

12

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: **84402460.4**

51 Int. Cl.<sup>4</sup>: **H 01 J 27/18**

22 Date de dépôt: **30.11.84**

30 Priorité: **07.12.83 FR 8319572**

71 Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**  
**Etablissement de Caractère Scientifique Technique et**  
**Industriel, 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 Egreve (FR)**

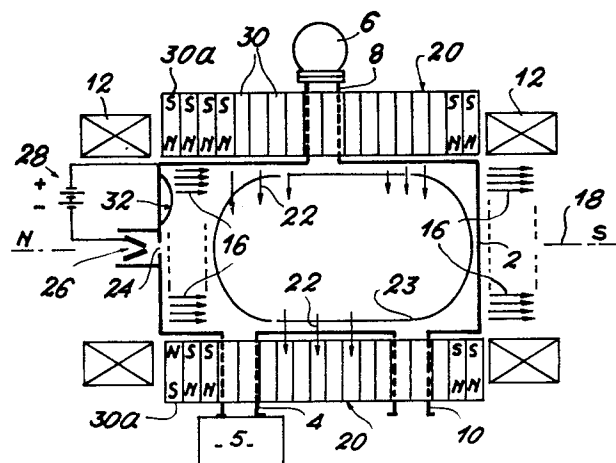
84 Etats contractants désignés: **DE GB NL**

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

54 **Source d'ions multichargés a plusieurs zones de resonance cyclotronique electronique.**

57 Sources d'ions multichargés à plusieurs résonances cyclotroniques électroniques.

La source comprend une enceinte fermée (2) contenant un gaz destiné à former un plasma confiné dans l'enceinte, des moyens (6) pour engendrer dans l'enceinte un champ électromagnétique de haute fréquence, des moyens (12, 20) 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, sur une de ces nappes, la condition de résonance cyclotronique électronique étant satisfaite, ledit ensemble présentant un axe de symétrie (18), des moyens (26) pour extraire les ions par un orifice (24) pratiqué dans la paroi de l'enceinte et situé sur l'axe de symétrie et des moyens (30a, 36) pour diminuer, en dehors du volume occupé par le plasma, l'amplitude des champs magnétiques axiaux locaux situés à proximité et légèrement en amont de l'orifice d'extraction (24) dans n zones (32) se trouvant en dehors de l'axe, de façon à faire apparaître dans ces zones, de nouvelles résonances cyclotroniques électroniques ionisantes.



Source d'ions multichargés à plusieurs zones de résonance cyclotronique électronique.

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 un brevet français n° 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  $\text{SmCo}_5$ , ce matériau présentant des propriétés remarquables d'anisotropie macroscopique et une grande rigidité magnétique.

5 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  
10 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 :  
15

- la figure 1 représente schématiquement, en coupe longitudinale, une source d'ions conformément à l'invention,

20 - 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  
25

- 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.

30 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 résonnante. Cette enceinte 2 est  
35 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  
5 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  
10 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  
15 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  
20 de ces nappes internes, la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite, condition explicitée précédemment.

L'existence d'une telle nappe résonnante 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  
30 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 résonnante permet encore, et  
35 c'est fondamental, un pompage ionique in situ très ef-

ficace qui limite ipso facto les collisions destructrices d'échange de charge ions-atomes neutres à l'intérieur même du volume limité par cette nappe résonnante.

5 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  
10 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.

15 Afin de minimiser les effets destructeurs des collisions d'échange de charge précédemment décrits, mais cette fois entre la nappe résonnante et l'orifice d'extraction, l'invention propose de diminuer l'amplitude des champs magnétiques axiaux locaux  
20 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  
25 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.

30 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  $\text{SmCo}_5$ , les aimants élémentaires terminaux 30a des différents barreaux 20,  
35 situés au niveau de l'orifice d'extraction 24 présen-

tant 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 alter-  
5 nance 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.

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

Le nombre de calottes équimagnétiques 32 dé-  
pend du nombre de barreaux aimantés 20. L'emploi de  $2n$   
20 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 mini-  
miser la recombinaison des ions avec les atomes neu-  
25 tres produits notamment sur les parois de l'enceinte  
proches de l'orifice d'extraction.

