

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
25 juin 2009 (25.06.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/077407 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01J 23/00 (2006.01) **H01J 23/087** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2008/067236

(22) Date de dépôt international :
10 décembre 2008 (10.12.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0708741 14 décembre 2007 (14.12.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 45, rue de Villierssmann, F-92526
Neuilly-sur-Seine (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **DURAND, Alain** [FR/FR]; 12, Avenue Colombier Bernard, F-92250 La Garenne Colombes (FR). **LE CLAIR, Alain** [FR/FR]; 14 rue du Général Exelmans, F-78140 Vélizy-Villacoublay (FR).

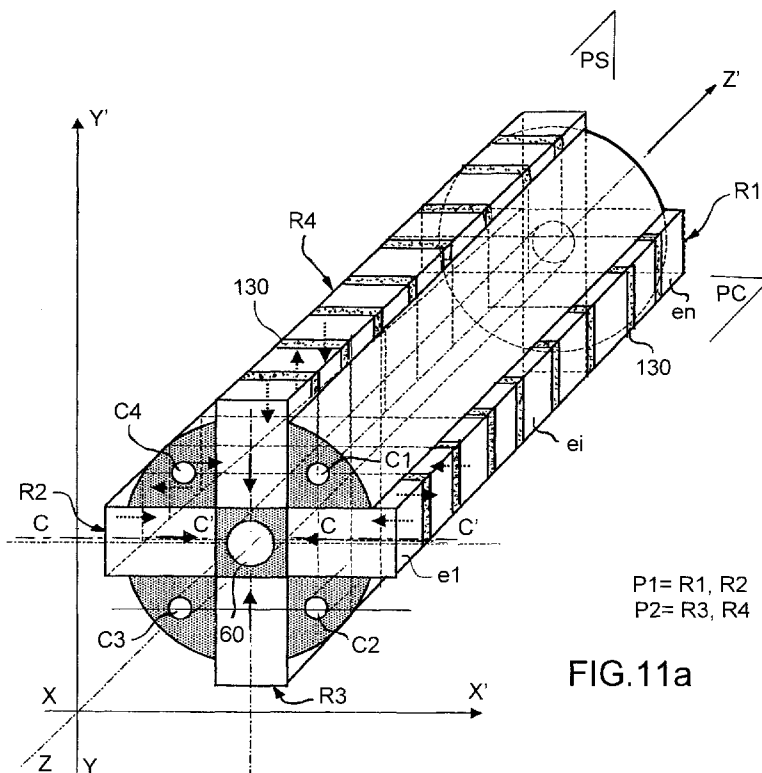
(74) Mandataire : **LUCAS, Laurent; MARKS & CLERK** France, Immeuble "Visium", 22, Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MICROWAVE STRUCTURE FOR MICROWAVE TUBE BEAM CONFINEMENT DEVICE WITH PERMANENT MAGNETS AND ENHANCED COOLING

(54) Titre : STRUCTURE HYPERFREQUENCES POUR TUBE MICROONDES AVEC DISPOSITIF DE CONFINEMENT DU FAISCEAU A AIMANTS PERMANENTS ET REFROIDISSEMENT AMELIORE



(57) Abstract: The invention relates to a microwave structure for a microwave tube, that comprises a vacuumed cylindrical envelope (60) and a device for confining an electron beam in the revolution axis ZZ' of the cylindrical envelope. The confinement device includes at least two rows R1, R2..., Rp, of n confinement permanent magnets each, each row being aligned on either side of and at the same distance from the beam confinement axis ZZ', the n confinement permanent magnets e1, e2,...ei,...en, where i is an integer between 1 and n and n is equal to or higher than three, having parallelepiped shapes and having a magnetic polarisation perpendicular to one edge thereof in a plane transverse to the axis ZZ', their magnetisation direction in the row changing alternatively from one confinement magnet ei to another following ei+1 or preceding ei-1 magnet in order to generate an alternated periodic magnetic field along the confinement axis ZZ'. The invention can be used in microwave tubes, propeller or coupled-cavity TWTs, and klystrons.

(57) Abrégé : L'invention concerne une structure hyperfréquences pour tube micro-ondes comportant une enveloppe cylindrique sous vide (60) et un dispositif de confinement d'un faisceau d'électrons dans l'axe de révolution ZZ' de l'enveloppe cylindrique, Le dispositif de confinement comporte au moins deux rangées R1, R2..., Rp, de n aimants permanents

[Suite sur la page suivante]



LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

de confinement chacune, chaque rangée étant alignée de part et d'autre et à égale distance de l'axe de confinement ZZ' du faisceau, les n aimants permanents de confinement e1, e2,...ei,...en, i étant un nombre entier compris entre 1 et n, n étant supérieur ou égal à trois, étant de formes parallélépipédiques et ayant une polarisation magnétique parallèle à une des ses arêtes dans un plan transverse à l'axe ZZ', leur sens d'aimantation dans la rangée, changeant alternativement d'un aimant de confinement ei à un autre suivant ei+1, ou précédent ei-1, pour créer un champ magnétique périodique alterné le long de l'axe de confinement ZZ'. Applications : tubes hyperfréquences, TOP à hélice ou à cavités couplées, klystrons.

**STRUCTURE HYPERFREQUENCES POUR TUBE MICROONDES AVEC
DISPOSITIF DE CONFINEMENT DU FAISCEAU A AIMANTS
PERMANENTS ET REFROIDISSEMENT AMELIORE**

5

L'invention concerne une structure hyperfréquence pour tube micro-ondes comportant un dispositif de confinement à aimants permanents d'un faisceau d'électrons du tube avec une configuration telle qu'elle permette un refroidissement amélioré de ladite structure.

10

Un tube hyperfréquence comporte une structure hyperfréquence traversée par un faisceau d'électrons généré par un canon à électrons. Le faisceau d'électrons est confiné dans un espace où se produit l'interaction entre les électrons du faisceau et une onde électromagnétique (progressive ou stationnaire) dont la configuration du champ est déterminée par la structure hyperfréquence du tube : des cavités résonantes dans le cas du klystron et une ligne à retard dans le cas d'un tube à ondes progressive (TOP).

Dans la plupart des tubes électroniques hyperfréquences un champ magnétique est utilisé pour confiner le faisceau dans l'espace d'interaction avec l'onde hyperfréquence. Les tubes les plus répandus, comme les tubes à ondes progressives (TOP) et les klystrons, utilisent un faisceau d'électrons de géométrie cylindrique, ce qui nécessite un champ magnétique parallèle à l'axe du faisceau d'électrons.

Le champ magnétique de confinement du faisceau peut être généré par un solénoïde, ou à l'aide d'aimants permanents autour de la structure hyperfréquences du tube. L'utilisation d'aimants permanents supprime l'alimentation électrique du solénoïde, mais nécessite un aimant permanent de fort volume (donc très lourd) pour générer un champ magnétique avec une seule alternance dans l'espace d'interaction. On entend par alternance un sens déterminé du champ magnétique de confinement du faisceau.

Pour réduire le volume et la masse de l'aimant permanent on utilise un champ magnétique alterné généré par une suite d'aimants permanents, selon l'axe de confinement du faisceau. Les aimants fournissent des champs alternativement de sens opposés d'un aimant au suivant dans la

structure hyperfréquence du tube ; on parle alors de focalisation permanente magnétique, ou « Periodic Permanent Magnet focussing » en langue anglaise, d'acronyme PPM.

Ce type de confinement du faisceau d'électrons par champ magnétique alterné est d'un emploi courant dans les Tubes à Ondes Progressives (TOP) et sur quelques klystrons. Les klystrons étant des tubes plus courts que les TOP, le champ de confinement comporte moins d'alternances (Single Reversal Permanent magnet : pour deux alternances ; Double Reversal Permanent magnet : pour 3 alternances).

10

La figure 1 représente une vue partielle en coupe d'une structure hyperfréquence d'un TOP à hélice de l'état de l'art.

La structure hyperfréquence de la figure 1, de forme cylindrique circulaire selon un axe ZZ' de propagation d'un faisceau cylindrique d'électrons 10, comporte un fourreau 14 à masses polaires incorporées contenant l'hélice 16 du TOP. Le fourreau 14 assure à la fois le maintien mécanique de l'hélice 16 dans la structure hyperfréquence par l'intermédiaire de supports isolants 18, et l'étanchéité du tube.

Le fourreau 14 comporte un assemblage d'une suite de pièces (ou masses) polaires 20 en fer et d'entretoises 22 non magnétiques, une entretoise séparant deux pièces polaires consécutives formant des espaces 24 incorporant d'aimants permanents 30 de formes toriques générant le champ magnétique de confinement du faisceau d'électrons selon l'axe ZZ' de propagation.

Les aimants 30 de formes toriques, d'axes de révolution colinéaires à l'axe ZZ', et de sections rectangulaires sont aimantés parallèlement à l'axe ZZ'. Le sens d'aimantation change alternativement d'un aimant à une autre suivant ou précède selon l'axe ZZ', ce qui produit une variation sinusoïdale du champ magnétique de confinement généré par les aimants 30 le long de l'axe ZZ'.

La figure 2 représente une vue partielle en coupe d'une section du fourreau 14 de la structure de la figure 1.

La vue en coupe de la figure 2, selon un plan de symétrie Ps passant par l'axe ZZ', montre le chemin des lignes Ch de flux magnétique de l'aimant 30 sur une longueur correspondant à une alternance du champ

35

magnétique (soit la moitié d'une période correspondant à deux changements consécutifs, selon l'axe ZZ,' du sens du champ magnétique). Les pièces polaires 20 guident le flux magnétique généré par les aimants permanents pour d'obtenir un champ magnétique de confinement du faisceau parallèle à l'axe ZZ'.

La figure 3 présente une vue partielle en coupe d'une structure hyperfréquence d'un TOP à cavités 40 couplées.

Comme dans les cas du TOP de la figure 1, des masses polaires 42 guident le flux magnétique produit par les aimants permanents vers l'axe ZZ', ce qui permet d'obtenir un champ magnétique parallèle à l'axe ZZ', mais à la différence du TOP à hélice de la figure 1, les masses polaires ont une deuxième fonction : elles constituent les parois des cavités 40 successives formant la ligne à retard du tube.

