



(11) **EP 1 784 850 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
20.02.2013 Bulletin 2013/08

(51) Int Cl.:
H01J 49/38 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **05793119.8**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2005/002013

(22) Date de dépôt: **02.08.2005**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2006/024775 (09.03.2006 Gazette 2006/10)

(54) **PIEGE A IONS A AIMANT PERMANENT LONGITUDINAL ET SPECTROMETRE DE MASSE
UTILISANT UN TEL AIMANT**

IONENFALLE MIT LANGSLAUFENDEM PERMANENTMAGNET UND MASSENSPEKTROMETER
MIT EINEM SOLCHEN MAGNET

ION TRAP WITH LONGITUDINAL PERMANENT MAGNET AND MASS SPECTROMETER USING
SAME

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**

(30) Priorité: **05.08.2004 FR 0408678**

(43) Date de publication de la demande:
16.05.2007 Bulletin 2007/20

(73) Titulaires:
• **CENTRE NATIONAL DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)
Etablissement Public
75016 Paris (FR)**
• **UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS VI)
75005 Paris (FR)**
• **Universite De Paris 11-Paris Sud
91405 Orsay (FR)**

(72) Inventeurs:
• **HENINGER, Michel
F-91450 ETIOLLES (FR)**
• **LEMAIRE, Joël
F-92160 ANTONY (FR)**
• **MAUCLAIRE, Gérard
F-91470 LIMOURS (FR)**
• **BOISSEL, Pierre
F-91640 FONTENAY LES BRIIS (FR)**

(74) Mandataire: **Blot, Philippe Robert Emile et al
Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A- 0 462 554 FR-A- 2 835 964
US-A- 5 451 781**

EP 1 784 850 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un piège à ions magnétique sous vide pouvant notamment être utilisé pour détecter les ions par spectrométrie de masse de résonance cyclotronique à transformée de Fourier ou FTICR.

[0002] Les pièges à ions magnétiques, ou pièges de Penning permettent de confiner les ions pendant des temps importants, de les faire réagir sur des gaz neutres, pour ensuite les sélectionner suivant leur masse et les détecter avec une très grande résolution en masse.

[0003] Ils sont utilisés dans des domaines variés allant de la physique atomique à la protéomique.

[0004] L'intérêt de ces dispositifs pour la caractérisation de macromolécules conduit à l'utilisation de champs magnétiques d'intensité de plus en plus élevés de façon à accroître le domaine de masse pouvant être détecté, la sensibilité et le pouvoir de résolution. Des champs de forte intensité, actuellement de l'ordre de 12 Tesla sont obtenus avec des aimants à supraconducteur. Ces dispositifs sont volumineux 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.

[0005] Des pièges de plus petite taille, permettant d'avoir un dispositif mobile ont été développés en utilisant des aimants permanents pour générer le champ magnétique (Zeller L.C, Kennady-J.M, Campana J.E., Kentamaa H.I. Anal. Chem. 1993, 65, 2116 2118, brevet US-A-5 451 781 DIETRICH).

[0006] Toutefois, lorsque le champ magnétique est limité à des valeurs d'environ 0,4 Tesla et/ou sur des volumes trop faibles, les performances sont très limitées.

[0007] Pour obtenir de bonnes performances, notamment en ce qui concerne la résolution, une bonne homogénéité du champ magnétique est un paramètre fondamental et une intensité du champ de l'ordre de 1 Tesla est souvent considérée comme un ordre de grandeur nécessaire.

[0008] L'aimant permanent décrit dans la demande de brevet en France FR 2 835 964 permet d'obtenir un champ homogène de bonne qualité et intensité mais la géométrie utilisée limite l'utilisation du piège aux ions directement formés dans la cellule ou dans son voisinage immédiat.

[0009] 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 présentant une géométrie pratique qui permette notamment l'utilisation d'une source d'ions extérieure au dispositif.

[0010] L'invention a pour objet un piège à ions magnétique sous vide comportant un assemblage formant aimant permanent comprenant au moins deux structures aimantées en forme de cylindres creux et une enceinte étanche renfermant une cellule de confinement des ions placée entre lesdites au moins deux structures aiman-

tées et comprenant au moins deux électrodes de piégeage connectables à un générateur de tension, caractérisé en ce que ledit assemblage formant aimant permanent comporte au moins une structure aimantée radiale convergente, aimantée suivant une direction radiale convergente, et une structure aimantée radiale divergente, aimantée suivant une direction radiale divergente, lesdites structures aimantées radiales, convergentes et divergentes, étant disposées selon une même axe longitudinal afin de générer entre elles un champ magnétique permanent homogène orienté dans une direction sensiblement parallèle audit axe longitudinal.

[0011] Suivant d'autres caractéristiques de l'invention :

- lesdites au moins deux structures aimantées sont formées par la combinaison d'éléments aimantés assemblés pour former lesdites structures ;
- une pièce intermédiaire cylindrique creuse de perméabilité magnétique élevée est disposée entre lesdites au moins deux structures aimantées, coaxialement à celles-ci ;
- ladite pièce intermédiaire est une structure aimantée selon l'axe longitudinal, dans le sens allant de la structure aimantée radiale divergente vers la structure aimantée radiale convergente ;
- lesdites structures aimantées sont espacées entre elles selon l'axe longitudinal par des intervalles prédéterminés non nuls ;
- il comporte des moyens de réglage de la position relative desdites structures aimantées les unes par rapport aux autres ;
- ladite cellule de confinement comporte en outre deux électrodes de mesure 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 connectables à un générateur de signaux d'excitation afin d'exciter des ions contenus dans ladite cellule de confinement ;
- l'enceinte de traitement comporte des moyens de connexion à des moyens de pompage afin de commander la densité et/ou la nature de l'atmosphère dans l'enceinte ;
- il comprend une source d'ions extérieure à la zone de champ magnétique centrale, ladite source d'ions externe étant reliée à l'enceinte par une zone de transfert des ions comprenant des moyens de guidage des ions vers la cellule ;
- ladite source d'ions extérieure est une source d'ions à pression atmosphérique ;
- ladite source d'ions extérieure est une source d'ions externe de type MALDI ;
- ladite source d'ions extérieure est un tube à dérive ou à écoulement.

