

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **88401255.0**

(51) Int. Cl. 4: **H 05 H 9/04**
G 21 K 5/04

(22) Date de dépôt: **24.05.88**

(30) Priorité: **26.05.87 FR 8707379**

(43) Date de publication de la demande:
21.12.88 Bulletin 88/51

(84) Etats contractants désignés:
BE CH DE GB IT LI NL SE

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

(72) Inventeur: **Gueguen, Jean-Pierre**
18, Avenue du Président Roosevelt
F-94550 Chevilly La Rue (FR)

N'Guyen, Annick
34 bis, rue de Villeziers
F-91440 Bures Sur Yvette (FR)

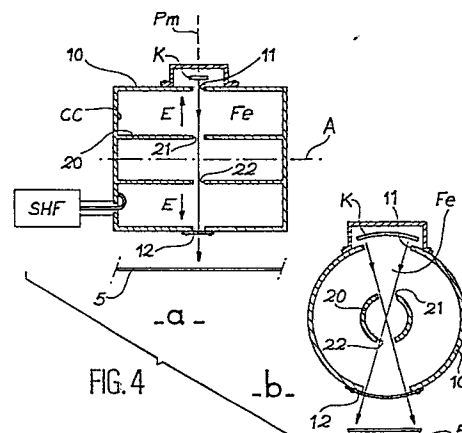
Pottier, Jacques
50, rue de Chateaufort
F-91400 Orsay (FR)

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

(54) **Accélérateur d'électrons à nappe.**

(57) Selon l'invention, on utilise une cavité coaxiale (CC) résonnant selon le mode fondamental et on injecte les électrons dans le plan médian perpendiculaire à l'axe.

Application à l'irradiations de substances diverses en bande.



Description

ACCELERATEUR D'ELECTRONS A NAPPE.

La présente invention a pour objet un accélérateur d'électrons à nappe. Elle trouve une application dans l'irradiation de diverses substances et notamment dans la polymérisation ou la réticulation de matériaux se présentant sous forme de feuilles ou de bandes.

On connaît déjà des accélérateurs d'électrons à nappe. La figure 1 en rappelle le principe. Une cloche à vide 2 comprend, à sa partie inférieure, une fenêtre de sortie 3, mise à la terre, et à sa partie supérieure, une cathode K soutenue par un isolateur 4. La cathode est reliée au pôle négatif d'une source HT de haute tension continue, de quelques centaines de milliers de volts. Un champ électrique E, dirigé vers la cathode accélère les électrons émis par celle-ci jusqu'à la fenêtre de sortie. Une nappe d'électrons est ainsi formée et accélérée. Elle vient bombarder une bande 5 qui défile sous la cloche.

Un tel dispositif présente de nombreux inconvénients. L'utilisation d'une tension de quelques centaines de kilovolts, oblige à supporter la cathode par des isolateurs de grande qualité. Il faut également prévoir une traversée étanche supportant une telle tension.

Si la cathode est rendue émissive par chauffage, il faut que la source de courant de chauffage soit elle-même à la haute tension ce qui n'est guère commode. On peut éventuellement remédier à cet inconvénient en rendant la cathode émissive par bombardement ionique à l'aide d'une source d'ions située au niveau de la fenêtre. Mais la complexité du dispositif s'accroît.

Pour éviter ces inconvénients, on peut penser accélérer les électrons par un champ haute fréquence et non plus électrostatique. Ce champ peut être établi dans une enceinte conductrice résonnante. La cathode peut alors être portée à un potentiel très voisin de celui de l'enceinte et il n'y a plus besoin de générateur ni d'isolateur haute tension. En outre la cathode peut être placée à l'extérieur de l'enceinte, ce qui facilite la maintenance de l'appareil généralement délicate sur les appareils électrostatiques.

Pour mettre en oeuvre ce concept d'accélérateur on peut penser utiliser une cavité résonnante parallélépipédique. Le mode de vibration intéressant est tel que le champ électrique, dirigé selon la plus petite dimension de la cavité, est constant selon cette direction, mais distribué sinusoïdalement selon les deux autres dimensions : il est maximum au centre et nul aux bords. En disposant une source d'électrons allongée selon la plus grande longueur, on pourrait accélérer les électrons par le champ résonnant ainsi établi.

Cette disposition simple présenterait cependant deux inconvénients :

1) le champ électrique n'est plus uniforme, mais présente un maximum au centre. Il en résulte que l'énergie atteinte finalement par les électrons est fonction de la trajectoire des électrons : l'énergie n'est plus uniforme dans

une section droite de la nappe.

2) Dans le plan médian de la cavité, au voisinage duquel se trouvent les trajectoires électroniques, il existe une composante transversale du champ magnétique. Ce champ dévie la trajectoire des électrons et cette déviation est fonction de la phase de l'onde. Le faisceau obtenu ne permet plus d'assurer une irradiation homogène.