Les aimants permanents 44 de forme torique analogue à ceux utilisés sur les TOP à hélice sont placés au tour des cavités 40 ; de ce fait ils ont un diamètre plus élevé que ceux utilisés sur les TOP à hélice. Sur ce type de tube à cavités couplées, la variation du champ magnétique, suivant l'axe de confinement ZZ', n'est pas sinusoïdale. En effet une alternance comporte deux pics de champ magnétique au lieu d'un. On parle de focalisateur avec harmonique 3. Ce résultat est obtenu en plaçant un noyau magnétique 46 ou une masse polaire à mi-distance des 2 masses polaires 42 qui guident le flux magnétique de part et d'autre de l'aimant permanent 44. Ce type de focalisateur convient aussi pour des klystrons comportant plusieurs cavités, simples ou multiples (klystrons à interaction étendue).

Ces dispositifs de confinement du faisceau dans la structure hyperfréquence des TOP, à hélice ou à cavités couplées, présentent des inconvénients.

Par exemple, lorsqu'un TOP fonctionne, une partie la puissance hyperfréquence se propageant dans la structure hyperfréquence du tube est perdue sous forme de chaleur. Ces pertes sont localisées sur l'hélice ou dans les parois des cavités selon le type de TOP (pertes par effet de peau) ou dans les diélectriques support d'hélice, dans les diélectriques à pertes

utilisés pour l'adaptation (charges sever) ou pour absorber des modes parasites (boutons résonnants).

Par ailleurs, une partie des électrons du faisceau est interceptée par l'hélice du TOP ou par les glissements entre les cavités d'un TOP à
5 cavités couplées ou d'un klystron . Ainsi, lorsqu'un électron du faisceau tombe sur la ligne à retard formée par l'hélice d'un TOP ou sur un glissement de klystron, son énergie cinétique est transformée en chaleur.

Ces deux mécanismes, de pertes hyperfréquences et d'interception du faisceau d'électrons, créent un flux de puissance au cœur
10 de la structure hyperfréquence, ce qui détermine une température maximale de fonctionnement de la structure en fonction de la température de la source de refroidissement entourant la structure hyperfréquence et de l'impédance thermique entre une partie centrale de la structure et la source de refroidissement.

15 Dans le cas du TOP à hélice de structure hyperfréquence représentée à la figure 1, la puissance dissipée en chaleur transite de l'hélice 16 vers une source froide à l'extérieur du tube par les supports diélectriques 18, les masses polaires 20, des ailettes de refroidissement du tube puis les pièces d'habillage du tube (non représentés sur la figure 1).

20 Dans le cas d'un TOP à cavités couplées ou du klystron, la puissance thermique dissipée transite des glissements vers la source froide par les masses polaires, des ailettes puis des pièces d'habillage du tube.

Outre la réalisation du champ magnétique de confinement du faisceau d'électrons, le système de confinement du faisceau des tubes
25 hyperfréquences de l'état de l'art, sert donc au refroidissement du tube ce qui présente des inconvénients. Effet, la conductivité thermique du fer des masses polaires est moins bonne que celle du cuivre (80 W/m.K pour le fer et 398 W/m.K pour le cuivre). Dans les deux cas, le point faible de ces structures est le refroidissement.

30 Une solution pour améliorer le refroidissement et augmenter la puissance moyenne délivrée par un tube hyperfréquence de l'état de l'art consiste à réaliser des canaux de refroidissement entre la partie interne chaude de la structure hyperfréquence et les aimants permanents. Par
35 exemple sur un TOP à cavités couplées (figure 3) on peut augmenter les

diamètres intérieurs et extérieurs des aimants 44 pour placer les canaux de refroidissement entre le diamètre extérieur des cavités 40 et les aimants.

Néanmoins cette solution de refroidissement se traduit par une augmentation du volume et de la masse de la structure hyperfréquence et
5 notamment du dispositif de confinement du faisceau d'électrons, ce qui n'est pas toujours compatible avec l'application envisagée.

Une autre solution pour améliorer le refroidissement sans trop modifier le volume et la masse de la structure hyperfréquence consiste à
10 placer un shunt thermique entre la partie centrale de la structure hyperfréquence et la source froide pour diminuer l'impédance thermique. A cet effet, le fer des masses polaires peut être remplacé par du cuivre et il est alors plus intéressant d'utiliser des aimants permanents avec une polarisation magnétique dans un plan perpendiculaire à l'axe ZZ' du faisceau
15 plutôt que parallèle à l'axe du faisceau puisqu'il n'y a plus de masses polaires pour canaliser les lignes de flux vers l'axe ZZ'. On peut également enlever une partie du volume de l'aimant et le remplacer par du cuivre pour réaliser le shunt thermique.

20 La figure 4a montre une vue partielle du fourreau 14 montrant les lignes de champ de l'aimant permanent 30 de la figure 2. L'aimant 30 de forme torique entre deux masses polaires 20, aimanté parallèlement à l'axe ZZ' selon la flèche Fc (désignée par aimantation axiale) est une structure classique de l'état de l'art.

25 La figure 4b montre une vue partielle d'une autre structure comportant deux aimants A1, A2 permanents de forme torique aimantés selon des axes perpendiculaires à l'axe ZZ' (flèches Fc1, Fc2 sur la figure) (désignée par aimantation radiale) selon la solution consistant à remplacer les masses polaires par du cuivre.

30 Les figures 4a et 4b montrent les tracés des lignes de flux Ch sur une distance correspondant à une demi-période suivant l'axe ZZ'.

Les figures 4a et 4b montrent que pour des tores (ou des bagues) aimantées de même rayons intérieurs r et extérieur R les lignes de flux Ch sont moins proches de l'axe ZZ' dans la structure sans masses polaires de
35 la figure 4b que dans la structure classique avec masse polaire de la figure

4a. Par conséquent, l'intensité du champ magnétique sur l'axe ZZ' créé par la structure à aimants permanents à champs radial de la figure 4b est plus faible.

5 Pour pallier le défaut de la structure comportant des aimants permanents de la figure 4b avec une aimantation radiale, on peut placer, à l'intérieur de l'aimant permanent 30, un noyau magnétique 50 en forme de tore de rayon extérieur égal au rayon intérieur r de l'aimant permanent 30 ce qui permet effectivement d'augmenter l'intensité du champ magnétique sur
10 l'axe ZZ'.

La figure 5 montre les lignes de champs de deux aimants contigus de la structure de la figure 4b comportant deux noyaux magnétiques 50 dont le rayon intérieur est égal au rayon intérieur des pièces polaires 20 de la figure 4a.

15 La structure à aimants permanents magnétisés radialement, telle que représentée aux figures 4b et 5, présente un autre défaut. En effet, la polarisation magnétique des aimants A1, A2 ne reste pas dans un plan transverse, les lignes magnétiques dans un des aimants tournent vers l'aimant voisin lorsque l'on se rapproche des rayons intérieurs r et extérieurs
20 R des aimants.

Le flux magnétique qui traverse la surface S_r s'appuyant sur le rayon intérieur r ne représente qu'une fraction du flux total créé par l'aimant, ce qui conduit à un champ magnétique dans l'axe ZZ' faible. Pour s'opposer au flux passant par les faces latérales des aimants, on peut placer un autre
25 aimant permanent en forme de bague aimantée axialement (ou parallèlement à l'axe ZZ') entre deux aimants permanents aimantés radialement.

La figure 6 montre une variante de la structure de la figure 4b.

La structure de la figure 6 comporte les deux aimants permanents
30 toriques A1, A2 aimantés radialement séparés par un troisième aimant permanent A3 en forme de bague aimantée axialement.

La structure à trois aimants toriques A1, A2, A3 de la figure 6 conduit à une augmentation du champ crête dans l'axe ZZ'. Cet accroissement du champ magnétique dans l'axe ZZ' est confirmé par des
35 calculs de simulation.

La topologie de la structure de la figure 6 à trois aimants toriques est équivalente à celle d'un dispositif de confinement classique du faisceau avec bagues aimantées axialement et masses polaires tel que représentés aux figures 1 et 2 dans lequel on aurait remplacé les masses polaires par
5 des bagues aimantées radialement.

Hormis les noyaux magnétiques l'utilisation de bagues aimantées radialement et axialement pour réaliser un focalisateur PPM ayant la symétrie de révolution est connue (voir par exemple H.A. Leupold et al. , Iron free permanent magnet structure for travelling wave tubes, IEDM 1991, pp
10 411-414).

Les structures à aimants permanents aimantés radialement comportent un autre inconvénient dans leur mise en œuvre du fait de la difficulté de réaliser des bagues aimantées avec une aimantation en tous
15 points radiale. On peut réaliser une approximation en collant plusieurs secteurs aimantés radialement pour former un tore complet, mais le résultat n'est pas aussi bon.

La figure 7 représente différentes courbes de variations de champs magnétiques CMg calculées pour différents aimants de confinement, exprimés en gauss en fonction du rayon extérieur R de la bague aimantée. Les calculs sont effectués pour des bagues aimantées axialement ou radialement de différentes épaisseurs Ep, de même rayon intérieur $r = 3,2\text{mm}$. et de rayon extérieur R variable.

Dans la figure 7, la courbe Ref représente le champ magnétique dans l'axe ZZ' crée par une bague de l'état de l'art aimantée axialement, les courbes Ep4.2 et Ep3.2 montrent les champs magnétiques créés par des bagues magnétisées radialement de respectives épaisseur Ep= 4,2mm. et Ep 3,2mm. Le point sur la figure 7 repéré Ep4,2+N représente le champ
25 magnétique crée par la bague d'épaisseur 4,2mm. avec noyau torique et le point repéré Ep3,2+N représente le champ magnétique crée par la bague d'épaisseur 3,2 MM avec noyau torique.
30

En résumé, la structure à aimants radiaux (ou magnétisés radialement) sans masses polaires présente trois défauts :
35

• Un champ magnétique sur l'axe ZZ' plus faible que celui produit par un dispositif de confinement classique du fait de l'absence de masses polaires pour guider le flux plus près de l'axe ZZ'. Ce défaut peut être partiellement compensé par l'introduction de noyaux magnétiques sous les
5 aimants

• Des lignes de flux Ch qui s'incurvent pour passer d'un aimant au suivant au lieu de rester dans un plan transverse et de sortir par la surface correspondant au diamètre intérieur de l'aimant. Ce défaut peut être partiellement compensé par l'introduction d'une bague aimantée A3
10 axialement entre deux bagues aimantées radialement.