En effet, ces calottes obtenues par décrois-  
sance locale des champs magnétiques axiaux permettent,  
du fait de la résonance cyclotronique électronique  
30 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.

35 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.

5 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.

10 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.

15 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.

20 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'ex-

35

traction. Cette augmentation globale du champ magnétique axial permet d'éloigner la nappe équimagnétique résonnante 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 résonnantes 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 résonnantes. 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  
5 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 élec-  
tromagnétique de haute fréquence, des moyens (20, 12)  
pour créer dans l'enceinte un ensemble de champs ma-  
10 gnétiques locaux, radiaux (22) et axiaux (16), défi-  
nissant des nappes équimagnétiques (23) permettant le  
confinement du plasma créé par la résonance cyclotro-  
nique électronique dont on a satisfait la condition  
sur l'une d'elles, ledit ensemble présentant un axe de  
15 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  
20 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  
25 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)  
30 et constitués chacun de plusieurs aimants élémentaires  
(30), les aimants élémentaires terminaux (30a) desdits  
barreaux, situés au niveau de l'orifice (24) présen-  
tant une même polarité (N), constituent en partie les  
moyens de diminution de l'amplitude des champs magné-  
35 tiques 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'en-  
5 ceinte (2), extérieurement à celle-ci et au niveau de l'orifice (24).

4. Source d'ions selon la revendication 2, caractérisée en ce que les barreaux aimantés (30) sont réalisés en  $\text{SmCo}_5$ .