[0012] L'invention concerne également un spectromè-

tre 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 défini précédemment.

[0013] 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 ;
- les Figs. 2 et 3 sont des coupes latérales d'aimants permanents utilisés dans l'invention ;
- la Fig. 4 est une vue en coupe longitudinale des aimants permanents utilisés dans l'invention ; et
- la Fig. 5 est une vue en perspective d'un autre mode de réalisation du piège à ions de l'invention.

[0014] Le spectromètre de masse par résonance cyclotronique ionique à transformée de Fourier ou FTICR illustré sur la figure 1 est équipé d'un piège à ions magnétique 2 selon l'invention.

[0015] Ce piège à ions magnétique 2 comporte une enceinte étanche 4 de forme générale cylindrique d'axe longitudinal XX', également appelée enceinte de traitement. Cette enceinte 4 est reliée à un dispositif 6 de pompage.

[0016] Dans le mode de réalisation décrit, le dispositif de pompage 6 est constitué d'une pompe turbo moléculaire associée à une pompe à membrane. Bien entendu, d'autres types de pompes peuvent être utilisées, telles que des pompes ioniques, des pompes cryogéniques ou tout autre dispositif équivalent. 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.

[0017] De plus, le dispositif 6 inclut également des canalisations d'injection de gaz reliées à l'enceinte 4 par la combinaison de vannes de fuite et de vannes pulsées pour commander la nature de l'atmosphère dans l'enceinte 4.

[0018] Ce spectromètre de masse est prévu pour être utilisé avec une source d'ions extérieure, telle qu'un filament 7 qui émet des électrons le long de l'axe longitudinal, et des canalisations d'injection de gaz telles que décrites précédemment.

[0019] Une cellule 8 de confinement des ions dans laquelle les ions peuvent être analysés en masse est placée dans l'enceinte 4 sur l'axe XX'. Différentes géométries de cellule sont possibles.

[0020] Dans l'exemple, la cellule 8 est de forme cubique et comporte deux électrodes de piégeage 10, de forme plane et carrée s'étendant parallèlement l'une à l'autre et perpendiculairement à l'axe longitudinal XX de l'enceinte 4.

[0021] Pour permettre l'introduction d'ions dans la cellule de confinement 8, l'enceinte 4 dispose de moyens de raccordement étanches 11 disposés entre la source 7 et l'enceinte 4 sur l'axe XX' et de moyens de guidage des ions 12 formés, dans l'exemple, de plusieurs lentilles raccordées à un générateur, une lentille accélératrice 12A, une lentille de focalisation 12B et une de décélération 12C.

[0022] De plus, l'électrode de piégeage située du côté de la source externe 7 est percée d'un trou 13 de façon à permettre l'injection des ions dans la cellule 8.

[0023] Les électrodes 10 sont reliées électriquement à un générateur 12 de tension continue de piégeage, pour être chargées électriquement à un potentiel prédéterminé.

[0024] 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.

[0025] Les électrodes d'excitation 14 sont reliées électriquement à un générateur de signaux d'excitation 16.

[0026] Enfin, la cellule 8 comporte deux électrodes de mesure 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 préamplificateur large bande relié à un micro-ordinateur doté de cartes électroniques d'acquisition et de logiciels d'analyses appropriés.

[0027] 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.

[0028] Par, exemple la cellule 8 cubique est réalisée avec des électrodes carrées de 20 ou 25 mm de côté, réalisées dans un matériau amagnétique comme par exemple de l'ARCAP AP4 montées sur un support isolant en MACOR et reliées électriquement à l'aide de fils de cuivre ou d'argent.

[0029] Le piège à ions 2 comporte en outre un assemblage formant aimant permanent, dans le mode de réalisation décrit, de trois structures en forme de cylindres creux selon leur axe longitudinal, notées 30, 32 et 34. Dans l'exemple, ces structures sont réalisées par la combinaison de plusieurs segments aimantés qui sont assemblés de manière à présenter une forme générale de cylindre creux à section circulaire.

[0030] Les trois structures aimantées 30, 32 et 34 sont disposées selon le même axe longitudinal XX', soit de manière coaxiale le long de l'axe XX', la structure 34 étant intercalée entre les structures 30 et 32, dites structures extérieures,

[0031] Les structures 30, 32 et 34 forment ainsi une cavité 36 dans laquelle est placée l'enceinte 4 de traitement, de sorte que la cellule de confinement 8 est placée entre les aimants extérieurs 30 et 32, sur l'axe longi-

nal XX'.

[0032] Dans l'exemple décrit, le centre de la cellule de confinement 8 correspond essentiellement avec le centre de l'assemblage des structures aimantées 30, 32 et 34.

[0033] Les structures aimantées extérieures 30 et 32, décrites plus en détail en référence aux figures 2 et 3, sont conçues de manière à induire respectivement un champ magnétique sensiblement radial convergent et un champ magnétique sensiblement radial divergent.

[0034] Comme représenté sur la vue en coupe illustrée sur la figure 2, la structure aimantée 30, dite radiale convergente, est composée de seize segments aimantés chacun en forme de portion d'anneau. L'aimantation de chacun des segments est faite suivant une direction radiale convergente, soit en direction de l'axe XX'.

[0035] De manière similaire, la vue en coupe de la structure 32 de la figure 3, montre que cette structure dite radiale divergente est formée par l'assemblage de seize segments aimantés chacun en forme de portion d'anneau. L'aimantation de chacun des segments est faite suivant une direction radiale divergente, soit à partir l'axe XX'.

[0036] De plus, dans le mode de réalisation décrit, l'orientation de chaque segment formant les structures aimantées 30 et 32 est essentiellement perpendiculaire à l'axe XX', chaque structure présentant une symétrie de révolution autour de l'axe XX'.

[0037] La coopération des structures aimantées 30 et 32 génère, au niveau de la cellule de confinement 8 placée entre les structures extérieures 30 et 32, un champ magnétique B permanent homogène orienté sensiblement parallèlement à l'axe longitudinal XX', dans la direction allant de la structure 30 radiale convergente vers la structure 32 radiale divergente.