La présente invention a justement pour but de remédier à ces inconvénients. A cette fin, elle propose un accélérateur d'électrons qui utilise une cavité dont la forme originale, dans cette application, permet d'obtenir un même champ accélérateur uniforme sans champ magnétique déviateur. Ce résultat est obtenu par l'utilisation d'une structure générale de forme coaxiale.

De façon précise, la présente invention a pour objet un accélérateur d'électrons nappe, comprenant une cathode linéaire émettant un faisceau d'électrons en forme de nappe, une structure accélératrice où règne un champ électrique dirigé dans le plan de la nappe, caractérisé par le fait que la structure accélératrice est une cavité coaxiale constituée d'un conducteur cylindrique extérieur et d'un conducteur cylindrique intérieur ayant même axe, cette cavité étant excitée par une source haute fréquence à la fréquence de résonance du mode fondamental, et par le fait que la cathode est contenue dans le plan médian de la cavité perpendiculaire à l'axe, le faisceau d'électrons émis par la cathode étant injecté dans la cavité dans ce plan médian, les cylindres extérieur et intérieur étant percés d'ouvertures, en forme d'arcs de cercle centrés sur l'axe de la cavité pour le passage du faisceau.

De toute façon les caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui suit. Cette description se réfère à des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, montre un dispositif de l'art antérieur,
- la figure 2 représente une cavité coaxiale résonnant selon le mode fondamental,
- la figure 3 permet d'illustrer une propriété de la cavité coaxiale relative à l'absence de champ magnétique dans le plan médian de la cavité,
- la figure 4 montre un accélérateur d'électrons selon l'invention,
- la figure 5 illustre une variante de l'invention utilisant des moyens de déflexion magnétique,
- la figure 6 illustre un premier mode de réalisation de moyens de déflexion magnétique,
- la figure 7 illustre un deuxième mode de réalisation de moyens de déflexion magnétique, et
- la figure 8 illustre une variante de réalisation à faibles pertes.

Sur la figure 2, on voit une cavité coaxiale CC constituée par un conducteur cylindrique extérieur

10, un conducteur cylindrique intérieur 20 et deux flasques 31 et 32. Une telle cavité possède un axe A et un plan médian Pm, perpendiculaire à l'axe. Parmi tous les modes de résonance possibles d'une telle cavité, il en est un, dit fondamental, de type transverse électrique, pour lequel le champ électrique E est purement radial dans le plan médian. Ce champ décroît de part et d'autre de ce plan pour venir s'annuler sur les flasques 31, 32. Inversement, le champ magnétique est maximum le long des flasques et s'annule dans le plan médian en changeant de sens.

Un tel mode peut être désigné, selon des conventions classiques, par TE₀₀₁, les initiales TE rappelant qu'il s'agit d'un mode où le champ électrique est transverse, où le premier indice "0" indique que le champ a la symétrie de révolution, le second indice "0" indique qu'il n'y a pas d'annulation du champ le long d'un rayon de la cavité, et le troisième indice de valeur "1" indique qu'il y a une demi-alternance du champ dans une direction parallèle à l'axe.

Une telle cavité peut être alimentée par une source haute fréquence SHF couplée à la cavité par une boucle 34.

Selon l'invention, la nappe d'électrons est injectée dans la cavité coaxiale dans le plan médian de celle-ci. C'est en effet dans ce plan qu'il n'existe aucun champ parasite susceptible de dévier le faisceau. Comme ce point est primordial on peut s'y arrêter. Sur la partie a de la figure 2, on voit la cavité en coupe transversale dans le plan médian. Les champs électriques E1 et E2 sont égaux le long de deux rayons distincts. Un contour 17 est défini par ces deux rayons et par deux arcs de cercle le long desquels le champ électrique est radial. La circulation du champ électrique (c'est-à-dire l'intégrale de ce champ) est nulle le long de ce contour. En conséquence, le flux de l'induction magnétique à travers une surface s'appuyant sur ce contour est nul lui aussi. En d'autres termes, il n'y a pas de composante magnétique perpendiculaire au plan médian.

Sur la partie b de cette même figure 2, on voit la cavité en coupe longitudinale. Le champ électrique étant symétrique par rapport au plan médian, les champs E3 et E4 le long de deux rayons infiniment proches et situés de part et d'autre de ce plan, sont égaux. La circulation du champ électrique le long d'un contour 18 constitué par ces deux rayons et par deux branches longitudinales, est nulle. En conséquence, le flux de l'induction à travers une surface s'appuyant sur ce contour est nul lui aussi. En d'autres termes, il n'y a pas de composante magnétique dans le plan médian.

Ainsi, il n'y a aucune composante magnétique dans le plan médian Pm, ce qui revient à dire, de manière imagée, que le plan médian de la cavité est une zone purement capacitive. Dans ce plan, le faisceau d'électrons ne sera donc soumis à aucune force déviatrice.

