

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 145 586
B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet:
17.11.88

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

(21) Numéro de dépôt: **84402460.4**

(22) Date de dépôt: **30.11.84**

(54) **Source d'ions multicharges a plusieurs zones de resonance cyclotronique electronique.**

(30) Priorité: **07.12.83 FR 8319572**

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

(43) Date de publication de la demande:
19.06.85 Bulletin 85/25

(72) Inventeur: **Jacquot, Bernard, 1, Boulevard Jomardière,
F-38120 Saint Egrève (FR)**

(45) Mention de la délivrance du brevet:
17.11.88 Bulletin 88/46

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

(84) Etats contractants désignés:
DE GB NL

(56) Documents cités:
GB - A - 2 069 230

IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, vol.
NS-26, no. 2, avril 1979, pages 2120-2126, IEEE, New
York, US; R. GELLER: "Electron cyclotron resonance
(E.C.R.) multiply charged ion sources"
IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, vol.
NS-26, no. 3, juin 1979, pages 3680-3682, IEEE, New
York, US; V. BECHTOLD et al.: "An ECR-type light ion
source for the Karlsruhe isochronous cyclotron"

EP 0 145 586 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention a pour objet une source d'ions multichargés à plusieurs zones de résonance cyclotronique électronique. Elle trouve de nombreuses applications, en fonction des différentes valeurs de l'énergie cinétique des ions extraits, dans les domaines de l'implantation ionique, de la microgravure, et plus particulièrement dans l'équipement des accélérateurs de particules, utilisés aussi bien dans le domaine scientifique que médical.

Dans les sources à résonance cyclotronique électronique, les ions sont obtenus en ionisant, dans une enceinte fermée du genre cavité hyperfréquence un gaz, constitué par exemple de vapeurs métalliques, au moyen d'un plasma d'électrons fortement accélérés par résonance cyclotronique électronique. Cette résonance est obtenue grâce à l'action conjuguée d'un champ électromagnétique haute fréquence injecté dans l'enceinte, contenant le gaz à ioniser, et d'un champ magnétique, régnant dans cette même enceinte, dont l'amplitude B satisfait à la condition de résonance cyclotronique électronique suivante: $B = f \cdot 2\pi \frac{m}{e}$ dans laquelle e représente la charge de l'électron, m sa masse, et f la fréquence du champ électromagnétique.

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

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 envisagé de confiner, dans l'enceinte constituant la source, les ions formés ainsi que les électrons servant à leur ionisation. Ceci est réalisé en créant à l'intérieur de l'enceinte un ensemble de champs magnétiques locaux, radiaux et axiaux, définissant une nappe fermée dite «équimagnétique», n'ayant aucun contact avec les parois de l'enceinte et sur laquelle la condition de résonance cyclotronique électrique est satisfaite: cette nappe représente le lieu des points où l'amplitude des champs magnétiques locaux présente la même valeur. Une telle source a été décrite dans FR-A-2 475 798, déposé le 13 février 1980 au nom du demandeur.

Plus cette nappe équimagnétique est proche des parois de l'enceinte, plus son efficacité est grande car elle permet de limiter le volume de présence des atomes neutres et donc la quantité de collision ions-atome neutre.

Cependant, les risques pour cette nappe de toucher les parois internes de l'enceinte sont grands et il est alors préférable d'utiliser une deuxième nappe équimagnétique dont l'amplitude est accordée à une fréquence différente du champ électromagnétique, ce qui impose automatiquement l'emploi d'un deuxième générateur hyperfréquence.

La présente invention a justement pour objet une source d'ions multichargés à résonance cyclotronique électronique permettant de minimiser les effets de recombinaison par collision des ions sur les atomes neutres tout en évitant l'emploi d'un deuxième générateur hyperfréquence.