[0038] Ainsi, les électrodes de piégeage 10 de la cellule de confinement 8 sont placées perpendiculairement au champ magnétique B généré par les aimants 30 et 32. Ce champ magnétique permanent homogène orienté B est renforcé, dans le mode de réalisation décrit, par la structure aimantée 34 intercalée entre les structures aimantées 30 et 32. Cette structure 34 est formée de segments aimantés dont la direction d'aimantation est parallèle à l'axe XX' et dirigée de la structure 32 vers la structure 30 soit dans le sens de la structure radiale divergente vers la structure dite radiale convergente.

[0039] L'utilisation de cette structure aimantée 34 intercalée entre les structures 30 et 32 permet de renforcer l'homogénéité et l'intensité du champ magnétique dans la cellule de confinement 8 et permet également d'avoir un champ magnétique plus faible à l'extérieur des structures aimantées.

[0040] Les dimensions des aimants formant les structures 30 et 32 ainsi que 34, interviennent sur l'intensité du champ ainsi que sur son homogénéité.

[0041] Par exemple, les structures 30, 32 et 34 sont constituées de Nd-Fe-B, ou Néodyme Fer Bore et présentent un diamètre extérieur de 24 cm, pour les struc-

tures aimantées 30 et 32 et de 20 cm pour l'aimant 34. Toutes les structures aimantées présentent un diamètre intérieur de 6 cm et une longueur de 10 cm. L'ensemble génère alors un champ magnétique de l'ordre du Tesla avec une homogénéité de l'ordre de 1 pour 1000 dans un volume central supérieur à 10 cm³ environ.

[0042] Dans le mode de réalisation décrit en référence à la figure 1, les trois structures aimantées 30, 32 et 34 sont disposées coaxialement et séparées axialement par des intervalles ajustables d1 et d2.

[0043] Pour les dimensions choisies pour les aimants 30, 32 et 34, les intervalles d1 et d2 sont typiquement inférieurs à 5 mm, avantageusement compris entre 0,3 et 0,7 mm et préférentiellement égaux à 0,5 mm.

[0044] Un mode de réalisation du montage des aimants 30, 32 et 34 est représenté sur la figure 4 qui montre une vue en coupe longitudinale des structures du piège, à ions selon l'invention

[0045] Afin de permettre un ajustement aisé des intervalles d1 et d2, l'aimant central 34 est monté fixe sur un châssis 38 formé de plaques et de cales en matériau amagnétique. Les deux structures aimantées extérieures 30 et 32 sont montées mobiles en translation et peuvent être déplacées le long de l'axe XX', par exemple, respectivement au moyen de vis 40, 42 solidaires du châssis 38 et s'engageant dans des trous borgnes filetés 44 prévus dans les faces extérieures des aimants extérieurs 30 et 32.

[0046] Les intervalles d1 et d2 sont ajustés pour obtenir un champ magnétique d'homogénéité maximale dans la cellule 8.

[0047] Ainsi disposés, les structures 30, 32 et 34 génèrent au centre de la cavité 36, un champ magnétique homogène B de forte intensité, sensiblement parallèle à l'axe XX' et orienté de la structure 30 vers la structure 32.

[0048] A l'inverse, au niveau des zones extérieures de la cavité 36, on constate la présence d'un champ magnétique permanent homogène orienté parallèlement à l'axe longitudinal dans la direction opposée à celle du champ dans la cellule, soit allant de la structure 32 vers la structure 30.

[0049] Le fonctionnement de ce spectromètre de masse est proche de celui décrit dans la demande de brevet en France FR-2 835 964 et ne sera pas décrit plus en détail ici.

[0050] En référence à la figure 5, on va maintenant décrire un second mode de réalisation de l'invention.

[0051] Cette figure représente une vue en perspective d'une coupe partielle du piège à ions magnétique 2 selon l'axe XX'.

[0052] De même que précédemment, le piège à ions 2 comprend l'enceinte 4 intégrée dans la cavité 36 des structures aimantées cylindriques 30, 32 et 34.

[0053] Dans ce mode de réalisation, les deux électrodes de piégeage 10 sont chacune constituées d'une structure de cylindre ouvert par deux faces opposées.

[0054] Les ouvertures des deux cylindres ouverts constituant les électrodes 10 sont orientées l'une vers

l'autre selon l'axe longitudinal XX'.

[0055] Les deux électrodes d'excitation 14 et de détection 18 sont toutes sous la forme de sections d'anneau et sont agencées de manière à former un cylindre creux placé entre les cylindres creux formant les électrodes de piégeage 10 et coaxialement à ceux-ci. Les électrodes d'un même type se font face de sorte que les électrodes d'excitation 14 et de détection 18 sont alternées.

[0056] 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'.

[0057] Une telle structure peut être définie comme une structure ouverte et présente de nombreux avantages de mise en oeuvre 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.

[0058] Bien entendu, d'autres formes de cellules peuvent être utilisées, notamment une cellule cubique en forme de tunnel similaire à celle décrite dans la demande de brevet FR 2 835 964.

[0059] En variante, le piège à ions de l'invention est utilisé directement avec une source d'ions externe, c'est-à-dire située en dehors de la zone de champ magnétique centrale. L'injection des ions dans la cellule doit se faire le long de l'axe de symétrie des structures aimantées. La source est éventuellement placée hors axe si un dispositif de déflexion du faisceau d'ions est placé avant d'introduire les ions dans la cellule. La zone utilisée pour le transfert des ions doit être elle-même placée dans un vide poussé et peut nécessiter un ou des groupes de pompage supplémentaires.

[0060] Les ions sont guidés le long de l'axe XX' de manière classique, par exemple à l'aide d'un système composé de lentilles électrostatiques ou de guides radiofréquences.

[0061] En fonctionnement, dans un exemple utilisant la formation des ions par ionisation chimique, un échantillon de gaz destiné à produire les ions primaires est introduit dans la source d'ions. Un deuxième échantillon de gaz est ensuite introduit de façon pulsée dans la source avec lequel les ions primaires peuvent réagir. Les ions produits sont guidés dans la cellule de confinement où ils sont piégés et peuvent être excités de manière à obtenir un spectre de masse par une analyse par transformée de Fourier.