La figure 4 montre, de façon schématique, un accélérateur à nappe conforme à l'invention. La partie a est une coupe longitudinale et la partie b une coupe dans le plan médian de la cavité. Le dispositif

comprend une cathode K, une cavité coaxiale CC, formée d'un conducteur cylindrique extérieur 10 et d'un conducteur cylindrique intérieur 20 ayant même axe A. La cathode est en forme d'arc de cercle centré sur l'axe A de la cavité et elle est située dans le plan médian Pm de celle-ci.

Le fonctionnement de ce dispositif est le suivant. La cathode K émet un faisceau d'électrons Fe dirigé dans le plan médian Pm de la cavité coaxiale CC. Le faisceau pénètre dans la cavité par une ouverture 11, en forme de fente, percée dans le conducteur extérieur. Le conducteur intérieur 20 est percé de deux ouvertures 21 et 22, elles aussi en forme de fentes et symétriques par rapport à l'axe. Le faisceau d'électrons est accéléré par le champ électrique qui règne dans la cavité coaxiale, si certaines conditions de phase sont satisfaites. Le faisceau sort de la cavité par une ouverture 12, en forme de fente, percée dans le conducteur extérieur et diamétralement opposée à l'ouverture 11. Le faisceau accéléré vient irradier la bande 5 qui défile sous la cavité.

Le caractère coaxial de la structure d'accélération entraîne que, à chaque instant, le champ électrique n'a pas le même sens dans la première et dans la seconde moitié du trajet emprunté par les électrons, autrement dit le long de rayons qui vont du conducteur extérieur au conducteur intérieur, puis le long des rayons qui vont du conducteur intérieur au conducteur extérieur. Mais le champ est à haute fréquence (quelques centaines de MHz). Il s'inverse périodiquement. On injecte donc le faisceau d'électrons de manière telle que le champ électrique s'annule et change de sens au moment où les électrons traversent le conducteur central. le temps mis par les électrons pour passer d'un conducteur à l'autre doit donc être inférieur la demi-période du champ ; le temps mis par les électrons pour traverser la totalité de la cavité est donc inférieur à la période du champ.

On observera que l'utilisation d'une structure coaxiale permet d'obtenir une propriété remarquable qui est l'uniformité de l'accélération dans la nappe électronique. En effet, chaque électron émis par la cathode en direction de l'axe de la cavité va suivre une trajectoire radiale dans cette cavité et se trouver soumis à un champ accélérateur dirigé selon cette trajectoire. Par ailleurs, ce champ est le même quel que soit le rayon emprunté dans le secteur angulaire défini par la nappe. Ainsi, à la sortie de la cavité, tous les électrons auront subi la même accélération et posséderont donc la même énergie.

Si l'on veut irradier un matériau se présentant en forme de bande, la dose n'est en toute rigueur homogène que si la bande est disposée de façon à épouser la forme d'un cylindre coaxial à la cavité (par un système de galets par exemple).

Si l'on utilise une bande plate, d'une part l'intensité du rayonnement décroît comme le cosinus de l'angle d'incidence et d'autre part la direction du rayonnement n'est plus perpendiculaire à la surface et la pénétration est moins grande. Mais ces effets se compensent en partie : à la surface, la dose reçue est sensiblement la même. Par contre, la

profondeur traitée reste proportionnelle au cosinus de l'angle d'incidence.

Pour obtenir une pénétration uniforme on peut rendre, en dehors de la cavité, toutes les trajectoires électroniques sensiblement parallèles à la trajectoire médiane et cela par deux aimants, comme représenté sur la figure 5. Sur cette figure, on voit un ensemble de déflexion M1 (ou M2) constitué par deux paires d'aimants dont les formes sont représentées sur les figures 6 et 7.

Sur ces figures, la partie a est une coupe perpendiculaire au plan médian et la partie b est une coupe dans le plan médian, donc dans le plan du faisceau électronique.

Pour les aimants de type M représentés sur la figure 6, les pièces polaires 41-42, d'une part, et 43-44, d'autre part, définissent deux entrefers aux bords parallèles. Les aimants ont une épaisseur qui croît lorsqu'on s'éloigne du plan médian Pm (partie b). Le trajet parcouru par les électrons entre les pièces polaires est donc plus long pour les électrons qui suivent des trajectoires éloignées du plan médian que pour les trajectoires proches de ce plan. L'action du champ magnétique est donc prolongée pour les premiers et abrégée pour les seconds. Les trajectoires fortement inclinées sont donc davantage courbées que les autres, ce qui donne au faisceau des trajectoires parallèles.

Sur la figure 7 est illustrée une autre variante de ces moyens de déflexion. Les pièces polaires 51-52, d'une part, et 53-54, d'autre part, définissent des entrefers qui se resserrent lorsqu'on s'éloigne de l'axe. Le champ magnétique entre de telles pièces polaires va croissant lorsqu'on s'éloigne vers l'extérieur. On retrouve ainsi une plus grande déflexion pour les trajectoires situées loin du plan médian que pour les trajectoires près de celui-ci.