• Enfin un problème de réalisation : on ne sait pas réaliser des bagues avec une aimantation radiale. Il faut assembler des sections (ou secteurs) de bagues et coller ensuite les sections.

De plus pour loger un shunt thermique par exemple une pièce en
15 cuivre du cuivre remplaçant le fer des masses polaires il faut réduire le volume de l'aimant torique, ce qui réduit le champ sur l'axe ZZ' de confinement du faisceau.

Afin de pallier les inconvénients des tubes hyperfréquence de l'état de
20 l'art l'invention propose une structure hyperfréquences pour tube micro-ondes comportant une enveloppe cylindrique sous vide et un dispositif de confinement d'un faisceau d'électrons dans l'axe de révolution ZZ' de l'enveloppe cylindrique, le dispositif de confinement comportant une structure magnétique ayant p rangées R1, R2,...,Rp d'aimants permanents, distribuées
25 selon un pas angulaire égal à $360^\circ/p$ autour de l'axe ZZ', p étant un nombre entier égal ou supérieur à 2, chaque rangée ayant n aimants permanents de confinement e1, e2, ...ei,...en, i étant un nombre entier compris entre 1 et n, n étant supérieur ou égal à trois, les rangées étant à égale distance de l'axe ZZ', les n aimants permanents de confinement e1, e2, ...ei,...en, étant de
30 mêmes formes parallélépipédiques et de polarisation magnétique parallèle à une des ses arêtes dans un plan transverse à l'axe ZZ', leur sens d'aimantation dans la rangée changeant alternativement d'un aimant de confinement ei à un autre suivant ei+1, ou précédent ei-1, pour créer un champ magnétique périodique alterné le long de l'axe de confinement ZZ',

caractérisé en ce que la structure magnétique du dispositif de confinement est invariante pour une rotation de $360^\circ/p$ desdites p rangées autour de l'axe ZZ' .

5

Dans une réalisation, le dispositif de confinement comporte une paire de rangées d'aimants permanents $R1$, $R2$ symétriques par rapport à l'axe ZZ' , les polarisations magnétique des aimants permanents de confinement dans un même plan transverse à l'axe ZZ' ayant des directions d'axe CC' passant par l'axe ZZ' , la structure magnétique d'une rangée $R1$ étant invariante pour l'autre rangée $R2$ dans une rotation de 180° autour de l'axe ZZ' .

Dans une autre réalisation, les deux rangées $R1$, $R2$ d'aimants permanents sont séparées par un espace comportant deux canaux de refroidissement de part et d'autre de l'axe ZZ' , pour évacuer les calories dégagées par la partie centrale de la structure hyperfréquence vers une source froide.

Dans une autre réalisation les canaux de refroidissement sont des passages dans deux blocs en cuivre dans l'espace entre les deux rangées $R1$, $R2$ d'aimants permanents, de part et d'autre de l'axe ZZ' .

Dans une autre réalisation, le dispositif de confinement comporte deux paires de rangées d'aimants permanents de confinement $e1$, $e2, \dots, ei, \dots, en$, une première paire comportant deux rangées $R1$, $R2$ et une seconde paire comportant deux autres rangées $R3$, $R4$, les rangées étant symétriques par paire par rapport à l'axe ZZ' et dans deux plans perpendiculaires passant par l'axe ZZ' , les polarisations magnétiques des aimants permanents, dans un même plan transverse par rapport à l'axe ZZ' , ayant des directions d'axe CC' passant par l'axe ZZ' , la structure magnétique d'une paire étant invariante pour l'autre paire dans une rotation de 90° autour de l'axe ZZ' .

Dans une autre réalisation, chaque aimant de confinement ei d'une rangée $R1$, $R2, \dots, Rp$ est pris en sandwich, selon un axe SS' perpendiculaire

à l'axe CC' de polarisation de l'aimant permanent de confinement e_i , entre deux aimants permanents secondaires shi , sbi , de rang i , de mêmes formes parallélépipédiques, les deux aimants secondaires ayant des polarisations magnétiques de même axe SS' et de sens de polarisation opposés, les sens d'aimantation de deux aimants secondaires shi , sbi , changeant
5 alternativement d'un aimant de confinement e_i à une autre suivant e_{i+1} ou précèdent e_{i-1} de chaque rangée aimants permanents.

Dans une autre réalisation, le dispositif de confinement comporte deux
10 paires de rangées adjacentes d'aimants permanents de confinement e_1 , $e_2, \dots, e_i$, $\dots, e_n$, autour de l'axe ZZ', une première paire comportant deux rangées R1, R2 et une seconde paire comportant deux autres rangées R3, R4, chaque aimant permanent de confinement de forme parallélépipédique comportant des grands côtés et des petits cotés perpendiculaires aux grands
15 côtés, un grand côté d'un aimant de confinement e_i d'une rangée étant en contact par un petit côté d'un aimant e_i d'une autre rangée adjacente de façon à ce que les quatre aimants e_i des quatre rangées adjacentes R1, R2, R3, R4, dans un même plan transverse à l'axe ZZ', délimitent un carré centré sur l'axe ZZ', les polarisations magnétiques des aimants permanents de
20 confinement e_i , dans un même plan transverse, ayant des directions d'axe DD' perpendiculaires aux grands côtés de l'aimant permanent de confinement, la structure magnétique de la première paire P1 de rangées R1, R2 étant invariante par rotation de 180° autour de l'axe ZZ', comme la structure magnétique de la seconde paire P2 de rangées R3, R4, la première
25 paire P1 de rangées R1, R2 se transformant en la seconde paire P2 de rangées R3, R4 par une rotation de 90° au tour de l'axe ZZ'.

Dans une autre réalisation, les aimants permanents de confinement e_i de rang i , dans un même plan transverse, sont séparés des aimants
30 permanents de confinement e_{i+1} , de rang $i+1$ suivant ou, e_{i-1} de rang $i-1$ précédent, par des ailettes en métal conducteur de la chaleur de façon à évacuer la chaleur dégagée dans l'enveloppe cylindrique sous vide vers des canaux de refroidissement de la structure hyperfréquence.

Dans une autre réalisation, chaque rangée $R_1, R_2, \dots R_p$ d'aimants permanents de confinement $e_1, e_2, \dots e_i, \dots e_n$, comporte une suite des aimants auxiliaires $ax_1, ax_2, \dots ax_i, \dots ax_{n-1}$, de mêmes formes parallélépipédiques, un aimant auxiliaire ax_i de la suite étant inséré entre
5 deux aimants de confinement e_i, e_{i+1} , avec un axe de polarisation AA' parallèle à l'axe ZZ' , un aimant auxiliaire ax_i entre deux aimants de confinement ayant une polarisation de sens opposé à un aimant auxiliaire suivant ax_{i+1} , ou précédent ax_{i-1} , de la suite d'aimants auxiliaires dans chaque rangée.

10

Dans une autre réalisation, les aimants de confinement $e_1, e_2, \dots e_i, \dots e_n$, de magnétisation transverse, comportent des noyaux magnétiques entre les rangées $R_1, R_2, \dots R_p$ d'aimants permanents de confinement, ces noyaux étant positionnés, selon les axes ZZ' et YY' , au milieu desdits
15 aimants de confinement pour augmenter l'intensité du champ magnétique dans l'axe ZZ' .

Dans une autre réalisation, les aimants de confinement $e_1, e_2, \dots e_i, \dots e_n$, de magnétisation transverse, comportent des noyaux magnétiques
20 de correction de champ entre les rangées $R_1, R_2, \dots R_p$ d'aimants permanents de confinement, ces noyaux de correction de champ étant positionnés, selon l'axe ZZ' , à hauteur des faces en contact entre deux aimants de confinement adjacents e_i, e_{i+1} et, selon l'axe YY' , au milieu desdits aimants de confinement afin de réaliser un champ magnétique non
25 sinusoïdal.

Dans une autre réalisation, les aimants auxiliaires $ax_1, ax_2, \dots ax_i, \dots ax_{n-1}$ comportent des noyaux magnétiques entre les rangées $R_1, R_2, \dots R_p$ d'aimants permanents de confinement, ces noyaux étant
30 positionnés, selon l'axe ZZ' et l'axe YY' au milieu des aimants auxiliaires $ax_1, ax_2, \dots ax_i, \dots ax_{n-1}$ ayant une aimantation parallèle à l'axe ZZ' afin de réaliser un champ magnétique non sinusoïdal, semblable à celui utilisé pour les TOP à cavités couplées.

L'invention concerne aussi un tube hyperfréquences comportant une structure hyperfréquences selon l'invention et notamment un tube à ondes progressives (TOP).

5 Un principal objectif de l'invention est d'améliorer le refroidissement des structures hyperfréquences des tubes comportant un dispositif de confinement de faisceau à champ magnétique alterné.

Un autre objectif de l'invention est de réaliser un dispositif magnétique de confinement de faisceau simple à réaliser avec des
10 performances de champ de confinement équivalentes ou supérieures à celles des dispositifs de l'état de l'art.