De façon plus précise, l'invention a pour objet une source d'ions multichargés comprenant une enceinte fermée contenant un gaz destiné à former un plasma confiné dans l'enceinte, des moyens pour engendrer dans l'enceinte un champ électromagnétique de haute fréquence, des moyens pour créer dans l'enceinte un ensemble de champs magnétiques locaux, radiaux et axiaux, définissant au moins une nappe équimagnétique permettant le confinement du plasma créé par la résonance cyclotronique électronique dont on a satisfait la condition sur ladite nappe, ledit ensemble présentant un axe de symétrie, et des moyens pour extraire les ions par un orifice, pratiqué dans les parois de l'enceinte et situé sur l'axe de symétrie, la source étant caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens pour diminuer, en dehors du volume occupé par le plasma confiné, l'amplitude des champs magnétiques axiaux locaux situés à proximité et légèrement en amont de l'orifice d'extraction dans n petites zones situées en dehors de l'axe de symétrie d'une part, et d'autre part, d'une façon plus globale dans tout le volume situé en aval dudit orifice; cette diminution permet de faire apparaître dans les n zones, de nouvelles résonances cyclotroniques électroniques ionisantes.

Selon un mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, les champs radiaux locaux étant créés au moyen de plusieurs barreaux aimantés, disposés symétriquement autour de l'enceinte et constitués chacun de plusieurs aimants élémentaires, les aimants élémentaires terminaux desdits barreaux, situés au niveau de l'orifice d'extraction, présentant une même polarité, constituent en partie les moyens de diminution de l'amplitude des champs magnétiques axiaux locaux.

De préférence, les barreaux aimantés sont réalisés en SmCo_5 , ce matériau présentant des propriétés remarquables d'anisotropie macroscopique et une grande rigidité magnétique.

De façon à augmenter ou moduler dans l'espace l'effet de la décroissance des champs magnétiques axiaux un blindage en fer accolé à l'enceinte extérieurement à celle-ci et au niveau de l'orifice d'extraction peut être avantageusement prévu. Ce blindage présente un axe de symétrie confondu avec celui dudit ensemble de champs magnétiques.

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 conformément à l'invention,
- la figure 2 représente schématiquement une coupe transversale, au niveau de l'orifice d'extraction des ions de la source de la figure 1,
- la figure 3 est une vue schématique comparable à la figure 1 illustrant la répartition des champs magnétiques locaux, et
- la figure 4 est une vue schématique illustrant l'influence supplémentaire d'un blindage en fer sur les variations d'amplitude des champs magnétiques axiaux selon l'axe de symétrie de la source.

Sur la figure 1, on a représenté schématiquement, en coupe longitudinale, une source d'ions à résonance cyclotronique électronique. Cette source comprend une enceinte fermée de confinement 2 qui constitue une cavité résonante. Cette enceinte 2 est réunie au moyen d'une canalisation 4 à une pompe à vide 5 permettant de créer un vide poussé dans l'enceinte. Cette enceinte 2 peut être excitée par un champ électromagnétique hyperfréquence produit par un générateur 6, ce champ étant introduit dans l'enceinte au moyen d'un guide d'ondes 8. Une conduite 10 permet d'introduire dans l'enceinte 2 un gaz ionisable.

Des bobines telles que 12, disposées autour de l'enceinte 2 permettent de créer dans ladite enceinte des champs magnétiques locaux, symbolisés par des flèches 16 et parallèles à un axe 18, qui peut être par exemple l'axe de symétrie de l'enceinte 2. De même, des barreaux aimantés 20, disposés tout autour de ladite cavité, permettent de créer des champs magnétiques locaux, symbolisés par les flèches 22 et situés radialement par rapport à l'axe 18. L'ensemble des champs magnétiques locaux, radiaux et axiaux, ayant pour axe de symétrie l'axe 18, permettent de définir des nappes «équimagnétiques» fermées telles que 23 (lieu des points où l'amplitude des champs magnétiques locaux présente la même valeur), n'ayant aucun contact avec les parois de l'enceinte 2. Sur une de ces nappes internes, la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite, condition explicitée précédemment.

L'existence d'une telle nappe résonante permet (voir brevet cité précédemment) d'ioniser fortement le gaz contenu dans l'enceinte 2 donnant ainsi naissance à un plasma d'électrons très énergétiques. Cette nappe permet aussi de confiner les ions et les électrons produits par ionisation du gaz. Grâce à ce confinement, les électrons créés ont le temps de bombarder plusieurs fois un même ion et de l'ioniser totalement.

Cette nappe résonante permet encore, et c'est fondamental, un pompage ionique in situ très efficace qui limite ipso facto les collisions destructrices d'échange de charge ions-atomes neutres à l'intérieur même du volume limité par cette nappe résonante.