Les principes de l'invention ayant été exposés, quelques données numériques vont maintenant être précisées, en ce qui concerne les dimensions et la valeur de l'impédance-shunt efficace. On sait que cette dernière grandeur, caractéristique significative de la qualité du transfert d'énergie aux électrons accélérés est égale au rapport du carré de l'énergie transférable à un électron (exprimée en électron-volt) à la puissance perdue par effet Joule dans la cavité.

Le calcul montre que, pour une machine de 400 keV, l'optimum est obtenu pour $R_2 \approx 0,265 \lambda$ et $R_1 \approx (R_2/5)\lambda$, étant la longueur d'onde. La longueur de la cavité est $L = \lambda/2$.

Dans ces conditions, on trouve par exemple pour une fréquence de 180 MHz $\lambda = 1,67\text{m}$, $R_2 = 0,44\text{m}$, $Z_{s\text{ eff}} = 6,25\text{ M}\Omega$, $L = 0,835\text{m}$.

Les impédances-shunt obtenues en pratique sont quelque peu inférieures (typiquement 30%) aux valeurs calculées.

Il en résulte que la puissance dissipée dans la cavité serait voisine de 33 kW pour une machine de 400 keV.

Les dimensions et la puissance perdues sont très modestes.

On voit que l'optimum est obtenu pour $(R_2/R_1) \approx 5$.

On peut observer par ailleurs qu'il est possible de

diminuer les pertes ohmiques dues aux courants circulant dans les flasques de la cavité en modifiant la forme du conducteur intérieur, comme illustré sur la figure 8. Le conducteur intérieur 20 se termine par deux parties tronconiques 33 et 35. L'inductance de la cavité s'en trouve diminuée. Pour conserver la même fréquence de résonance, il faut allonger un peu la cavité.