1/2

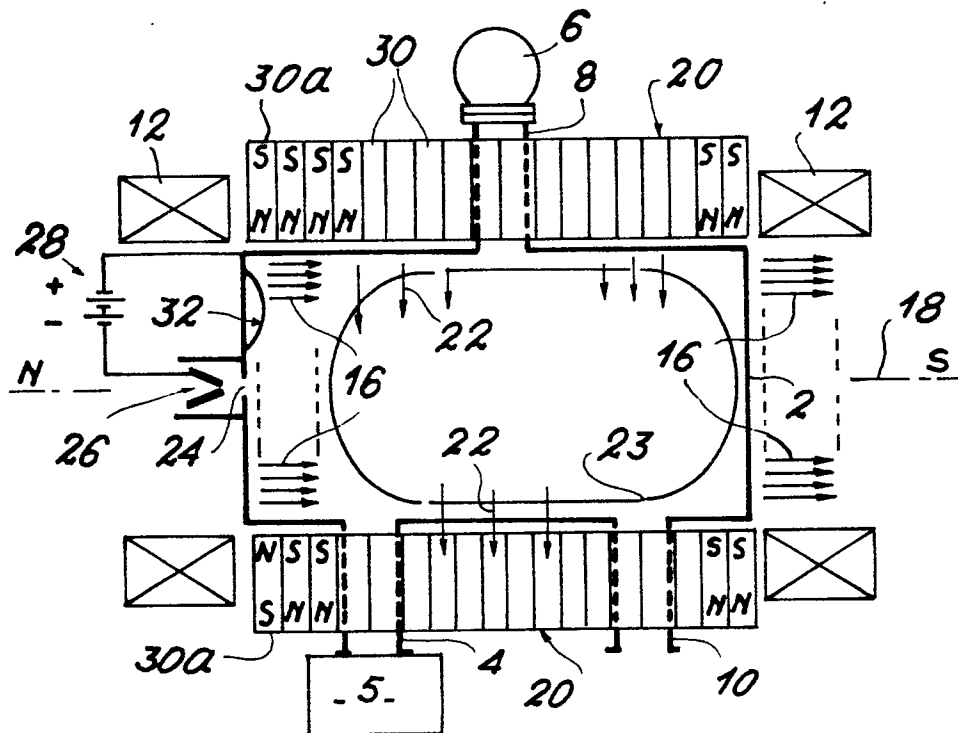


FIG. 1

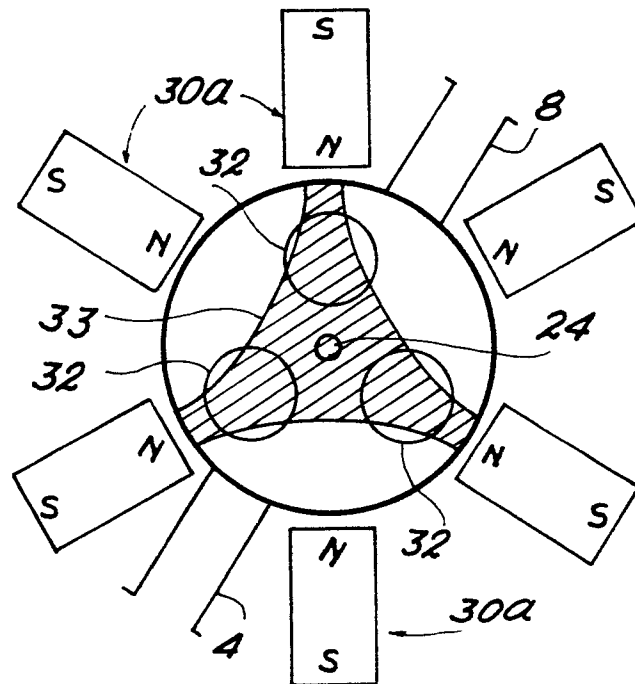


FIG. 2

2/2