Les ions fortement chargés ou multichargés ainsi formés peuvent ensuite être extraits de l'enceinte 2, comportant à cet effet un orifice d'extraction 24 situé sur l'axe de symétrie 18, par exemple au moyen d'une électrode 26 portée à un potentiel négatif à l'aide d'une source d'alimentation 28. Les ions ainsi extraits de l'enceinte 2 peuvent ensuite être sélectionnés suivant leur degré d'ionisation à l'aide de tout moyen connu utilisant un champ magnétique et/ou un champ électrique.

Afin de minimiser les effets destructeurs des collisions d'échange de charge précédemment décrits, mais cette fois entre la nappe résonante et l'orifice d'extraction, l'invention propose de diminuer l'amplitude des champs magnétiques axiaux locaux situés à proximité de l'orifice d'extraction 24 et plus précisément en aval de celui-ci, et légèrement en amont à proximité de l'axe de symétrie 18. Cette diminution des champs magnétiques axiaux locaux doit être effectuée en dehors du volume occupé par le plasma d'électrons, confiné à l'intérieur de la nappe équimagnétique telle que 23, la plus extérieure et non interceptée par la paroi, afin d'éviter toute modification de cette nappe aussi bien dans sa forme que dans son emplacement.

Cette diminution peut être réalisée de façon avantageuse en utilisant des barreaux aimantés 20 constitués de plusieurs aimants élémentaires accolés 30, réalisés de préférence en SmCo_5 , les aimants élémentaires terminaux 30a des différents barreaux 20, situés au niveau de l'orifice d'extraction 24 présentant une même polarité, ici une polarité nord (N), comme représenté sur les figures 1 et 2. Dans les sources d'ions de l'art antérieur, les polarités des aimants élémentaires terminaux 30a étaient en alternance soit nord soit sud. La polarité uniforme des aimants élémentaires 30a doit présenter le même nom ou polarité (figure 1) que celui de la face des bobines 12 situées à proximité desdits aimants, c'est-à-dire à proximité de l'orifice d'extraction 24.

Cette polarité uniforme des éléments 30a permet la formation de plusieurs calottes 32 équimagnétiques, sur lesquelles la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite. Les dimensions, donc l'efficacité de ces calottes 32 peuvent être modifiées en faisant varier légèrement l'amplitude des champs locaux radiaux produits par les bobines 12.

Le nombre de calottes équimagnétiques 32 dépend du nombre de barreaux aimantés 20. L'emploi de $2n$ barreaux aimantés, permet la formation de n calottes équimagnétiques. Dans le cas représenté sur la figure 2, on a pris n égal à trois. Ces calottes 32 situées dans la zone d'extraction des ions permettent de minimiser la recombinaison des ions avec les atomes neutres produits notamment sur les parois de l'enceinte proches de l'orifice d'extraction.

En effet, ces calottes obtenues par décroissance locale des champs magnétiques axiaux permettent, du fait de la résonance cyclotronique électronique réalisée sur leur surface, de créer localement des plasmas d'électrons assez

énergétiques pour ioniser au moins une fois les atomes neutres normalement présents au niveau de l'orifice d'extraction 24.

Sur la figure 2, les régions 32 représentent les zones dans lesquelles est réalisée la diminution des champs magnétiques locaux axiaux, conformément à l'invention.

Toujours sur cette figure 2, la zone 33 hachurée représente la zone de formation des atomes neutres responsables de l'échange de charge destructeur des ions.

La possibilité de diminuer l'amplitude des champs magnétiques locaux axiaux 16 (figure 1) au niveau de l'orifice d'extraction 24 en jouant sur la structure des barreaux aimantés 20 qui engendrent les champs magnétiques locaux radiaux 22 tient au fait que ces barreaux aimantés engendrent à leur extrémité, compte tenu des fuites magnétiques inévitables, des composantes magnétiques axiales.

