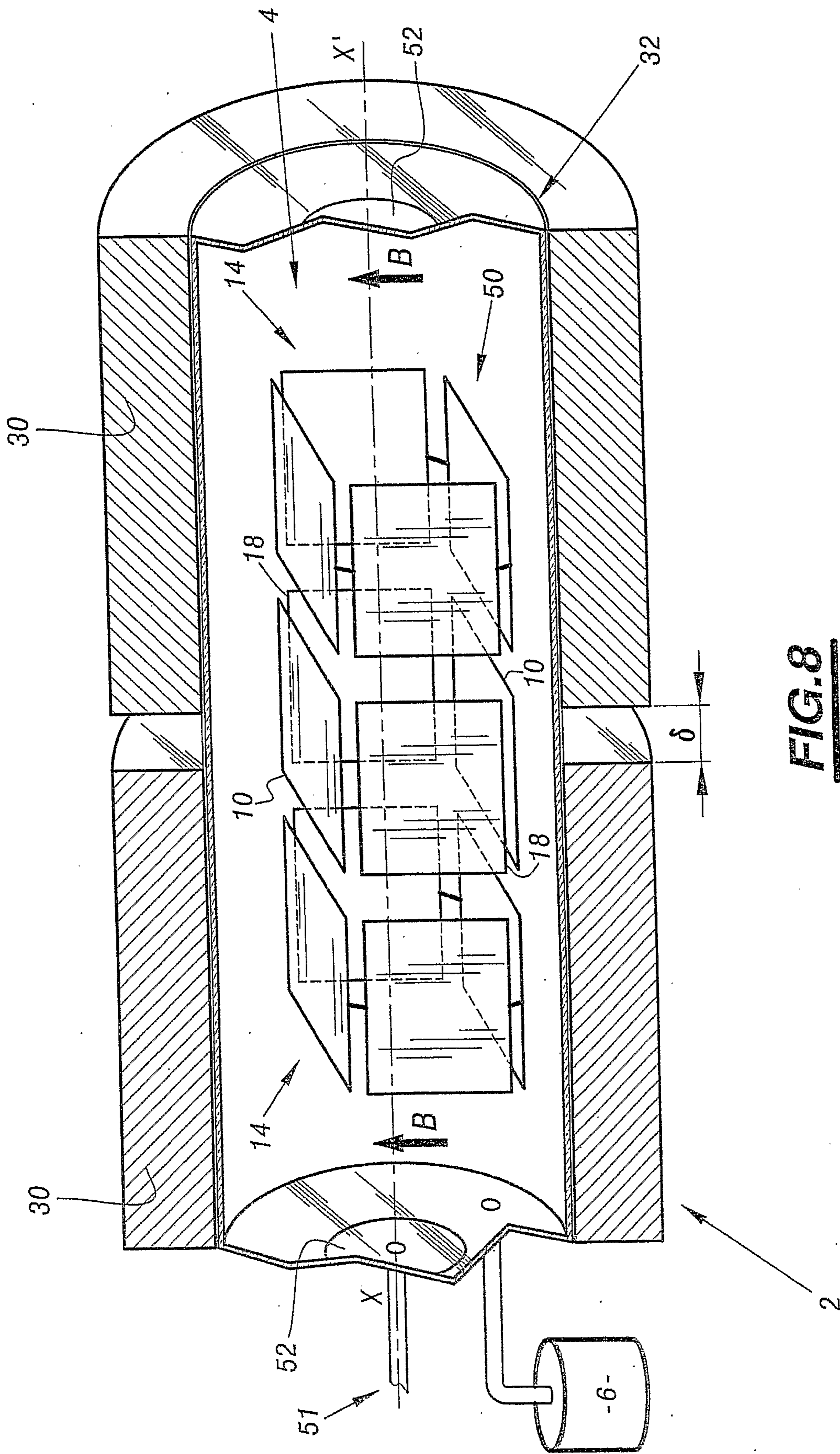


**FIG. 7**



**FIG. 6**

4/4



**FIG. 8**