L'invention sera mieux comprise par la description d'un exemple de réalisation d'une structure hyperfréquences selon l'invention à l'aide de
15 dessins indexés dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, représente une vue partielle en coupe d'une structure hyperfréquence d'un TOP à hélice de l'état de l'art ;
- la figure 2, déjà décrite, représente une vue partielle en coupe d'une section du fourreau 14 de la structure de la figure 1 ;
- 20 - la figure 3, déjà décrite, présente une vue partielle en coupe d'une structure hyperfréquence d'un TOP à cavités couplées ;
- la figure 4a, déjà décrite, montre une vue partielle du fourreau montrant les lignes de champ de l'aimant permanent de la figure 2 ;
- la figure 4b, déjà décrite, montre une vue partielle d'une autre
25 structure comportant deux aimants permanents de forme torique ;
- la figure 5, déjà décrite, montre les lignes de champs de deux aimants contigus de la structure de la figure 4b ;
- la figure 6 montre une variante de la structure de la figure 5 ;
- la figure 7, déjà décrite, représente différentes courbes de
30 variations de champ magnétique CMg calculés pour différents aimants de confinement ;
- la figure 8a montre une vue partielle d'une première réalisation, selon l'invention, d'une structure hyperfréquence pour tube micro-ondes ;
- la figure 8b représente une vue en coupe de la structure de la
35 figure 9a ;

- la figure 9a montre une vue partielle d'une variante de la réalisation de la figure 8a, selon l'invention ;
- la figure 9b montre une vue partielle en coupe de la structure de la figure 9a ;
- 5 - la figure 10a montre une vue partielle d'une autre variante de la première réalisation de la figure 8a, selon l'invention ;
- la figure 10b montre une vue partielle en coupe de la structure de la figure 10a ;
- la figure 11a montre une vue en perspective d'une deuxième
- 10 réalisation, selon l'invention, d'une structure hyperfréquence pour tube micro-ondes ;
- la figure 11b montre une vue partielle en coupe de la structure de la figure 11a.
- la figure 12a montre une vue en perspective d'une troisième
- 15 réalisation, selon l'invention, d'une structure hyperfréquence pour tube micro-ondes ;
- la figure 12b montre une vue partielle en coupe de la structure de la figure 12a ;
- la figure 13 montre un exemple de réalisation de structure
- 20 hyperfréquence de la figure 8b avec noyaux magnétiques ;
- la figure 14 montre un exemple de réalisation de structure hyperfréquence de la figure 9b avec noyaux magnétiques ;
- la figure 15 montre un exemple de réalisation de la structure de la figure 9b avec deux types de noyaux magnétiques et ;
- 25 - la figure 16 montre un exemple de réalisation de la structure de la figure 10b avec deux types de noyaux magnétiques.

La figure 8a montre une vue partielle d'une première réalisation, selon l'invention, d'une structure hyperfréquence pour tube micro-ondes, dans cet exemple un TOP à hélice.

La structure hyperfréquence de la figure 8a comporte une enveloppe 60 sous vide en forme de tube cylindrique, d'axe de révolution ZZ'. L'enveloppe sous vide contient une hélice 62 cylindrique maintenue dans l'enveloppe colinéairement à l'axe ZZ' par des supports isolants 64 et

35 formant une ligne de propagation de l'onde hyperfréquences du TOP.

Un canon à électrons du TOP (non représenté sur la figure) génère un faisceau d'électrons selon l'axe ZZ' de l'hélice, que nous appellerons aussi par la suite axe de confinement du faisceau d'électrons. A cet effet, la structure hyperfréquence comporte, selon une principale caractéristique de l'invention, une paire $P1$ (soit $p=2$) de rangées d'aimants permanents $R1, R2$ symétriques par rapport à l'axe ZZ' . Les rangées $R1, R2$ de part et d'autre d'un plan de symétrie Ps passant par l'axe ZZ' de confinement, comportent n aimants permanents $e1, e2, \dots, ei, \dots, en$ de confinement chacune (avec i nombre entier compris entre 1 et n , n étant égal ou supérieur à trois).

Par la suite, les différentes réalisations seront repérées en position par rapport à un trièdre d'axe XX', YY', ZZ' , l'axe ZZ' étant l'axe de confinement du faisceau.

Les aimants permanents $e1, e2, \dots, ei, \dots, en$ de confinement ont une même forme parallélépipédique (ou en forme de pavé) avec une polarisation magnétique dans la rangée d'axe CC' dans un plan de confinement Pc perpendiculaire au plan Ps de symétrie et passant par l'axe ZZ' . Le sens d'aimantation des aimants de confinement change alternativement d'un aimant de confinement ei un autre suivant $ei+1$ ou précède $ei-1$, dans chaque rangée $R1, R2$ d'aimants, pour fournir un champ magnétique périodique alterné le long de l'axe de confinement ZZ' .

Du fait de la symétrie du dispositif, les aimants de même rang i des deux rangées $R1, R2$ se faisant face de part et d'autre de l'axe ZZ' ont des champs de sens opposés. La structure magnétique d'une rangée $R1$ est donc invariante pour l'autre rangée $R2$ dans une rotation de 180° autour de l'axe ZZ' .

La figure 8b représente une vue en coupe de la structure de la figure 8a, selon le plan de confinement Pc passant par l'axe ZZ' parallèlement aux axes CC' de polarisation magnétique des aimants de confinement.

La figure 8b montre les lignes de champs Ch , générées par le dispositif de confinement, symétriques par rapport à l'axe ZZ' dans l'enveloppe 60.

La réalisation de la figure 8a ne nécessite que deux rangées R1, R2 d'aimants permanents contigus identiques mais n'est pas optimale pour 2 raisons :

- le champ magnétique créé par le dispositif présente une décroissance lente suivant l'axe YY', alors que le champ magnétique n'est nécessaire qu'au voisinage du faisceau dans l'axe ZZ'.

- les lignes de flux magnétique passent d'un aimant de confinement e_i à l'aimant adjacent e_{i+1} ou e_{i-1} , au lieu de rester parallèles à l'axe XX' jusqu'au faisceau d'électrons.

10

La figure 9a montre une vue partielle d'une variante de la première réalisation de la figure 8a, selon l'invention.

La figure 9b montre une vue partielle en coupe, selon le plan Pc de confinement, de la structure de la figure 9a.

15

La variante représentée à la figure 9a apporte des améliorations par rapport à celle de la figure 8a consistant à concentrer selon un premier axe YY' le champ magnétique produit par les aimants de confinement sur la zone utile de passage du faisceau, dans l'axe ZZ'.

Pour concentrer le champ magnétique sur la zone utile de confinement du faisceau, et donc sur une distance plus courte suivant l'axe YY', on ajoute de part et d'autre de chaque aimant permanent de confinement e_i dans chaque rangée R1, R2, de la réalisation de la figure 8a, deux autres aimants secondaires sh_i , sbi de rang i , magnétisés selon des axes SS' perpendiculaires à l'axe CC' de polarisation de l'aimant permanent de confinement e_i , les polarisations des aimants secondaires étant de sens opposés. Comme pour les aimants de confinement, les sens d'aimantation de deux aimants secondaires sh_i , sbi , changent alternativement d'un aimant de confinement e_i à une autre suivant e_{i+1} ou précédent e_{i-1} de chaque rangée aimants permanents.

20
25
30

Dans cette réalisation, un bloc BSi de rang i de la rangée R1 de trois aimants permanents comportant l'aimant de confinement e_i de rang i magnétisé dans un sens dirigé vers l'axe ZZ' pris en sandwich entre les deux aimants sh_i , sbi secondaires de rang i magnétisés en sens contraires dirigés vers l'aimant de confinement e_i , est suivi d'un autre bloc BSi+1 de rang $i+1$

35

de trois autres aimants permanents, comportant l'aimant de confinement e_{i+1} de rang $i+1$ pris en sandwich entre deux aimants sh_{i+1} , sbi_{i+1} secondaires de rang $i+1$, de sens de magnétisations opposés à ceux des aimants du bloc B_i précédent

- 5 Les deux rangées R_1 , R_2 d'aimants sont symétriques de part et d'autre du plan de symétrie P_s et deux blocs B_{Si} de même rang i de part et d'autre du plan de symétrie P_s comportent des polarisations magnétiques symétriques.

Pour obtenir un champ magnétique périodique, l'aimantation des
10 deux blocs symétriques B_{Si} de la rangée R_1 et B_{Si} symétrique de la rangée R_2 change de sens lorsque l'on se déplace d'une demi-période selon l'axe ZZ' . Un pas magnétique (ou demi période suivante selon l'axe ZZ') de la structure hyperfréquences comporte alors six aimants de deux types différents.

- 15 La figure 10a montre une vue partielle d'une autre variante de la première réalisation de la figure 8a, selon l'invention.

La figure 10b montre une vue partielle en coupe de la structure de la figure 10a.

- Cette autre variante de réalisation de la figure 10a apporte des
20 améliorations par rapport à celle de la figure 9a consistant à concentrer selon un deuxième axe XX' le champ magnétique produit par les aimants de confinement sur la zone utile de passage du faisceau, dans l'axe ZZ' .

Pour concentrer le champ magnétique sur la zone utile de
confinement du faisceau, et donc sur une distance plus courte suivant l'axe
25 XX' , chaque rangée R_1 , R_2 d'aimants permanents de confinement comporte une suite d'aimants auxiliaires ax_1 , ax_2 , ..., ax_i , ..., ax_{n-1} , de mêmes formes parallélépipédiques que les autres aimants de la rangée, insérés entre les aimants de confinement e_1 , e_2 , ..., e_i , ..., e_n pris en sandwich entre les aimants secondaires sh_i , sbi .

- 30 Dans cette configuration de la figure 10a, un aimant auxiliaire ax_i de rang i de la suite est inséré entre deux aimants de confinement avec un axe de polarisation AA' perpendiculaire à l'axe de polarisation CC' de l'aimant de confinement et de telle façon qu'un aimant auxiliaire ax_i de rang i entre deux aimants de confinement présente une polarisation de sens

opposé à un aimant auxiliaire suivant $axi+1$ ou précèdent $axi-1$ de la suite d'aimants auxiliaires dans chaque rangée R1, R2.

Dans cette autre variante représentée à la figure 10a, un bloc BAI de la rangée R1 de rang i comporte quatre aimants permanents, un aimant de confinement ei de rang i magnétisé dans un sens dirigé vers l'axe ZZ' pris en sandwich entre deux aimants shi , sbi secondaires magnétisés en sens contraires dirigés vers l'aimant de confinement ei , et un aimant auxiliaire axi , du côté du bloc BAI contigu au bloc suivant BAI+1, avec une polarisation magnétique d'axe AA' perpendiculaire à la polarisation magnétique d'axe CC' de l'aimant de confinement ei et de sens dirigé vers l'aimant de confinement ei du bloc BAI considéré.