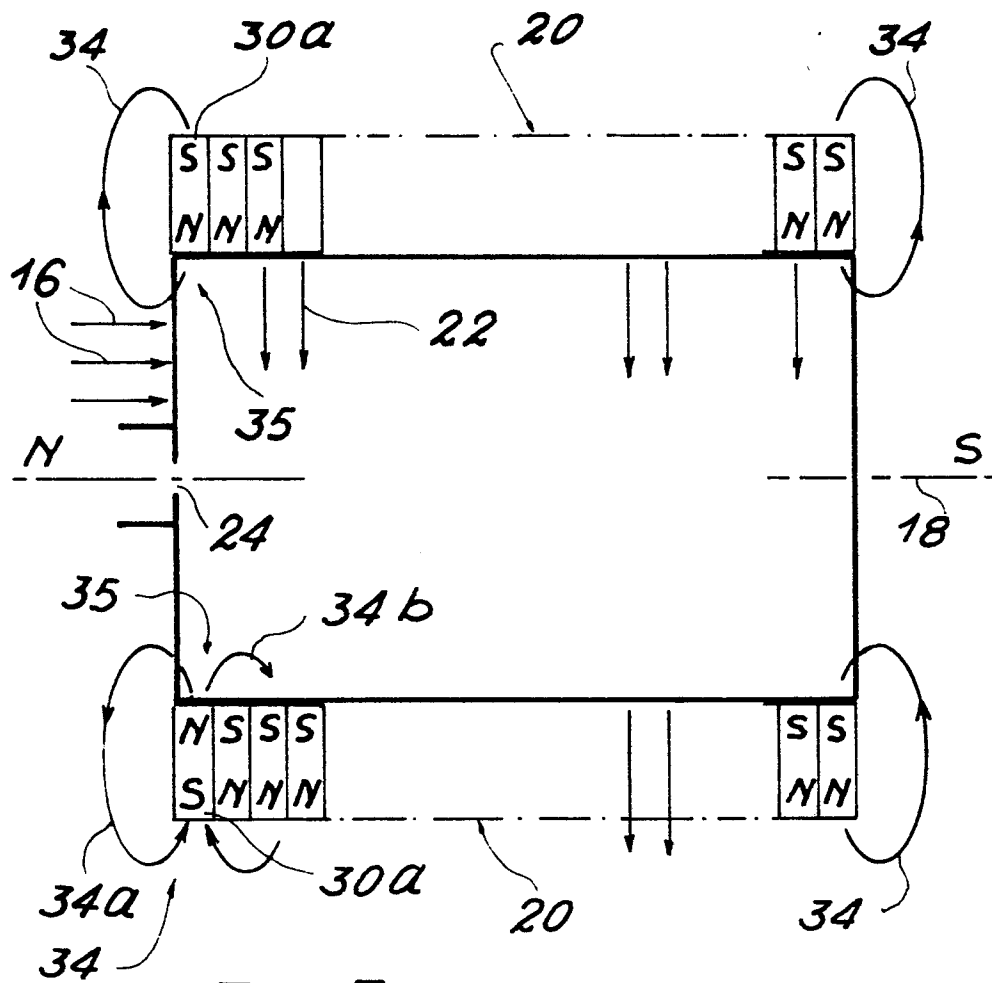


FIG. 3

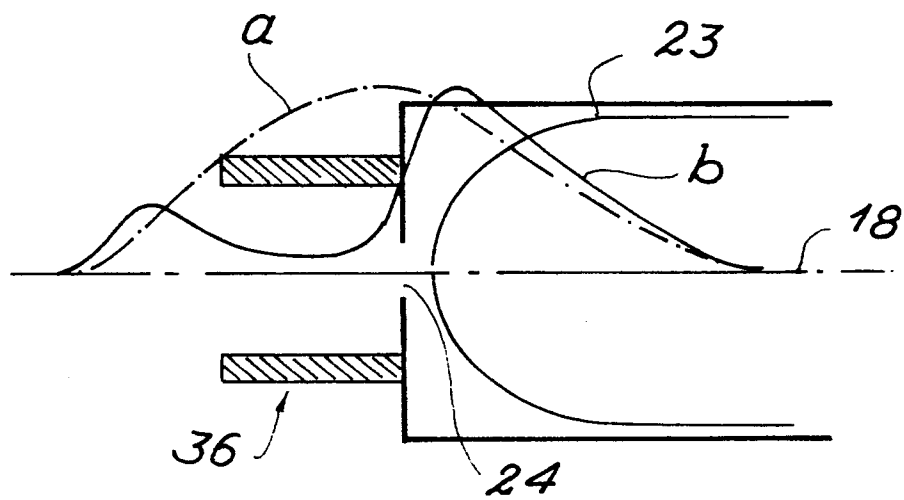


FIG. 4

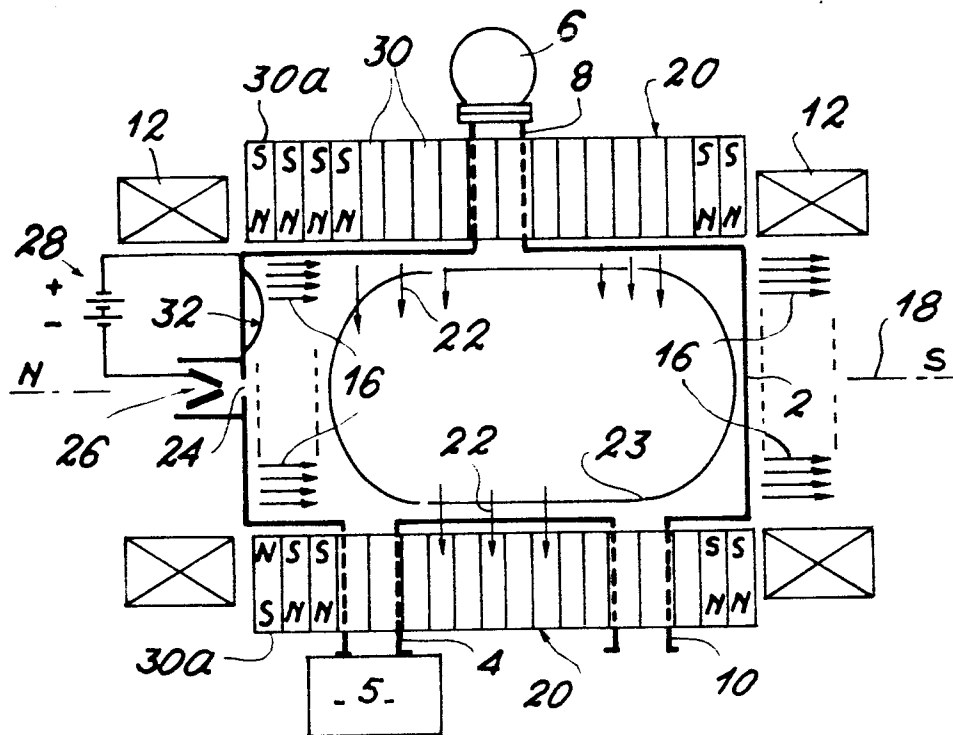


FIG.1