Sur la figure 3, on a représenté les lignes de force magnétiques des champs de fuite axiaux engendrés aux extrémités des barreaux aimantés 20. Ces lignes de force magnétiques portent la référence 34. L'emploi d'aimants élémentaires terminaux 30a de même polarité (nord) au niveau de l'orifice d'extraction 24 permet, compte tenu du sens de circulation de la ligne de champ de fuite axial 34a, de diminuer fortement et localement les champs magnétiques axiaux créés principalement par les bobines 12, à proximité et légèrement en amont de l'orifice d'extraction, en dehors de l'axe de symétrie d'une part, et d'autre part, d'une façon plus globale, dans tout le volume situé en aval dudit orifice. Les zones de champs magnétiques axiaux faibles, au niveau de l'orifice 24, portent la référence 35.

De même, l'emploi de ces aimants élémentaires terminaux 30a permet, compte tenu du sens de circulation de la ligne de champ de fuite axial 34b, d'augmenter le champ magnétique axial créé par les bobines 12, en amont et assez loin de l'orifice d'extraction. Cette augmentation globale du champ magnétique axial permet d'éloigner la nappe équimagnétique résonante 23 de la zone d'extraction des ions et donc de diminuer le risque de voir cette nappe toucher les parois de l'enceinte.

Afin d'augmenter ou moduler dans l'espace, l'effet de la décroissance des champs magnétiques axiaux déjà obtenus par les aimants 30a, un blindage 36 en fer tel que représenté sur la figure 4, peut être accolé à l'enceinte 2, extérieurement à celle-ci et au niveau de l'orifice d'extraction 24. Ce blindage 36 en fer présente un axe de symétrie confondu avec l'axe 18. Ce blindage 36 permet d'accentuer la diminution des champs magnétiques axiaux locaux en aval de l'orifice 24 et notamment le champ magnétique local axial situé sur l'axe 18. Ce blindage 36 contribue ainsi à la formation et au positionnement des calottes équimagnétiques résonantes 32. Il est cependant à noter que l'emploi de ce blindage 36 seul, c'est-à-dire en l'absence d'aimants élémentaires terminaux 30a de même polarité, ne permettrait pas la

formation des calottes équimagnétiques résonantes. Les courbes a et b représentées sur la figure 4 illustrent respectivement l'amplitude des champs magnétiques sur l'axe 18 sans blindage 36 et avec blindage.

Revendications

1. Source d'ions multichargés comprenant une enceinte fermée (2) contenant un gaz destiné à former un plasma confiné dans l'enceinte, des moyens (6) pour engendrer dans l'enceinte (2) un champ électromagnétique de haute fréquence, des moyens (20, 12) pour créer dans l'enceinte un ensemble de champs magnétiques locaux, radiaux (22) et axiaux (16), définissant des nappes équimagnétiques (23) permettant le confinement du plasma créé par la résonance cyclotronique électronique dont on a satisfait la condition sur l'une de ledites nappes, ledit ensemble présentant un axe de symétrie (18), et des moyens (26) pour extraire les ions par un orifice (24), pratiqué dans la paroi de l'enceinte (2) et situé sur l'axe de symétrie (18), caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens (30a, 36) pour diminuer, en dehors du volume (23) occupé par le plasma confiné, l'amplitude des champs magnétiques axiaux locaux situés à proximité et légèrement en amont de l'orifice d'extraction (24), dans n petites zones (32) situées en dehors de l'axe de symétrie d'une part, et d'autre part, d'une façon plus globale dans tout le volume situé en aval dudit orifice.

2. Source d'ions selon la revendication 1, caractérisée en ce que les champs radiaux locaux (22) étant créés au moyen de plusieurs barreaux aimantés (20), disposés symétriquement autour de l'enceinte (2) et constitués chacun de plusieurs aimants élémentaires (30), les aimants élémentaires terminaux (30a) desdits barreaux, situés au niveau de l'orifice (24) d'extraction, présentant une même polarité (N), constituent en partie les moyens de diminution de l'amplitude des champs magnétiques axiaux locaux (16).

3. Source d'ions selon la revendication 2, caractérisée en ce qu'elle comprend un blindage en fer (36) présentant un axe de symétrie confondu avec celui dudit ensemble, ce blindage (36) étant accolé à l'enceinte (2), extérieurement à celle-ci et au niveau de l'orifice (24) d'extraction.