Un bloc BAI de la rangée R1, R2 est suivi d'un autre bloc BAI+1 de rang $i+1$ de quatre autres aimants permanents, mais de sens de magnétisations opposés à ceux des aimants du bloc BAI précédent

Les deux rangées R1, R2 d'aimants sont symétrique de part et d'autre du plan de symétrie Ps et deux blocs BSi de quatre aimants permanents chacun de même rang i de part et d'autre du plan de symétrie Ps comportent des polarisations magnétiques symétriques.

Dans la première réalisation de la figure 8a et ses variantes des figures 9a et 10a, selon l'invention, les deux rangées R1, R2 d'aimants permanents sont séparées par un espace ESP comportant deux canaux 113, 115 de refroidissement de part et d'autre de l'axe ZZ' , pour évacuer les calories dégagées par la partie centrale de la structure hyperfréquence vers une source froide. Cette partie centrale de la structure hyperfréquence comporte une ligne hyperfréquence dans l'enveloppe sous vide 60.

Dans une réalisation préférentielle les canaux de refroidissement sont des passages dans deux blocs 100, 102 en cuivre dans l'espace (ESP) entre les deux rangées R1, R2 d'aimants permanents, de part et d'autre de l'axe ZZ' . Ces blocs en cuivre, dans le plan de symétrie Ps , sont en contact thermique avec l'enveloppe cylindrique sous vide 60 et permettent l'évacuation des calories par les canaux 113, 115 de refroidissement vers la source froide.

La figure 11a montre une vue en perspective d'une deuxième réalisation, selon l'invention, d'une structure hyperfréquence pour tube micro-ondes, dans cet exemple un TOP à hélice.

La structure hyperfréquence de la figure 11a comporte, comme
5 dans le cas de la première réalisation, l'enveloppe 60 sous vide en forme de tube cylindrique, d'axe de révolution ZZ'.

Dans cette deuxième réalisation de la figure 11a, le dispositif de confinement comporte deux paires de rangées d'aimants permanents de confinement (soit $p=4$), une première paire P1 comportant deux rangées R1,
10 R2 et une seconde paire P2 comportant deux autres rangées R3, R4. Les rangées sont symétriques par paire par rapport à l'axe ZZ' et dans les deux plans Pc, Ps perpendiculaires passant par l'axe ZZ'.

Les polarisations magnétiques des aimants permanents de confinement $e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n$, des rangées, dans un même plan transverse
15 par rapport à l'axe ZZ', ont des directions d'axe CC' passant par l'axe ZZ'. Dans cette deuxième réalisation, la structure magnétique d'une paire P1 de rangées R1, R2 est invariante pour l'autre paire P2 de rangées R3, R4 dans une rotation de 90° autour de l'axe ZZ'.

Le refroidissement de l'enveloppe sous vide est assuré par des
20 canaux de refroidissement C1, C2, C3, C4 entre les rangées d'aimants permanents.

Pour améliorer le refroidissement, dans cette structure à quatre rangées d'aimants R1, R2, R3, R4 perpendiculaires, les aimants permanents de confinement de rang i, dans un même plan transverse, sont séparés des
25 aimants permanents de rang $i+1$ suivants ou $i-1$ précédents par des ailettes 130 en métal conducteur de la chaleur de façon à évacuer la chaleur dégagée dans l'enveloppe cylindrique sous vide vers les canaux de refroidissement C1, C2, C3, C4 de la structure.

La figure 11b montre une vue partielle en coupe de la structure de
30 la figure 12a. La coupe est réalisée selon le plan Pc passant par l'axe ZZ'.

La figure 11b montre les ailettes 130 de refroidissement de l'enveloppe cylindrique contenant la ligne hyperfréquences.

La figure 12a montre une vue en perspective d'une troisième réalisation, selon l'invention, d'une structure hyperfréquence pour tube micro-ondes, dans cet exemple un TOP à hélice.

La structure hyperfréquence de la figure 12a comporte comme
5 dans le cas des première et deuxième réalisations, l'enveloppe 60 sous vide en forme de tube cylindrique, d'axe de révolution ZZ'.

Dans cette troisième réalisation de la figure 12a, le dispositif de confinement comporte deux paires de rangées adjacentes d'aimants permanents de confinement $e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n$, au tour de l'axe ZZ', une
10 première paire P1 comportant deux rangées R1, R2 et une seconde paire P2 comportant deux autres rangées R3, R4.

Chaque aimant permanent de confinement de forme parallélépipédique comporte des grands côtés 140 et des petits cotés 142 perpendiculaires aux grands côtés. Un grand côté 140 d'un aimant de
15 confinement e_i d'une rangée est en contact par un petit côté 142 d'un aimant de confinement d'une autre rangée adjacente de façon à ce que les quatre aimants e_i des quatre rangées adjacentes R1, R2, R3, R4, dans un même plan transverse à l'axe ZZ', délimitent un carré 144 centré sur l'axe ZZ'.

La taille des aimants de confinement est telle que les aimants en
20 contact laissent un espace interne 150 de forme carrée centré sur l'axe ZZ' pour le passage de l'enveloppe sous vide 60.

Les polarisations magnétiques des aimants permanents de confinement, dans un même plan transverse, ont des directions d'axe DD' perpendiculaires aux grands côtés de l'aimant permanent. Dans cette
25 réalisation, la structure magnétique de la première paire P1 de rangées R1, R2 est invariante par rotation de 180° autour de l'axe ZZ', comme la structure magnétique de la seconde paire P2 de rangées R3, R4. En outre, la première paire de rangées R1, R2 se transforme en la seconde paire P2 de rangées R3, R4 par une rotation de 90° au tour de l'axe ZZ'.

30

Comme dans la deuxième réalisation de la figure 11a les aimants permanents de rang i dans un même plan transverse sont séparés des aimants permanents de rang $i+1$ suivant ou $i-1$ précédent par des ailettes
152 en métal conducteur de la chaleur de façon à évacuer la chaleur
35 dégagée dans l'enveloppe cylindrique 60 sous vide vers des canaux

externes de refroidissement (non représentés sur les figures). Ces canaux de refroidissement sont plus éloignés de l'enveloppe sous vide mais cette troisième configuration permet de réaliser des aimants permanents de confinement de taille plus importante et donc produisant un champ magnétique plus intense au niveau de l'axe ZZ'.

La figure 12b montre une vue partielle en coupe de la structure de la figure 12a. Le plan de coupe Pc passe par les axes ZZ' et XX' du dispositif de la figure 13a.

La figure 12b montre les ailettes de refroidissement 152 de l'enveloppe cylindrique 60 contenant une ligne hyperfréquences.

Dans d'autres variantes des réalisations décrites précédemment, les blocs d'aimants comportent entre les rangées différents types de noyaux magnétiques

La figure 13 montre l'exemple de réalisation de structure hyperfréquence de la figure 8b avec noyaux magnétiques.

Les aimants de confinement e1, e2, ...ei,...en, de magnétisation transverse, comportent des noyaux magnétiques 110 entre les rangées R1, R2,...Rp. Ces noyaux sont positionnés, selon les axes ZZ' et YY,' au milieu desdits aimants de confinement pour augmenter l'intensité du champ magnétique dans l'axe ZZ'.

La figure 14 montre l'exemple de réalisation de structure hyperfréquence de la figure 9b avec le même type de noyau magnétique que celui de la figure 13 pour augmenter l'intensité du champ magnétique dans l'axe ZZ'. Ces noyaux sont positionnés, selon les axes ZZ' et YY,' au milieu desdits aimants de confinement.

La figure 15 montre l'exemple de réalisation de la structure de la figure 9b avec deux types de noyaux magnétiques.

Dans la réalisation de la figure 15 les aimants de confinement e1, e2, ...ei,...en, de magnétisation transverse, comportent des noyaux magnétiques 110 entre les rangées R1, R2,...Rp. positionnés, selon les axes ZZ' et YY,' au milieu desdits aimants de confinement pour augmenter l'intensité du

champ magnétique dans l'axe ZZ' et des noyaux magnétiques 111 de correction de champ entre les rangées R1, R2,...Rp d'aimants permanents de confinement. Ces noyaux de correction de champ 111 sont positionnés, selon l'axe ZZ', à hauteur des faces f1, f2 en contact entre deux aimants de confinement adjacents ei, ei+1 et, selon l'axe YY,' au milieu desdits aimants de confinement afin de réaliser un champ magnétique non sinusoïdal.

La figure 16 montre un exemple de réalisation de la structure de la figure 10b avec deux types de noyaux magnétiques.

La réalisation de la figure 16 comporte, outre les noyaux magnétiques 110 pour augmenter le champs dans l'axe ZZ', des noyaux magnétiques 112 de correction de champ positionnés, selon l'axe ZZ' et l'axe YY,' au milieu des aimants auxiliaires ax1, ax2,...axi,...axn-1. d'aimantation parallèle à l'axe ZZ', afin de réaliser un champ magnétique non sinusoïdal, semblable à celui utilisé pour les TOP à cavités couplées.

Les différentes réalisations décrites de structures hyperfréquence selon l'invention permettent d'obtenir des performances de champ magnétique alterné de confinement du faisceau égales voire supérieures à celles obtenues avec de bagues magnétisées axialement de l'état de l'art. En outre l'utilisation d'aimants parallélépipédiques permet une réduction de la taille du dispositif de confinement à aimants permanents et un meilleur refroidissement de la partie centrale de la structure contenant la ligne hyperfréquences.

Les structures décrites ne sont pas limitatives et d'autres variantes de configurations d'aimants et des rangées d'aimants peuvent être adaptées à différentes autres applications des tubes hyperfréquences.

Par exemple, dans d'autres réalisations, le nombre p de rangées peut être un nombre impair. Par exemple, si $p=3$, la structure magnétique du dispositif de confinement est invariante pour une rotation de $360^\circ/3 = 120^\circ$ desdites p rangées autour de l'axe ZZ'.

Les structures ont été décrites dans le cas d'un grand nombre d'alternances pour des tubes longs de type TOP mais d'autres structures avec deux ou trois alternances peuvent être réalisées par le dispositif de confinement, selon l'invention, pour des tubes courts tels que les klystrons.