[0062] La source d'ions elle-même peut fonctionner sous vide, par exemple en formant les ions par impact électronique, par ionisation chimique, par ablation ionisation laser ou par désorption ionisation assistée par matrice (MALDI). Les changements d'échantillons sont facilités par l'utilisation de groupes de pompage séparés pour la source externe et pour le reste du dispositif, la source externe pouvant être isolée à l'aide d'une vanne.

[0063] La source externe peut également être une source fonctionnant à pression atmosphérique (source electrospray, source MALDI à pression atmosphérique,

ionisation chimique à pression atmosphérique) auquel cas plusieurs étages de pompage différentiel sont nécessaires entre la source d'ions et l'enceinte contenant la cellule.

5 [0064] D'autres types de sources telles que des tubes à dérives ou à écoulement ou tout autre type de source placée dans l'enceinte ou à l'extérieur de celle-ci peuvent également être utilisées.

10 [0065] Dans d'autres modes de réalisation, d'autres formes et assemblages d'aimants permanents sont utilisés. Par exemple, les aimants sont intégrés à l'intérieur de l'enceinte de traitement ou ont des formes autres que des formes de section circulaire, telles que des formes de section polygonale.

15 [0066] En variante, les structures aimantées extérieures sont adaptées pour induire des champs respectivement radiaux convergents et divergents, non perpendiculaires à l'axe XX'. Ainsi, chaque champ est orienté dans une plage d'une dizaine de degrés autour de la perpendiculaire à l'axe longitudinal XX'.

20 [0067] Le mode de réalisation décrit prévoit trois structures aimantées, cependant deux structures aimantées suffisent pour la mise en oeuvre de l'invention. En variante, entre ces deux structures est intercalée une autre structure disposée coaxialement avec les deux autres. Cette structure supplémentaire est réalisée dans un matériau sans aimantation permanente mais présentant une perméabilité magnétique élevée telle qu'une pièce en fer doux ou d'un autre métal ferromagnétique.

30

Revendications

1. Piège à ions magnétique sous vide comportant un assemblage formant aimant permanent comprenant au moins deux structures aimantées (30, 32) en forme de cylindres creux et une enceinte étanche (4) renfermant une cellule de confinement des ions (8) placée entre lesdites au moins deux structures aimantées (30, 32) et comprenant au moins deux électrodes de piégeage (10) connectables à un générateur de tension (12), **caractérisé en ce que** ledit assemblage formant aimant permanent comporte au moins une structure aimantée (30) radiale convergente, aimantée suivant une direction radiale convergente, et une structure aimantée (32) radiale divergente, aimantée suivant une direction radiale divergente, lesdites structures aimantées (30, 32) radiales, convergentes et divergentes, étant disposées selon une même axe longitudinal (XX') afin de générer entre elles un champ magnétique permanent homogène orienté dans une direction sensiblement parallèle audit axe longitudinal (XX').
2. Piège à ions magnétique sous vide selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** lesdites au moins deux structures aimantées (30, 32) sont formées par la combinaison d'éléments aimantés assemblés

pour former lesdites structures.

3. Piège à ions magnétique sous vide selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce qu'une** pièce intermédiaire cylindrique creuse (34) de perméabilité magnétique élevée est disposée entre lesdites au moins deux structures aimantées (30, 32), coaxialement à celles-ci.
4. Piège à ions magnétique selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** ladite pièce intermédiaire est une structure aimantée selon l'axe longitudinal (XX'), dans le sens allant de la structure aimantée radiale divergente (32) vers la structure aimantée radiale convergente (30).
5. Piège à ions magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** lesdites structures aimantées (30, 32, 34) sont espacées entre elles selon l'axe longitudinal (XX') par des intervalles prédéterminés (d1, d2) non nuls.
6. Piège à ions magnétique selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, **caractérisé en ce qu'il** comporte des moyens de réglage de la position relative desdites structures aimantées (30, 32, 34) les unes par rapport aux autres.
7. Piège à ions magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** ladite cellule de confinement (8) comporte en outre deux électrodes de mesure (18) connectables à des moyens de mesure (20) afin de transmettre des informations relatives aux mouvements des ions contenus dans ladite cellule de confinement (8).
8. Piège à ions magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** ladite cellule de confinement (8) comporte en outre deux électrodes d'excitation (14) connectables à un générateur (16) de signaux d'excitation afin d'exciter des ions contenus dans ladite cellule de confinement (8).
9. Piège à ions magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** l'enceinte de traitement (4) comporte des moyens de connexion à des moyens de pompage (6) afin de commander la densité et/ou la nature de l'atmosphère dans l'enceinte (4).
10. Piège à ions magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce qu'il** comprend une source d'ions (7) extérieure à la zone de champ magnétique centrale, ladite source d'ions externe étant reliée à l'enceinte (4) par une zone de transfert des ions comprenant des moyens de guidage des ions vers la cellule (8)

11. Piège à ions magnétique selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** ladite source d'ions extérieure est une source d'ions à pression atmosphérique.

5 12. Piège à ions magnétique selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** ladite source d'ions extérieure est une source d'ions externe de type désorption ionisation laser assistée par matrice (MALDI).

10 13. Piège à ions magnétique selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** ladite source d'ions extérieure est un tube à dérive ou à écoulement.

15 14. 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 contenus dans le piège à ions (2), **caractérisé en ce que** ledit piège à ions magnétique (2) est un piège selon l'une quelconque des revendications précédentes.

25 Claims

1. A vacuum magnetic ion trap comprising an assembly forming a permanent magnet made up of at least two magnetic structures (30,32) in the form of hollow cylinders and a sealed enclosure (4) containing an ion confinement cell (8) placed between said at least two magnetic structures 130,32) and having at least two trapping electrodes (10) connectable to a voltage generator (12), **characterized in that** said permanent magnet forming assembly comprises at least one radially converging magnetic structure (30) magnetized in a radially converging direction, and at least one radially diverging magnetic structure (32) magnetized in a radially diverging section, said radially converging and diverging magnetic structures (30,32) being disposed on a common longitudinal axis (XX') so as to generate between them a homogeneous permanent magnetic field oriented in a direction substantially parallel to said longitudinal axis (XX').