4. Source d'ions selon la revendication 2, caractérisée en ce que les barreaux aimantés (30) sont réalisés en SmCo_5 .

Claims

1. Multicharged ion source comprising a sealed enclosure (2) containing a gas for forming a plasma confined within said enclosure, means (6) for producing within the enclosure (2) a high frequency electromagnetic field, means (20, 12) for producing within said enclosure a group of axial (16) and radial (22), local magnetic fields defining equimagnetic surfaces (23) permitting the confinement of the plasma produced by electron cyclotron resonance whereof the condition has been

satisfied on one of said surfaces, said group having an axis of symmetry (18), and means (26) for extracting the ions through an orifice (24) made in the wall of the enclosure (2) and located on the axis of symmetry (18), characterized in that it comprises means (30a, 36) for reducing, outside the volume (23) occupied by the confined plasma, the amplitude of the local axial magnetic fields located in the vicinity of and slightly upstream of the extraction orifice (24), in n small zones (32) located outside the axis of symmetry on the one hand and on the other hand in a more total manner in the complete volume downstream of said orifice.

2. Ion source according to claim 1, characterized in that the local radial fields (22) are produced by means of several magnetic bars (20) arranged symmetrically around the enclosure (2) and each constituted by several elementary magnets (30), the terminal elementary magnets (30a) of said bars level with the extraction orifice (24) having the same polarity (N), so as to in part form the means for reducing the amplitude of the local axial magnetic fields (16).

3. Ion source according to claim 2, characterized in that it comprises an iron shield (36), whose axis of symmetry coincides with that of the group of fields, said shield (36) being joined to the enclosure (2), external thereof and level with the extraction orifice (24).

4. Ion source according to claim 2, characterized in that the magnetic bars (30) are made from SmCo_5 .

Patentansprüche

1. Quelle von mehrfach geladenen Ionen, mit einem geschlossenen Raum (2), welcher ein Gas für die Bildung eines in dem Raum zusammengehaltenen Plasmas enthält, einer Einrichtung (6) zum Erzeugen eines hochfrequenten elektromagnetischen Felds in dem geschlossenen Raum (2), Einrichtungen (20, 12) zum Erzeugen einer Symmetrieachse (18) aufweisenden Anordnung

von örtlichen, radialen und axialen Magnetfeldern (22 bzw. 16) in dem geschlossenen Raum, für die Bildung von Ebenen (23) gleicher magnetischer Feldstärke zum Einschliessen des durch die elektronische Zyklotronresonanz erzeugten Plasmas in der jeweiligen Sättigungsebene, und einer Einrichtung (26) zum Ausleiten der Ionen durch eine in der Wand des geschlossenen Raums (2) gebildete und in der Symmetrieachse (18) liegende Öffnung (24), gekennzeichnet durch Einrichtungen (30a, 36) zum Verringern der Amplitude der örtlichen axialen Magnetfelder ausserhalb des von dem eingeschlossenen Plasma eingenommenen Volumens (23), welche zunächst der Ausleitöffnung (24) und um ein kleines Stück vor der Eintrittsseite derselben in n kleinen Bereichen (32) ausserhalb der Symmetrieachse (18) einerseits, und andererseits in einer umfassenderen Form im gesamten Volumen an der Austrittsseite der Öffnung angeordnet sind.

2. Ionenquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die örtlichen radialen Magnetfelder (22) durch mehrere magnetische Stäbe (20) erzeugt werden, welche symmetrisch um den geschlossenen Raum (2) herum angeordnet und jeweils aus einer Anzahl von Elementarmagneten (30) gebildet sind, wobei die in Höhe der Ausleitöffnung (24) angeordneten jeweils letzten Elementarmagnete (30a) der Stäbe die gleiche Polarität (N) aufweisen und einen Teil der Einrichtungen zum Verringern der Amplitude der örtlichen axialen Magnetfelder (16) bilden.

3. Ionenquelle nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine aus Eisen gefertigte Abschirmung (36) aufweist, deren Symmetrieachse mit der der genannten Anordnung zusammenfällt, und welche in der Höhe der Ausleitöffnung (24) aussen an dem geschlossenen Raum (2) angebracht ist.