REVENDICATIONS

1. Structure hyperfréquences pour tube micro-ondes comportant une
5 enveloppe cylindrique sous vide (60) et un dispositif de confinement d'un
faisceau d'électrons dans l'axe de révolution ZZ' de l'enveloppe cylindrique,
le dispositif de confinement comportant une structure magnétique ayant p
rangées R1, R2,...,Rp d'aimants permanents, distribuées selon un pas
angulaire égal à $360^\circ/p$ autour de l'axe ZZ', p étant un nombre entier égal ou
10 supérieur à 2, chaque rangée ayant n aimants permanents de confinement
e1, e2, ...ei,..en, i étant un nombre entier compris entre 1 et n, n étant
supérieur ou égal à trois, les rangées étant à égale distance de l'axe ZZ', les
n aimants permanents de confinement e1, e2, ...ei,..en, étant de mêmes
formes parallélépipédiques et de polarisation magnétique parallèle à une des
15 ses arêtes dans un plan transverse à l'axe ZZ', leur sens d'aimantation dans
la rangée changeant alternativement d'un aimant de confinement ei à un
autre suivant ei+1, ou précédent ei-1, pour créer un champ magnétique
périodique alterné le long de l'axe de confinement ZZ',
caractérisé en ce que la structure magnétique du dispositif de
20 confinement est invariante pour une rotation de $360^\circ/p$ desdites p rangées
autour de l'axe ZZ'.

2. Structure hyperfréquences selon la revendication 1, caractérisée en
ce que le dispositif de confinement comporte une paire (P1) de rangées
25 d'aimants permanents R1, R2 symétriques par rapport à l'axe ZZ', les
polarisations magnétique des aimants permanents de confinement dans un
même plan transverse à l'axe ZZ' ayant des directions d'axe CC' passant par
l'axe ZZ', la structure magnétique d'une rangée R1 étant invariante pour
l'autre rangée R2 dans une rotation de 180° autour de l'axe ZZ'.

30

3. Structure hyperfréquence selon la revendication 2, caractérisée en
ce que les deux rangées R1, R2 d'aimants permanents sont séparées par un
espace (ESP) comportant deux canaux (113, 115) de refroidissement de part
et d'autre de l'axe ZZ', pour évacuer les calories dégagées par la partie
35 centrale de la structure hyperfréquence vers une source froide.

4. Structure hyperfréquence selon la revendication 3, caractérisée en ce que les canaux de refroidissement sont des passages dans deux blocs (100, 102) en cuivre dans l'espace (ESP) entre les deux rangées R1, R2 d'aimants permanents, de part et d'autre de l'axe ZZ'.

5. Structure hyperfréquences selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif de confinement comporte deux paires (P1, P2) de rangées d'aimants permanents de confinement e1, e2,...ei, ...en, une première paire (P1) comportant deux rangées R1, R2 et une seconde paire (P2) comportant deux autres rangées R3, R4, les rangées étant symétriques par paire par rapport à l'axe ZZ' et dans deux plans (Ps, Pc) perpendiculaires passant par l'axe ZZ', les polarisations magnétiques des aimants permanents, dans un même plan transverse par rapport à l'axe ZZ', ayant des directions d'axe CC' passant par l'axe ZZ', la structure magnétique d'une paire P1 étant invariante pour l'autre paire P2 dans une rotation de 90° autour de l'axe ZZ'.

6. Structure hyperfréquences selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que chaque aimant de confinement ei d'une rangée R1, R2,...Rp est pris en sandwich, selon un axe SS' perpendiculaire à l'axe CC' de polarisation de l'aimant permanent de confinement ei, entre deux aimants permanents secondaires shi, sbi, de rang i, de mêmes formes parallélépipédiques, les deux aimant secondaires ayant des polarisations magnétiques de même axe SS' et de sens de polarisation opposés, les sens d'aimantation de deux aimants secondaires shi, sbi, changeant alternativement d'un aimant de confinement ei à une autre suivant ei+1 ou précèdent ei-1 de chaque rangée aimants permanents.

7. Structure hyperfréquences selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif de confinement comporte deux paires (P1, P2) de rangées adjacentes d'aimants permanents de confinement e1, e2,...ei, ...en, autour de l'axe ZZ', une première paire (P1) comportant deux rangées R1, R2 et une seconde paire (P2) comportant deux autres rangées R3, R4, chaque aimant permanent de confinement de forme parallélépipédique

comportant des grands côtés (140) et des petits cotés (142) perpendiculaires aux grands côtés, un grand côté (140) d'un aimant de confinement ei d'une rangée étant en contact par un petit côté (142) d'un aimant ei d'une autre rangée adjacente de façon à ce que les quatre aimants ei des quatre rangées adjacentes R1, R2, R3, R4, dans un même plan transverse à l'axe ZZ,' délimitent un carré (144) centré sur l'axe ZZ', les polarisations magnétiques des aimants permanents de confinement ei, dans un même plan transverse, ayant des directions d'axe DD' perpendiculaires aux grands côtés (140) de l'aimant permanent de confinement, la structure magnétique de la première paire (P1) de rangées R1, R2 étant invariante par rotation de 180° autour de l'axe ZZ', comme la structure magnétique de la seconde paire (P2) de rangées R3, R4, la première paire (P1) de rangées R1, R2 se transformant en la seconde paire (P2) de rangées R3, R4 par une rotation de 90° au tour de l'axe ZZ''.

15

8. Structure hyperfréquences selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisée en ce que les aimants permanents de confinement ei de rang i, dans un même plan transverse, sont séparés des aimants permanents de confinement ei+1, de rang i+1 suivant ou, ei-1 de rang i-1 précédent, par des ailettes (130, 152) en métal conducteur de la chaleur de façon à évacuer la chaleur dégagée dans l'enveloppe cylindrique (60) sous vide vers des canaux de refroidissement (C1, C2, C3, C4) de la structure hyperfréquence.

20

9. Structure hyperfréquences selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que chaque rangée R1, R2,...Rp d'aimants permanents de confinement e1, e2, ...ei,...en, comporte une suite des aimants auxiliaires ax1, ax2, ...axi,...axn-1, de mêmes formes parallélépipédiques, un aimant auxiliaire axi de la suite étant inséré entre deux aimants de confinement ei, ei+1, avec un axe de polarisation AA' parallèle à l'axe ZZ', un aimant auxiliaire axi entre deux aimants de confinement ayant une polarisation de sens opposé à un aimant auxiliaire suivant axi+1, ou précédent axi-1, de la suite d'aimants auxiliaires dans chaque rangée.

30

10. Structure hyperfréquences selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que les aimants de confinement e1, e2, ...ei,...en, de

35

magnétisation transverse, comportent des noyaux magnétiques (110) entre les rangées R1, R2,...Rp d'aimants permanents de confinement, ces noyaux étant positionnés, selon les axes ZZ' et YY,' au milieu desdits aimants de confinement pour augmenter l'intensité du champ magnétique dans l'axe ZZ'.

5

11. Structure hyperfréquences selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que les aimants de confinement e1, e2, ...ei,...en, de magnétisation transverse, comportent des noyaux magnétiques (111) de correction de champ entre les rangées R1, R2,...Rp d'aimants permanents de confinement, ces noyaux de correction de champ étant positionnés, selon l'axe ZZ', à hauteur des faces (f1, f2) en contact entre deux aimants de confinement adjacents ei, ei+1 et, selon l'axe YY,' au milieu desdits aimants de confinement afin de réaliser un champ magnétique non sinusoïdal.

15

12. Structure hyperfréquences selon la revendication 9, caractérisée en ce que les aimants auxiliaires ax1, ax2, ...axi,...axn-1 comportent des noyaux magnétiques (112) entre les rangées R1, R2,...Rp d'aimants permanents de confinement, ces noyaux (112) étant positionnés, selon l'axe ZZ' et l'axe YY' au milieu des aimants auxiliaires ax1, ax2,...axi,...axn-1 ayant une aimantation parallèle à l'axe ZZ' afin de réaliser un champ magnétique non sinusoïdal, semblable à celui utilisé pour les TOP à cavités couplées.

20

13. Tube hyperfréquences caractérisé en ce qu'il comporte une structure hyperfréquences selon l'une des revendications 1 à 12.

25

14. Tube à ondes progressives (TOP) caractérisé en ce qu'il comporte une structure hyperfréquences selon l'une des revendications 1 à 12.