2. A vacuum magnetic ion trap according to claim 1, wherein said at least two magnetic structures (30,32) are formed by combining magnetic elements that are assembled together to form said structures.

3. A vacuum magnetic ion trap according to any of claims 1 and 2, wherein a hollow cylindrical intermediate part (34) of high magnetic permeability is disposed between said at least two magnetic structures (30,32), coaxially to these latter.

4. Fa magnetic ion trap according to claim 3, wherein

said intermediate part is a structure magnetized along the longitudinal axis (XX') going from the radially diverging magnetic structure (32) towards the radially converging magnetic structure (30).

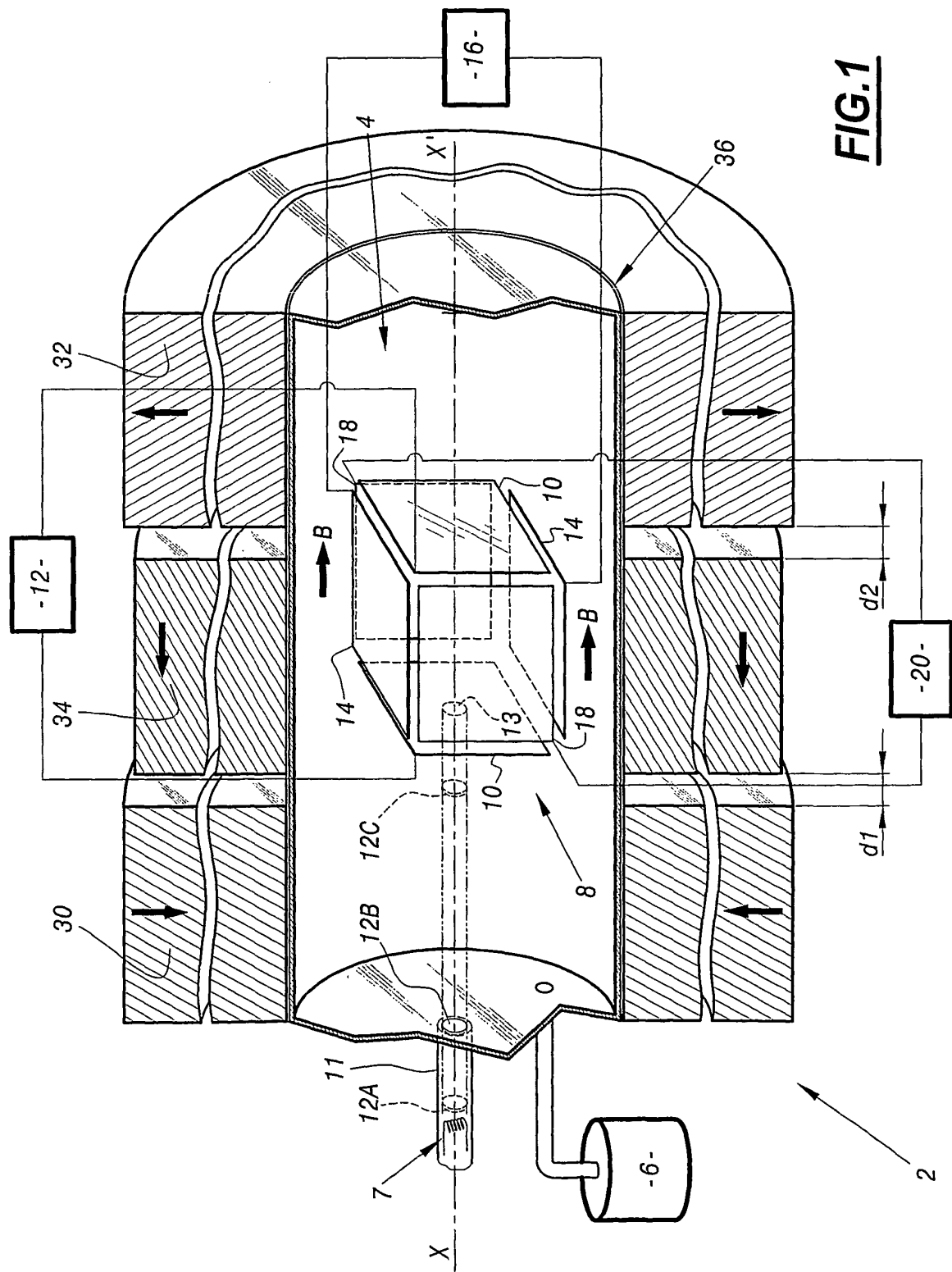
5. A magnetic ion trap according to any of claims 1 to 4, wherein said magnetic structures (30,32,34) are spaced apart from one another along the longitudinal axis (XX') by predetermined non zero gaps (d1, d2).
6. A magnetic ion trap according to any of claims 4 and 5, including means for adjusting the positions of said magnetic structures (30,32,34) relative to one another.
7. A magnetic ion trap according to any of claims 1 to 6, wherein said confinement cell (8) further includes two measurement electrodes (18) connectable to measurement means (20) in order to convey information relating to the movements of ions contained in said confinement cell (8).
8. A magnetic ion trap according to any of claims 1 to 7, wherein said confinement cell (8) further includes two excitation electrodes (14) connectable to an excitation signal generator (16) in order to excite ions contained in said confinement cell (8).
9. A magnetic ion trap according to any of claims 1 to 8, wherein said treatment enclosure (4) includes means for connection to pump means (6) in order to control the density and/or the nature of the atmosphere in the enclosure (4).
10. A magnetic ion trap according to any of claims 1 to 9, wherein it includes an external ion source (7) outside the central magnetic field zone, said external ion source being connected to the enclosure (4) via an ion transfer zone having means for guiding ions towards the cell (8).
11. A magnetic ion trap according to claim 10, wherein said external ion source is a source of ions at atmospheric pressure.
12. A magnetic ion trap according to claim 10, wherein said external ion source is an external ion source of the matrix assisted laser desorption/ionization (MALDI) type.
13. A magnetic ion trap according to claim 10, wherein said external ion source is a drift tube or a flow tube.
14. A mass spectrometer comprising a magnetic ion trap (2), a pump device (6), a trapping voltage generator (12), and measurement means (20), suitable for performing Fourier transform analysis of the cyclotron movement of ions contained in the ion trap (2),

characterised in that said magnetic ion trap (2) is a trap according to any of claim 1 to 13.