4. Ionenquelle nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetischen Stäbe (30) aus SmCo_5 gefertigt sind.

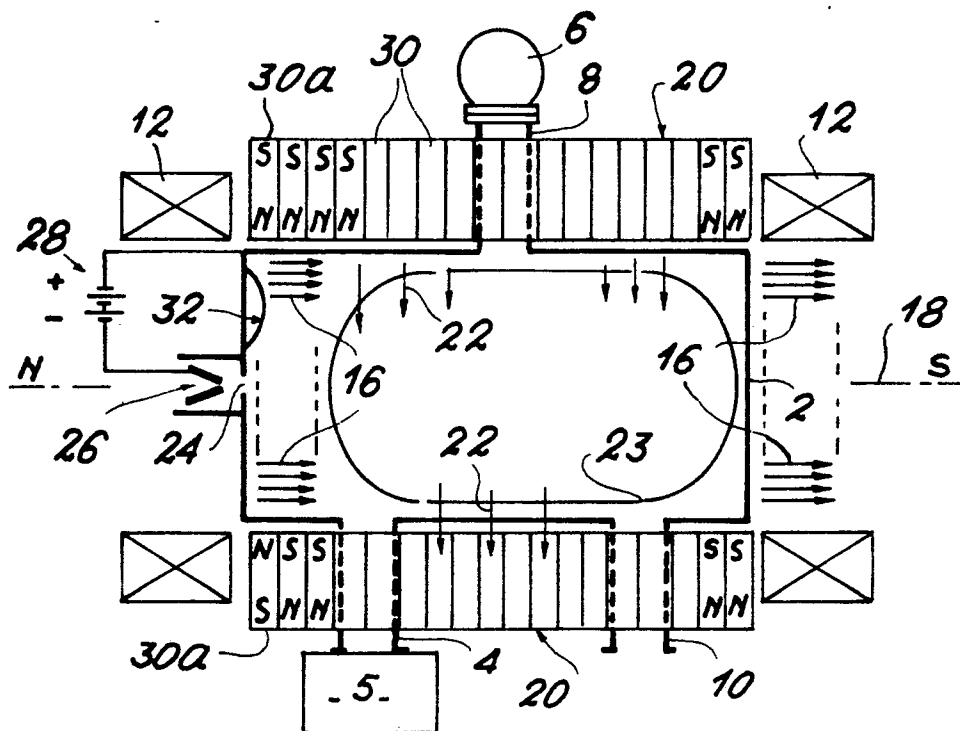