30

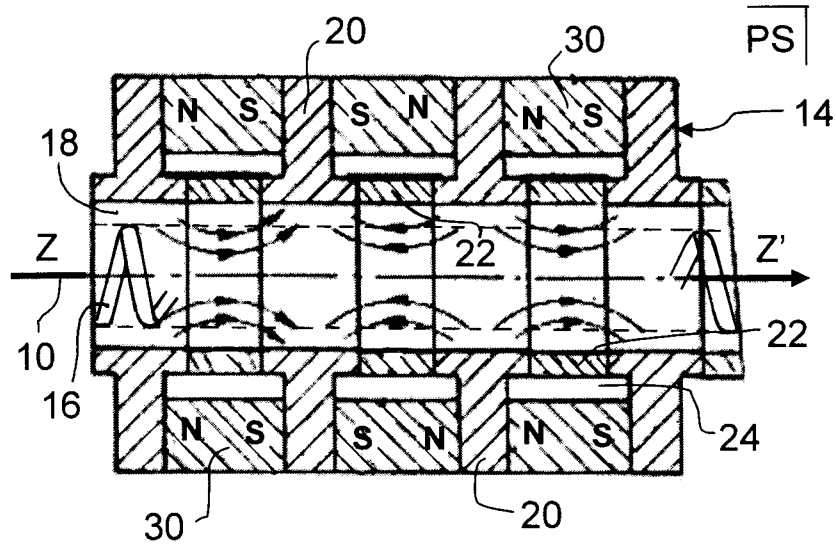


FIG.1

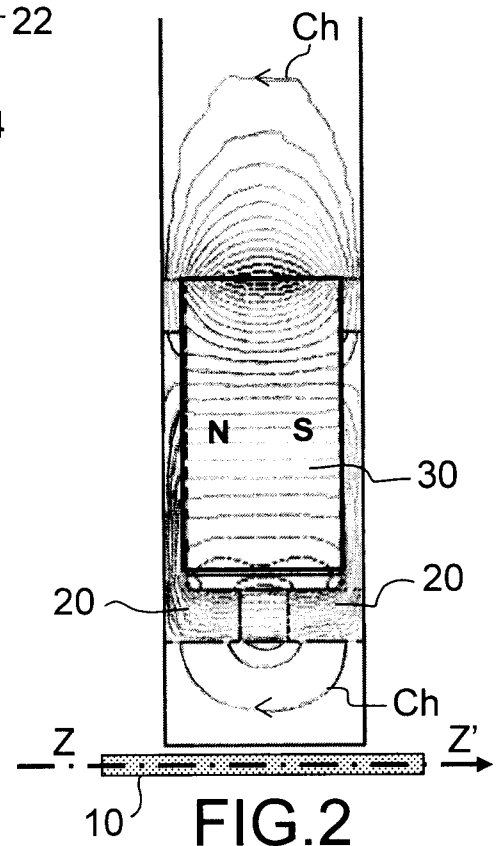


FIG.2

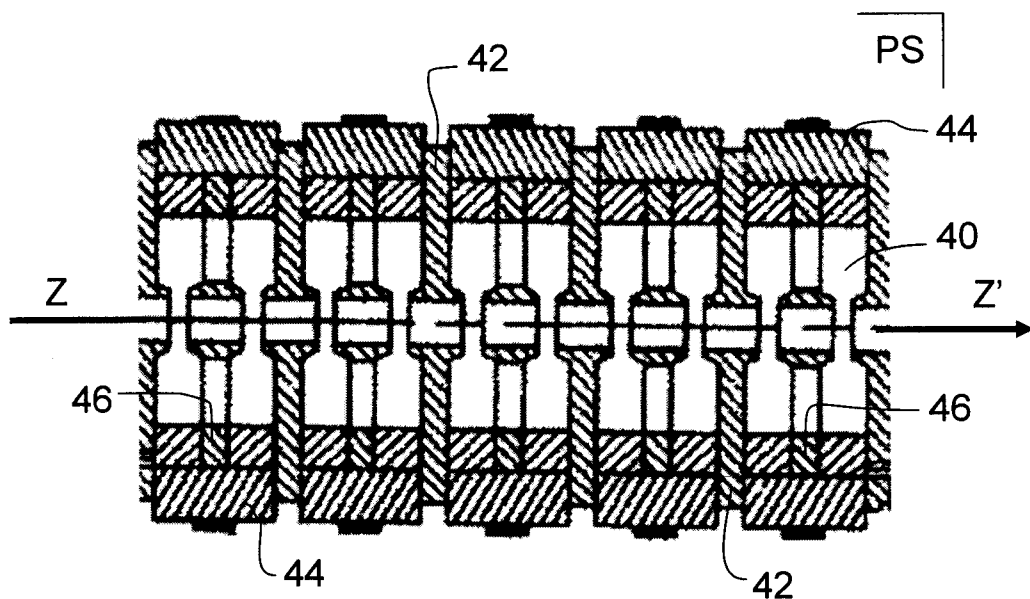
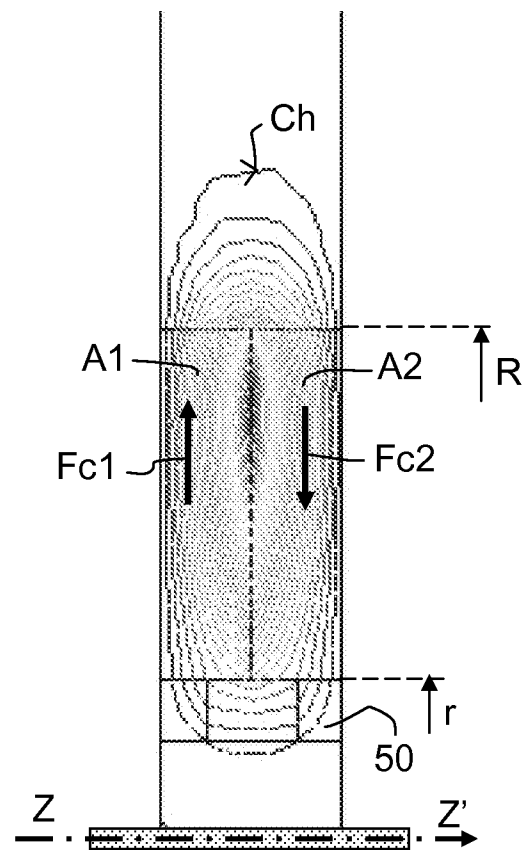
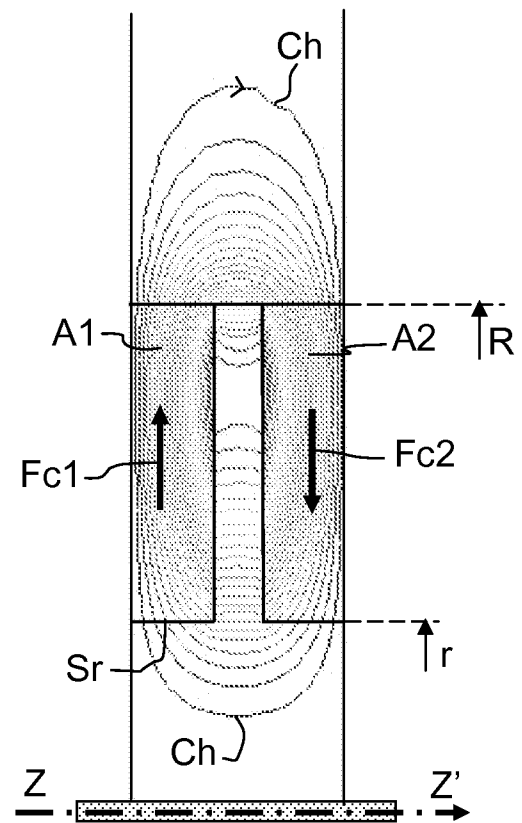
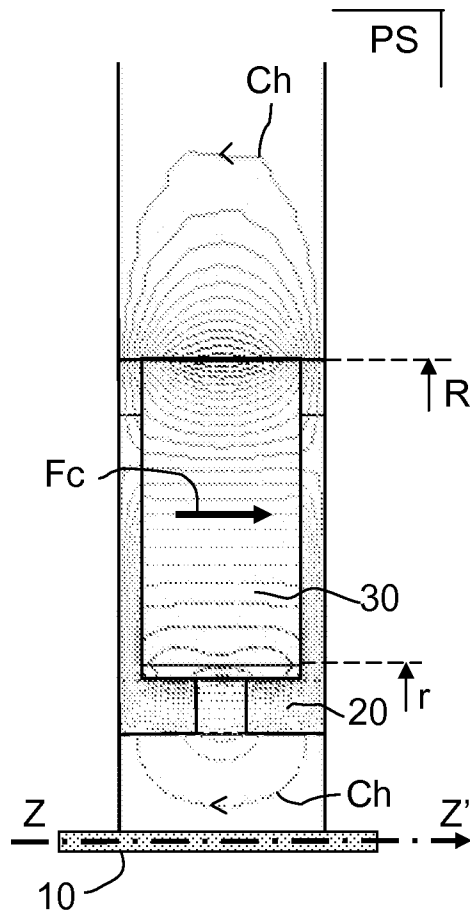