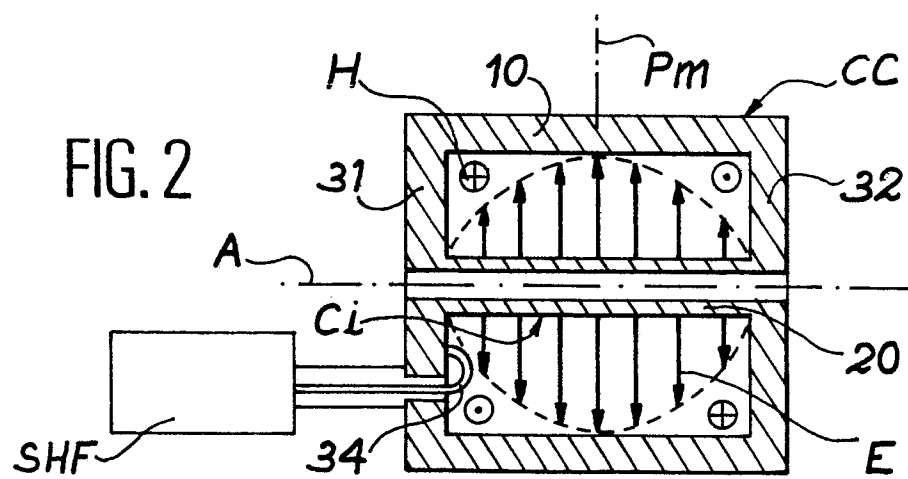
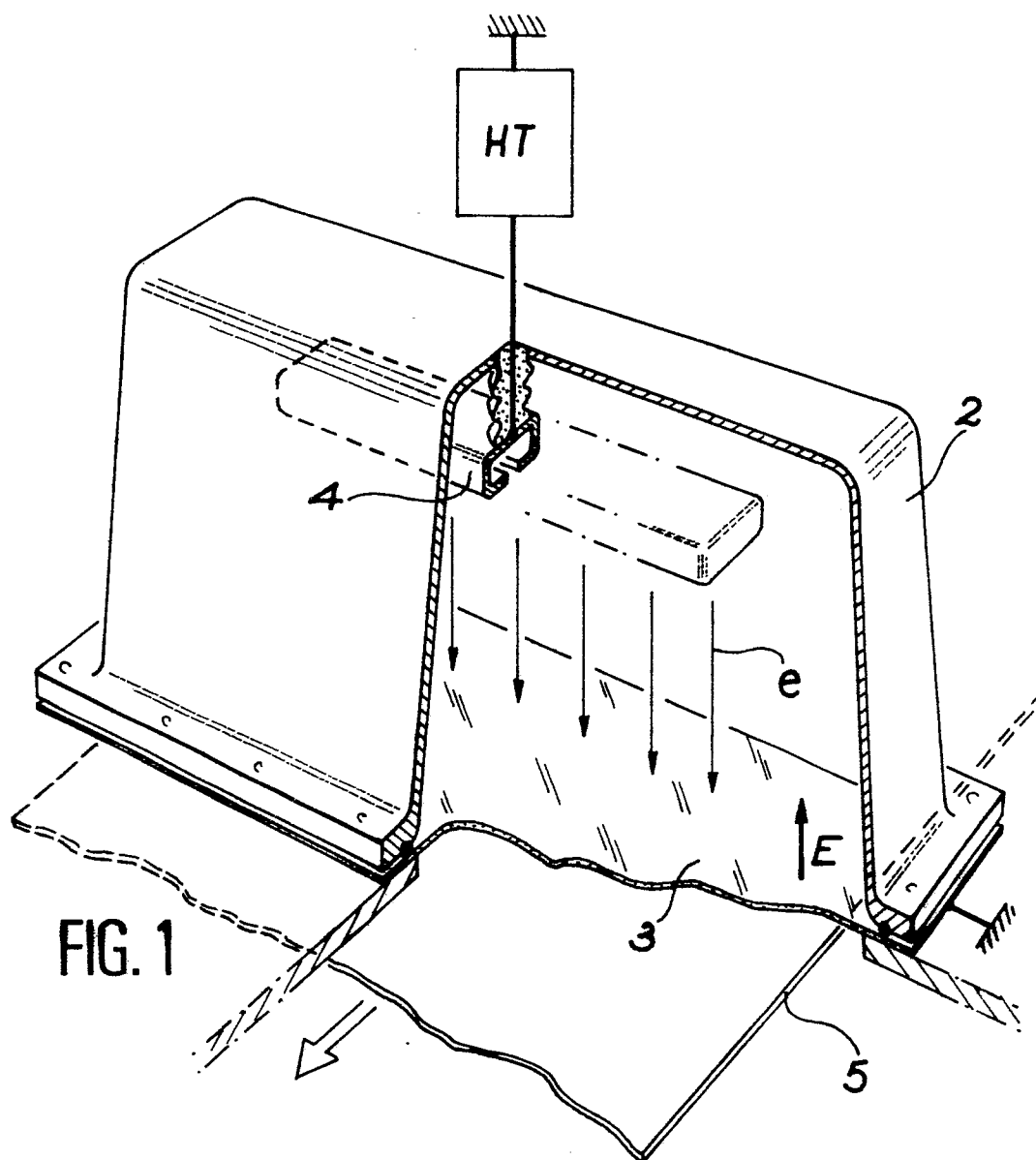
Le bénéfice tiré d'une telle disposition en ce qui concerne l'impédance-shunt n'est pas très important (de l'ordre de 10%). Toutefois, cette disposition présente l'avantage de diminuer fortement la puissance maximale dissipée par unité de surface (2 à 4 fois moins qu'avec la cavité coaxiale) ce qui peut être intéressant pour faciliter le refroidissement et diminuer des effets gênants (flèche, tensions internes, etc.) dus au gradient thermique dans les parois.

Revendications

1. Accélérateur d'électrons à nappe, comprenant une cathode linéaire (K) émettant un faisceau d'électrons (Fe) en forme de nappe, une structure accélératrice où règne un champ électrique (E) dirigé dans le plan de la nappe, caractérisé par le fait que la structure accélératrice est une cavité coaxiale (CC) constituée d'un conducteur cylindrique extérieur (10) et d'un conducteur cylindrique intérieur (20) ayant même axe (A), cette cavité étant excitée par une source haute fréquence (SHF) à la fréquence de résonance du mode fondamental, et par le fait que la cathode (K) est contenue dans le plan médian (Pm) de la cavité perpendiculaire à l'axe, le faisceau d'électrons (Fe) émis par la cathode (K) étant injecté dans la cavité dans ce plan médian, les cylindres extérieur (10) et intérieur (20) étant percés d'ouvertures (11, 12, 21, 22), en forme d'arcs de cercle centrés sur l'axe de la cavité pour le passage du faisceau (Fe).

2. Accélérateur d'électrons selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le conducteur central (20) présente des extrémités tronconiques (33, 35).

3. Accélérateur selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il comprend en outre, à la sortie du faisceau, un moyen de déflexion magnétique (M1, M2) des électrons constitué de deux circuits magnétiques symétriques à entrefer (41, 42, 43, 44 et 51, 52, 53, 54), les bords latéraux du faisceau traversant respectivement ces deux entrefers, ces entrefers étant tels que l'action du champ magnétique sur les électrons soit d'autant plus marquée que les électrons sont plus éloignés du centre du faisceau.