FIG.1

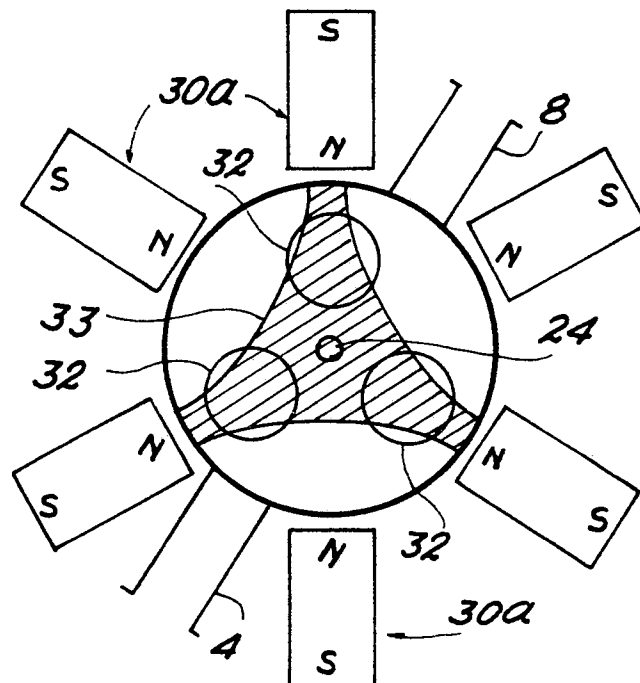


FIG.2

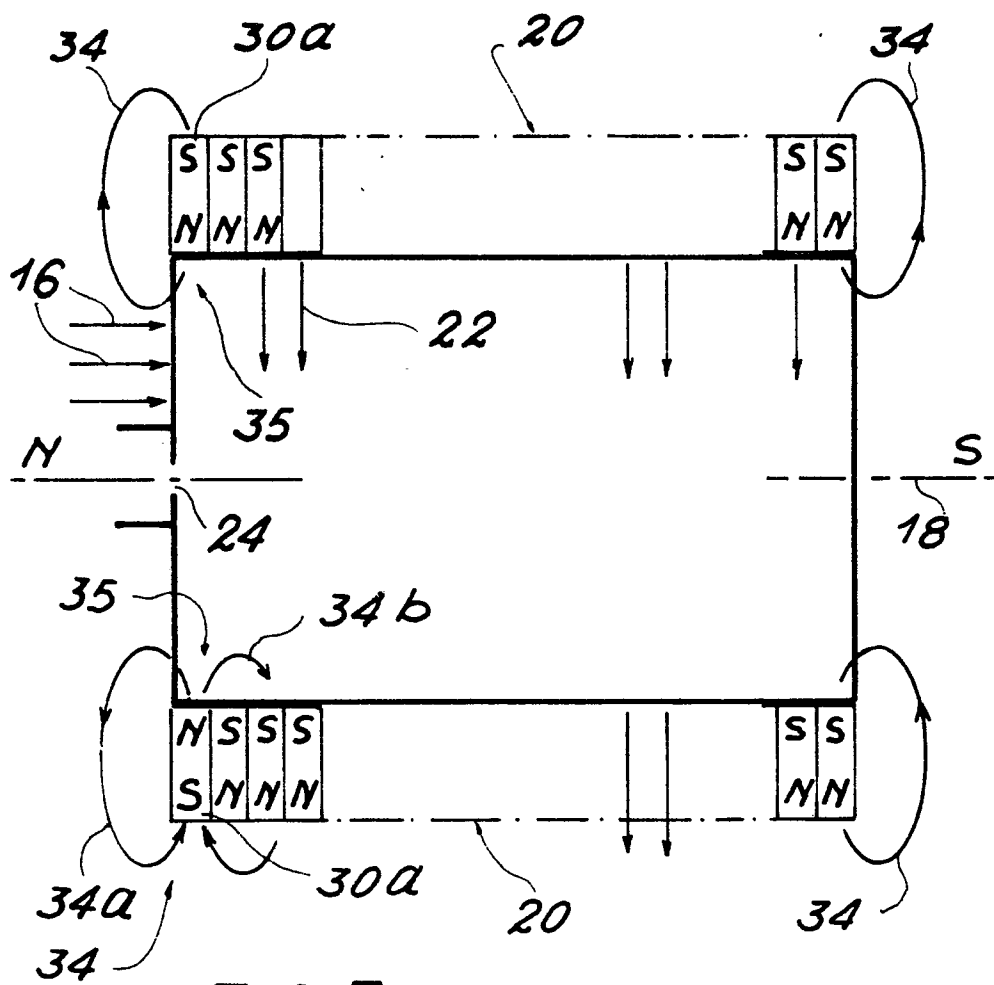


FIG. 3

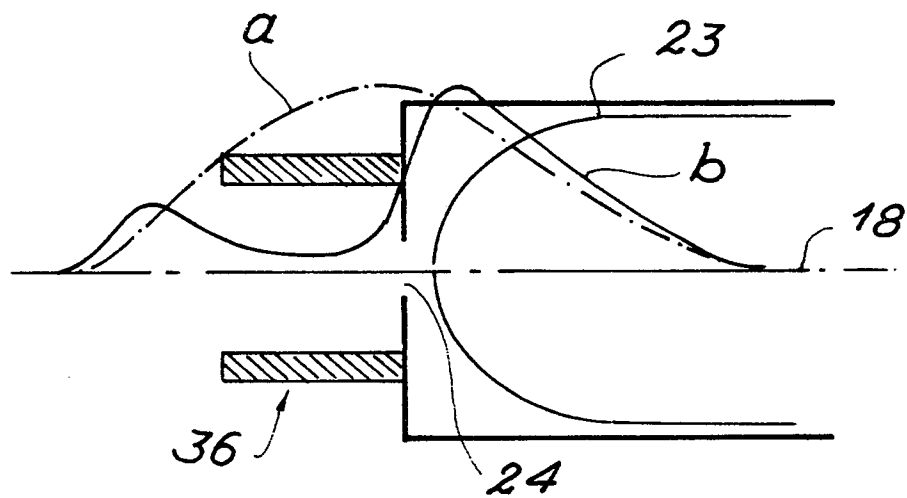


FIG. 4