5 Patentansprüche

1. Magnetische Vakuumionenfalle mit einer Baugruppe, welche einen Permanentmagneten ausbildet und welche mindestens zwei magnetisierte Strukturen (30, 32) in Form von Hohlzylindern und eine dichte Kammer (4), die eine Behälterzelle für Ionen (8) einschließt, welche zwischen den mindestens zwei magnetisierten Strukturen (30, 32) angeordnet ist und mindestens zwei Einfangelektroden (10), welche an einen Spannungsgenerator (12) anschließbar sind, umfasst, umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Baugruppe, welche einen Permanentmagneten ausbildet, mindestens eine radial zusammenlaufend magnetisierte Struktur (30), welche in eine radial zusammenlaufende Richtung magnetisiert ist, und eine radial auseinanderlaufend magnetisierte Struktur (32), welche in eine radial auseinanderlaufende Richtung magnetisiert ist, aufweist, wobei die radial zusammenlaufend und auseinanderlaufend magnetisierten Strukturen (30, 32) auf der gleichen Längsachse (XX') angeordnet sind, um zwischen ihnen ein Permanentmagnetfeld zu erzeugen, welches homogen in einer im Wesentlichen parallelen Richtung zur Längsachse (XX') ausgerichtet ist.
2. Magnetische Vakuumionenfalle nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens zwei magnetisierten Strukturen (30, 32) durch die Kombination von magnetisierten Elementen ausgebildet werden, welche so angeordnet sind, dass sie die Strukturen bilden.
3. Magnetische Vakuumionenfalle nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Hohlzylinderzwischenstück (34) mit erhöhter magnetischer Permeabilität zwischen den mindestens zwei magnetisierten Strukturen (30, 32) koaxial zu ihnen angeordnet ist.
4. Magnetische Ionenfalle nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zwischenstück eine entlang der Längsachse (XX') magnetisierte Struktur ist, welche in Richtung der radial auseinanderlaufend magnetisierten Struktur (32) zur radial zusammenlaufend magnetisierten Struktur (30) verläuft.
5. Magnetische Ionenfalle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die magnetisierten Strukturen (30, 32, 34) entlang der Längsachse (XX') voneinander durch nicht Null betragende, vorbestimmte Abstände (d1, d2) entfernt sind.

6. Magnetische Ionenfalle nach einem der Ansprüche 4 und 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Einrichtungen zur Einstellung der relativen Position der magnetisierten Strukturen (30, 32, 34) zueinander aufweist. 5
7. Magnetische Ionenfalle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Behälterzelle (8) zusätzlich zwei Messelektroden (18), welche an Messeinrichtungen (20) anschließbar sind, aufweist, um die relativen Informationen über die Bewegung der Ionen, welche in der Behälterzelle (8) enthalten sind, zu übermitteln. 10
8. Magnetische Ionenfalle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Behälterzelle (8) zusätzlich zwei Anregungselektroden (14), welche an einen Anregungssignalgenerator (16) anschließbar sind, aufweist, um die Ionen, welche in der Behälterzelle (8) enthalten sind, anzuregen. 15 20
9. Magnetische Ionenfalle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Behandlungskammer (4) Einrichtungen zum Anschluss an Pumpeneinrichtungen (6) aufweist, um die Dichte und/oder die Beschaffenheit der Atmosphäre in der Kammer (4) zu steuern. 25
10. Magnetische Ionenfalle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine externe Ionenquelle (7) im Bereich des zentralen magnetischen Feldes umfasst, wobei die externe Ionenquelle an der Kammer (4) durch einen Übergabebereich der Ionen, welcher Einrichtungen zur Führung der Ionen durch die Zeile (8) umfasst, angebracht ist. 30 35
11. Magnetische Ionenfalle nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die externe Ionenquelle eine Ionenquelle mit atmosphärischem Druck ist. 40
12. Magnetische Ionenfalle nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die externe Ionenquelle eine externe Ionenquelle vom Typ der Matrix-unterstützten Laser-Desorption/ionisation (MALDI) ist. 45
13. Magnetische Ionenfalle nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die externe Ionenquelle eine Driftröhre oder ein Durchflusströhre ist. 50
14. Massenspektrometer, umfassend eine magnetische Ionenfalle (2), eine Pumpvorrichtung (6), einen Eingangsspannungsgenerator (12) und Messeinrichtungen (20), die sich dazu eignen, eine Fourier-Transformationsanalyse der Zyklotronbewegung der Ionen, welche in der Ionenfalle (2) enthalten sind, durchzuführen, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei der magnetischen Ionenfalle (2) um eine Falle nach einem der vorherigen Ansprüche handelt. 55