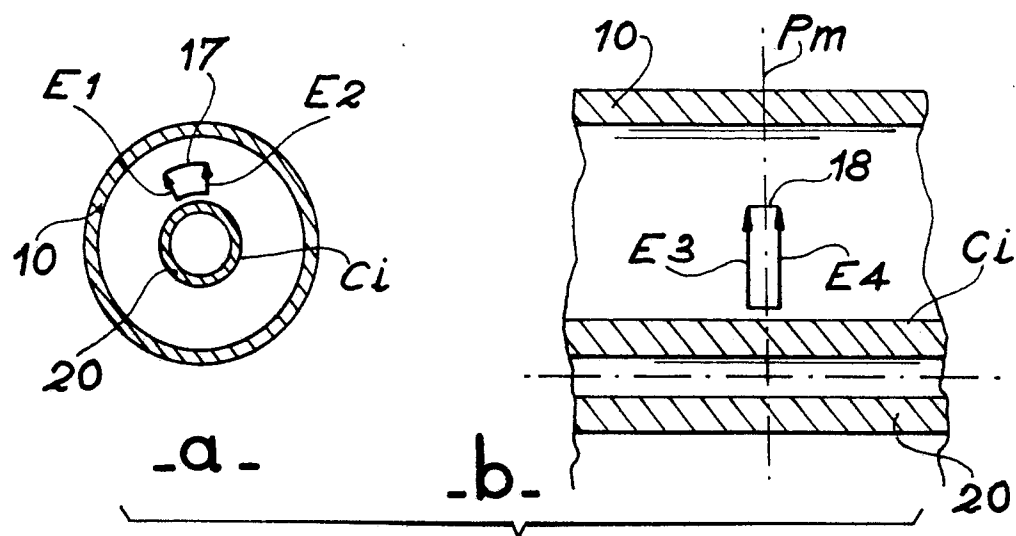


FIG. 3

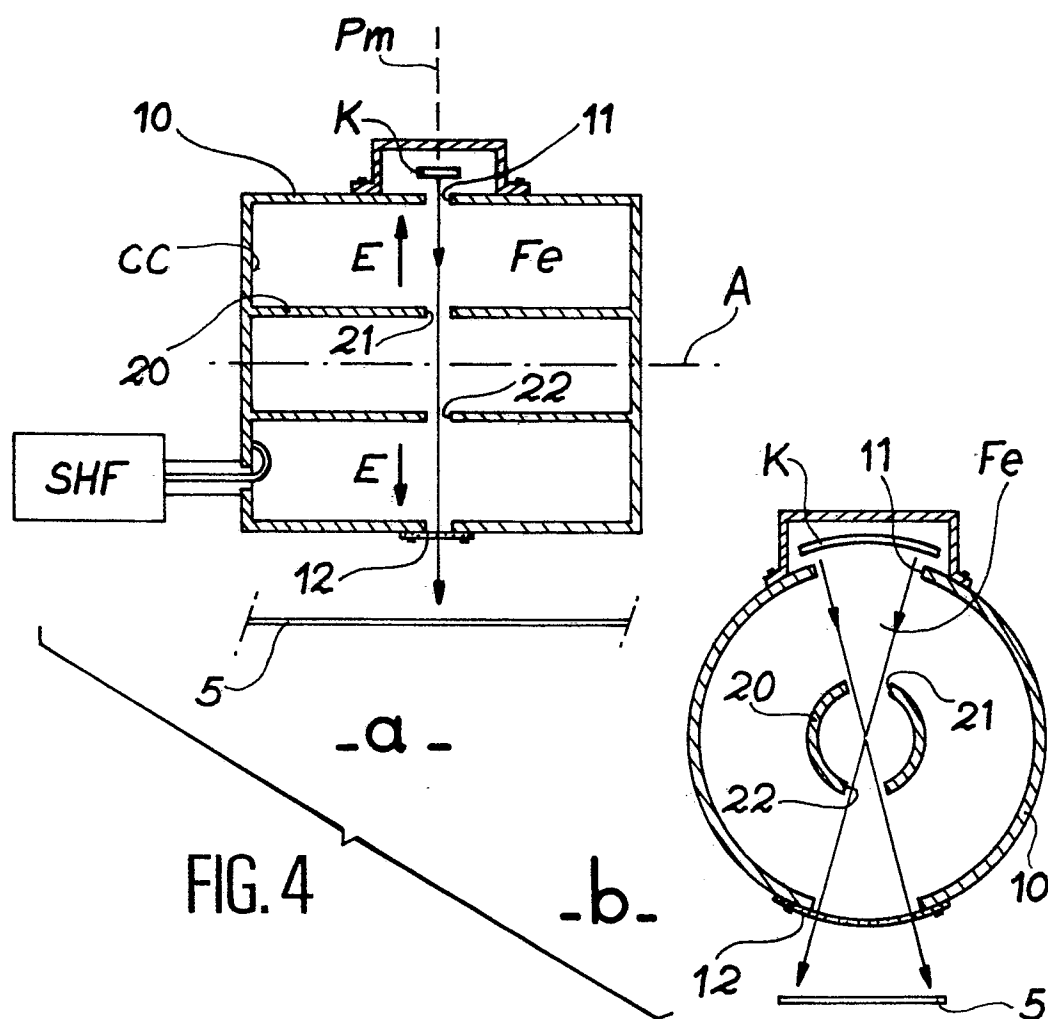


FIG. 4

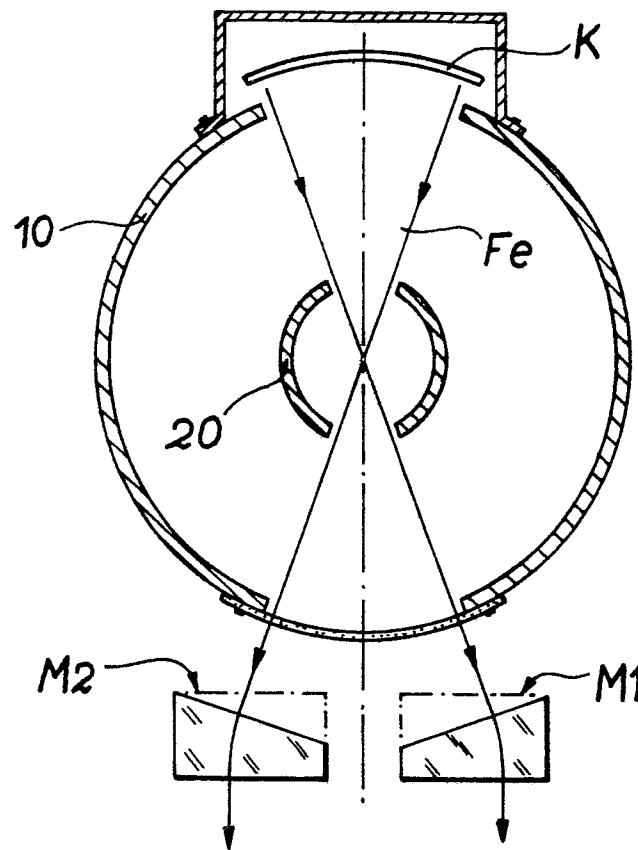


FIG. 5

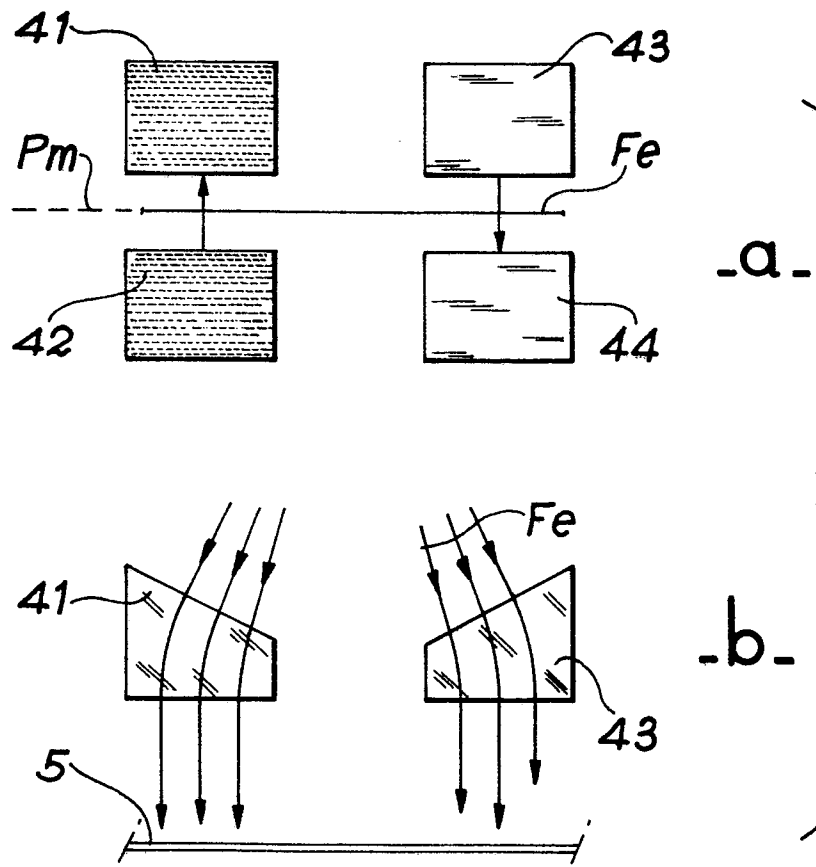


FIG. 6

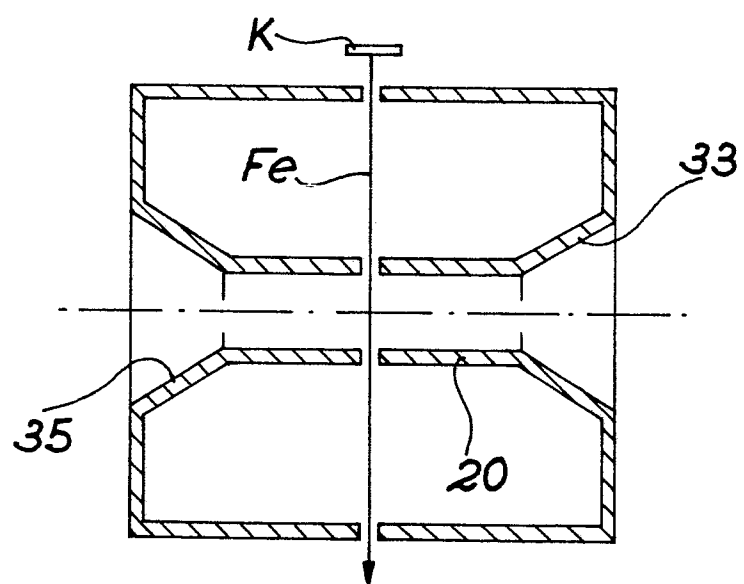
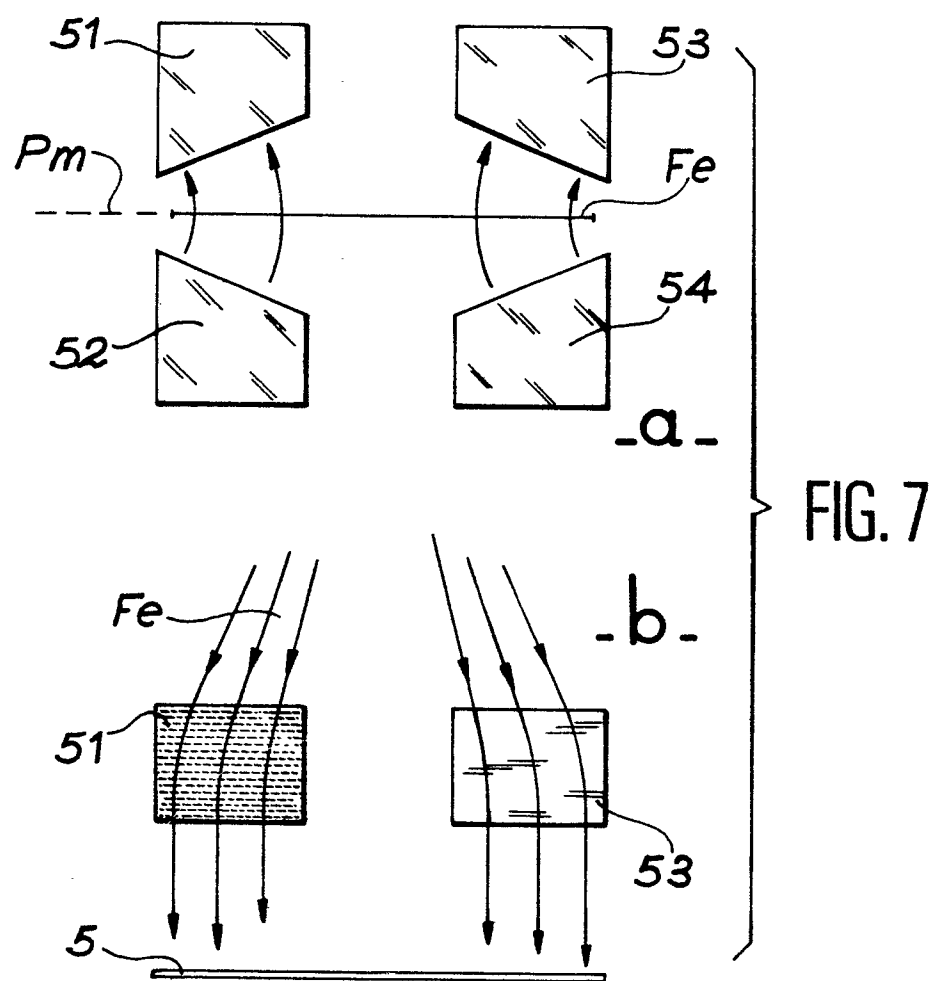


FIG. 8



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 88 40 1255

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
A	EP-A-0 186 558 (C.E.A.) * Figure 1; colonne 3, lignes 16-52 * ---	1	H 05 H 9/04 G 21 K 5/04
A	US-A-3 833 814 (NABLO) * Figure 3; colonne 3, lignes 52-53 * ---	1	
A	FR-A-1 136 936 (MAIER-LEIBNITZ) * Figure 4; page 3, colonne de droite, lignes 6-19; page 4, colonne de droite, alinéa 3; page 6, colonne de gauche, lignes 19-27 * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			H 05 H G 21 K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 29-08-1988	Examineur FRITZ S.C.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	