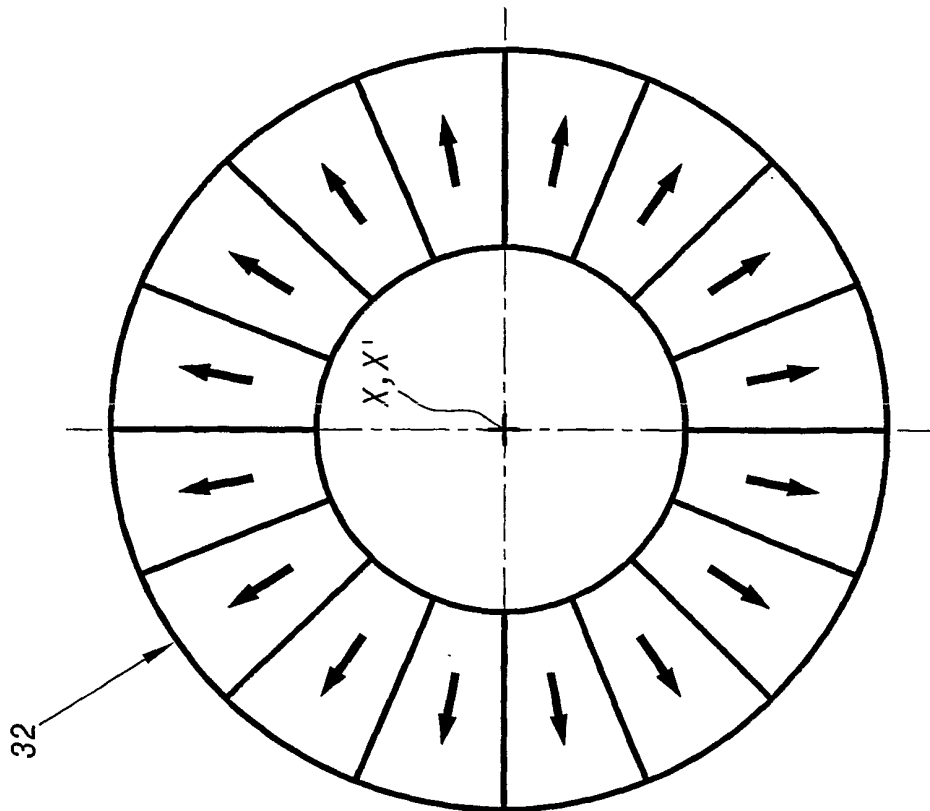


FIG. 2

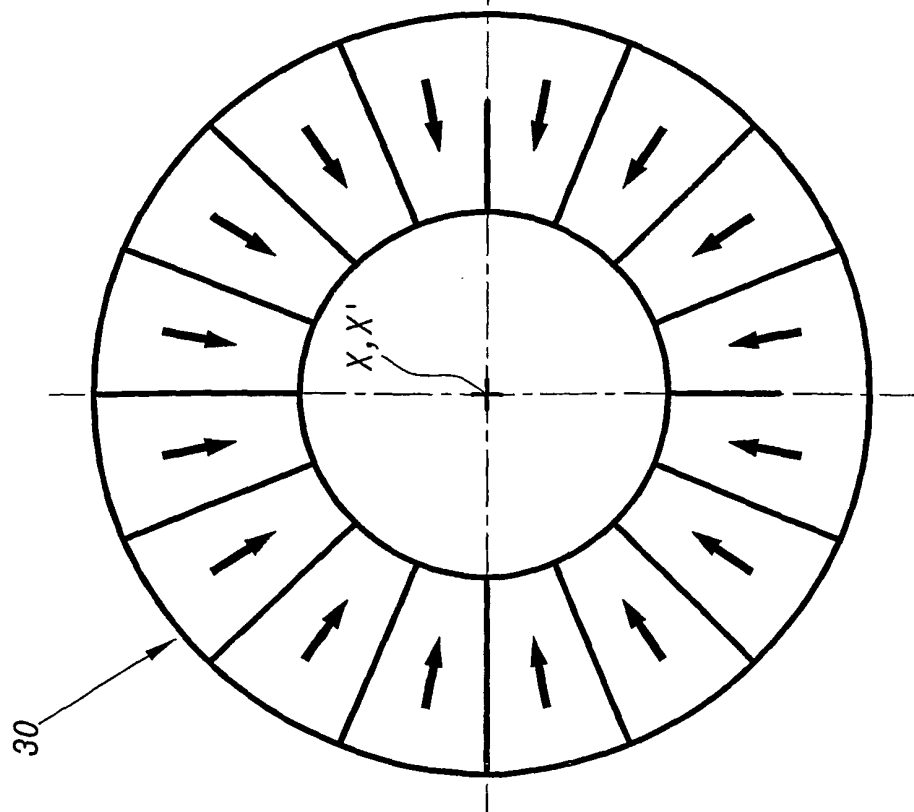


FIG. 3

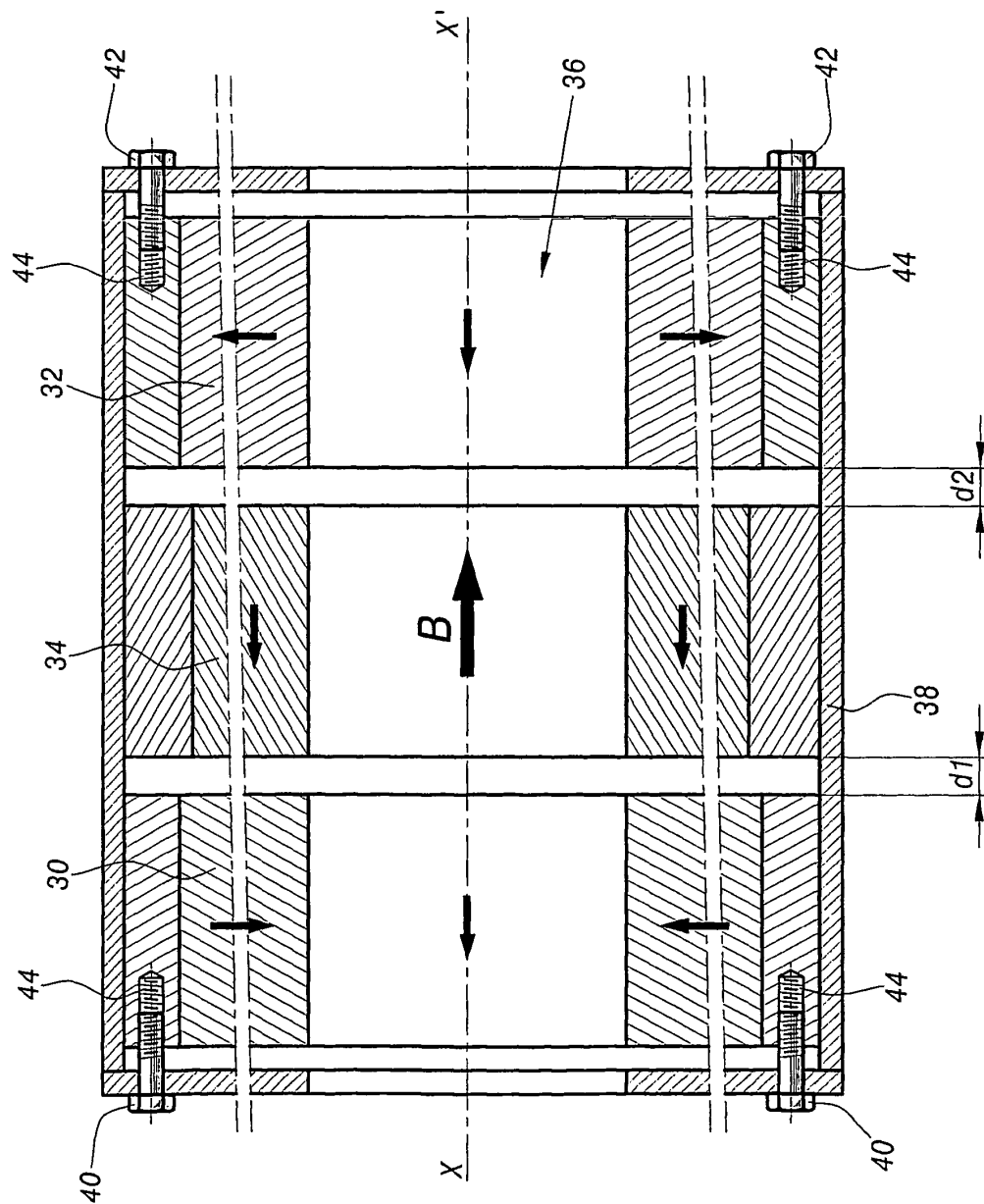


FIG. 4

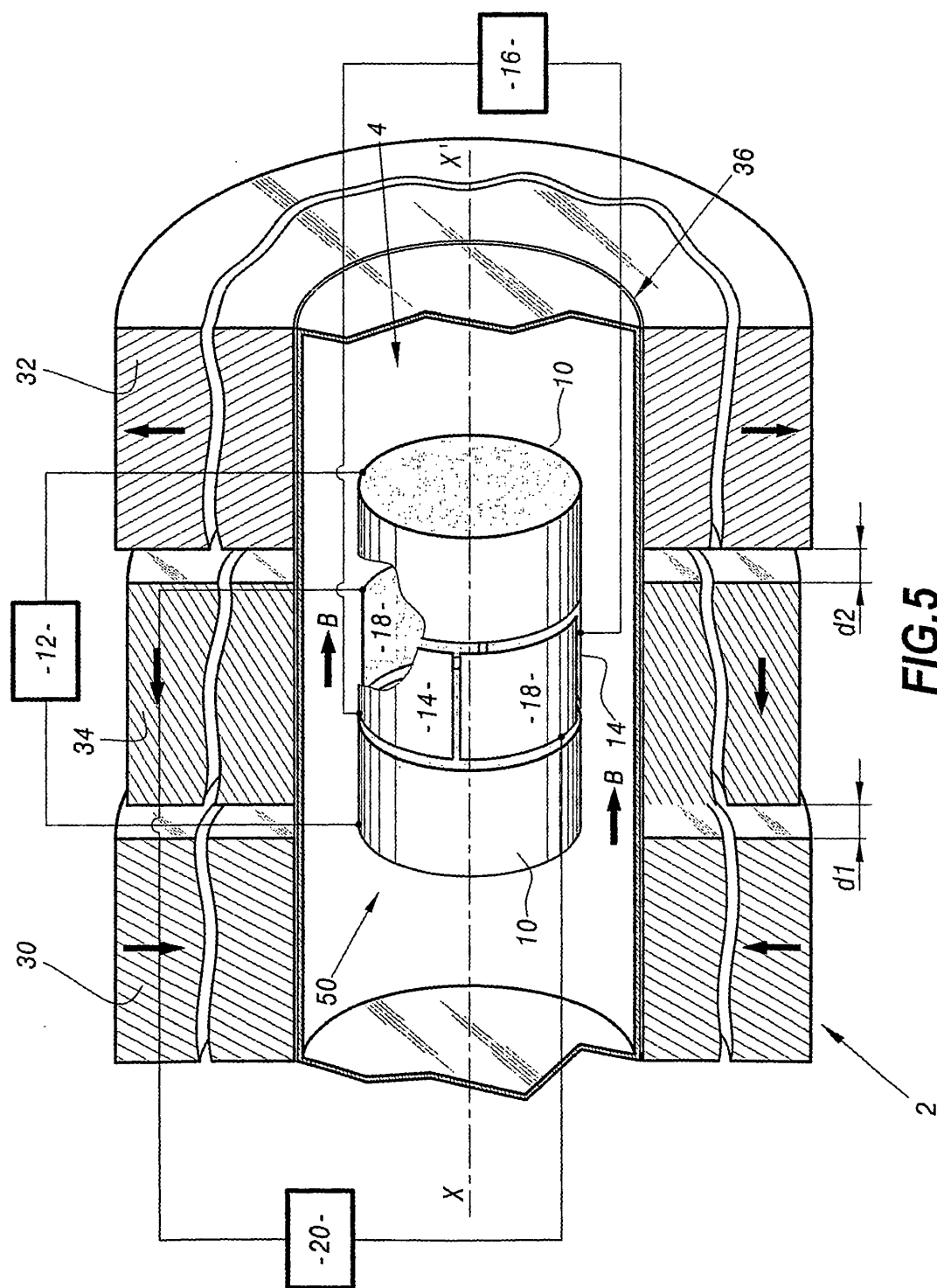


FIG. 5

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

- US 5451781 A [0005]
- FR 2835964 [0008] [0049] [0058]

Littérature non-brevet citée dans la description

- ZELLER L.C ; KENNADY-J.M ; CAMPANA J.E. ;
KENTTAMAA H.I. *Anal. Chem.*, 1993, vol. 65,
2116-2118 [0005]