FIG.3



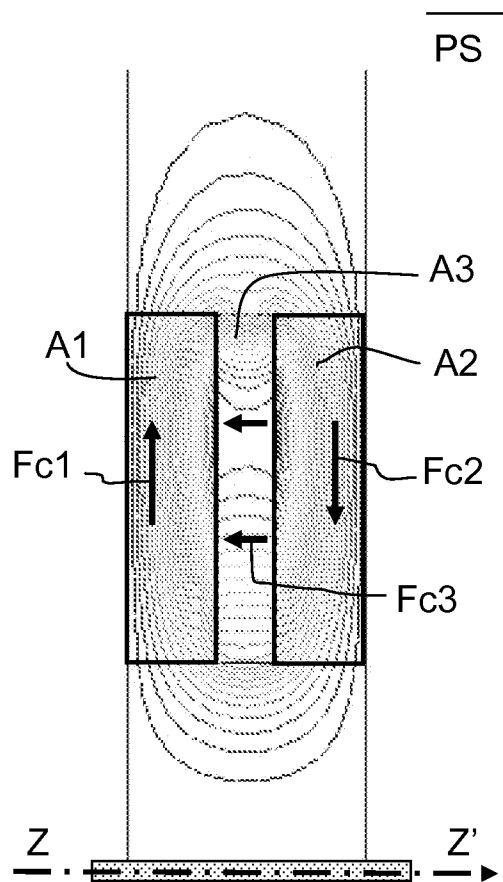


FIG. 6

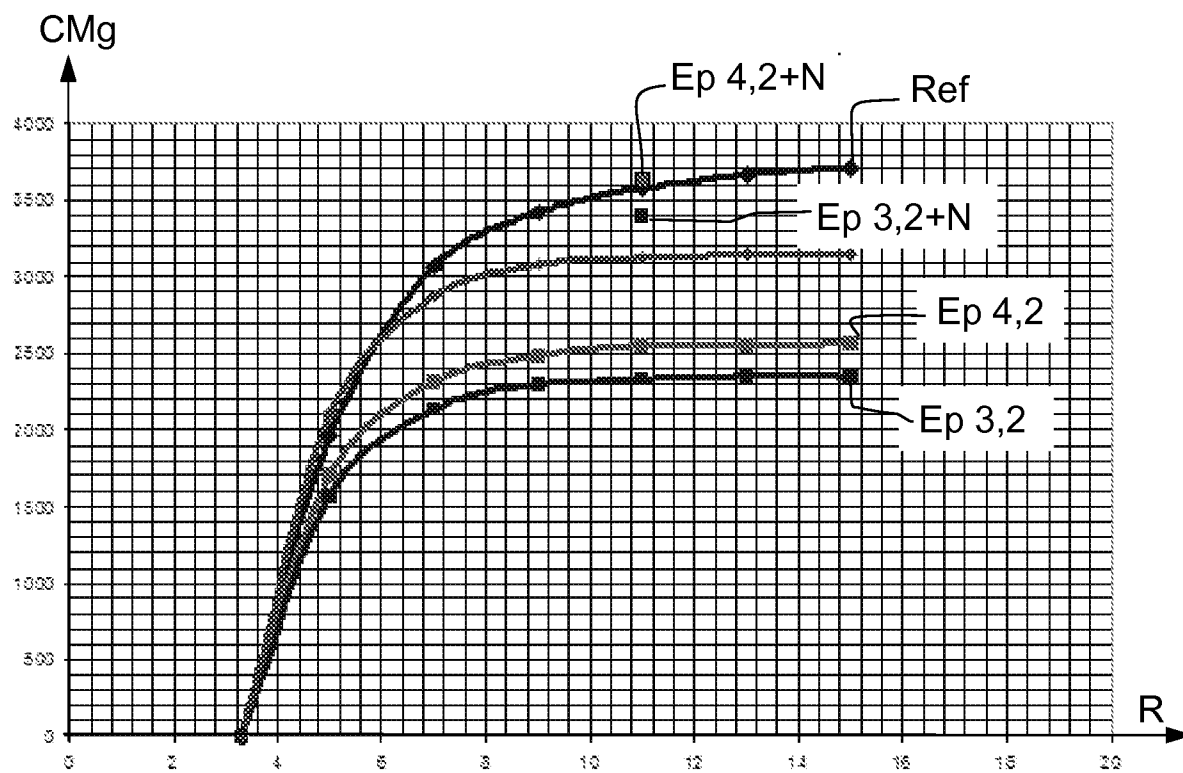
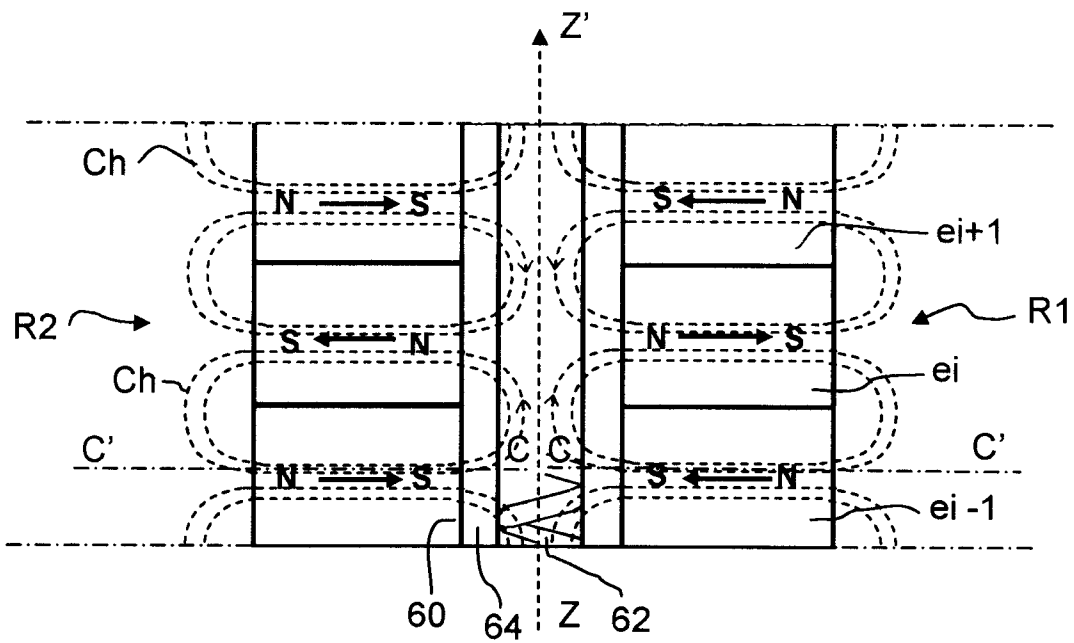
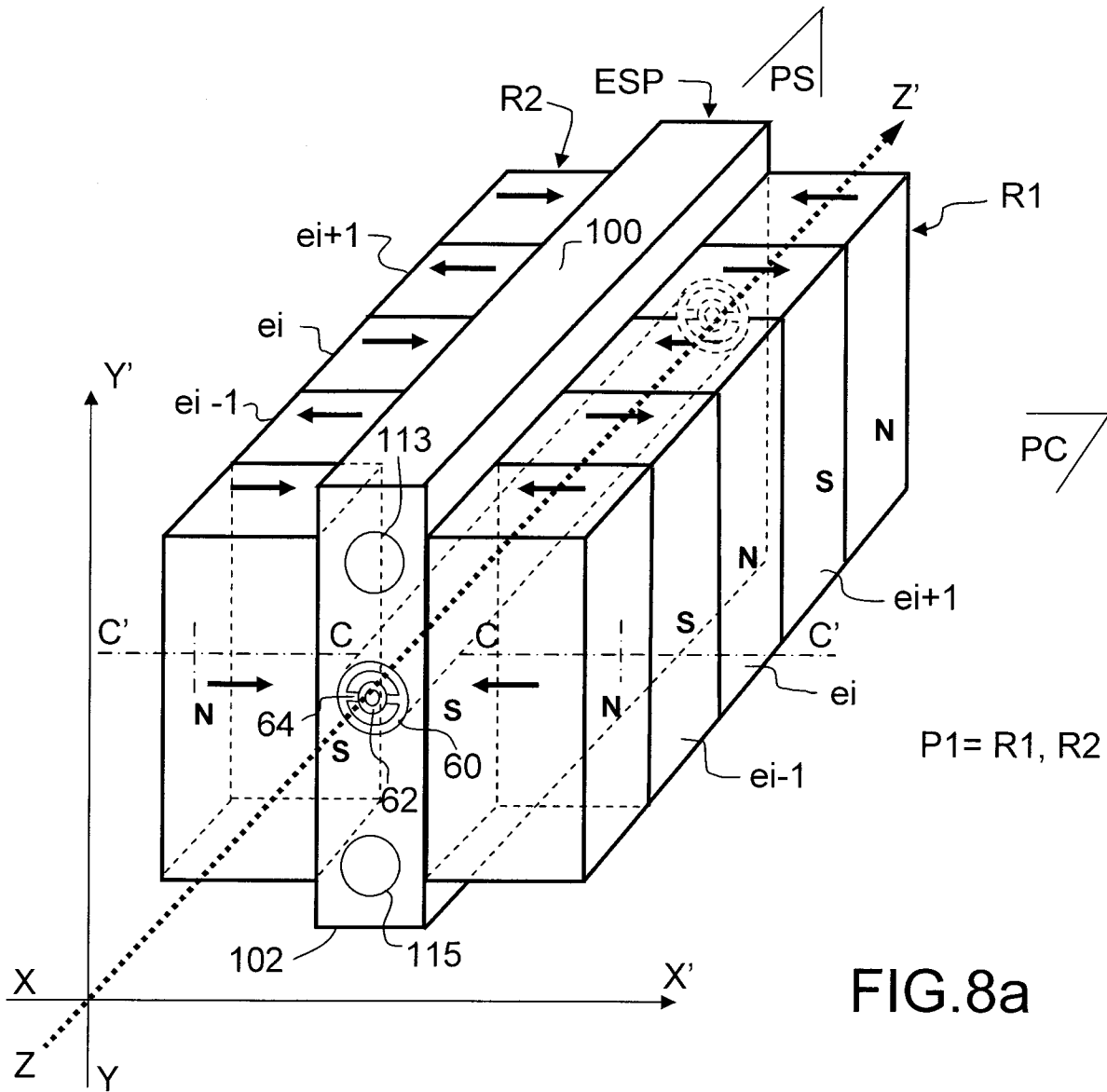
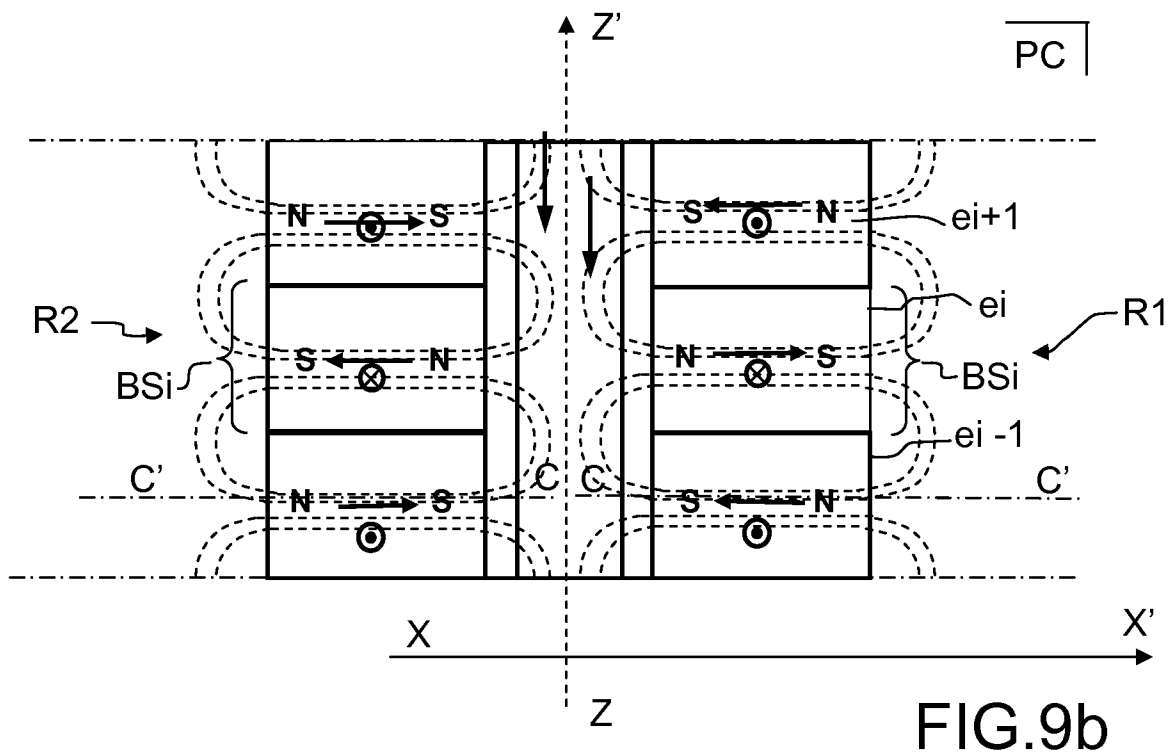
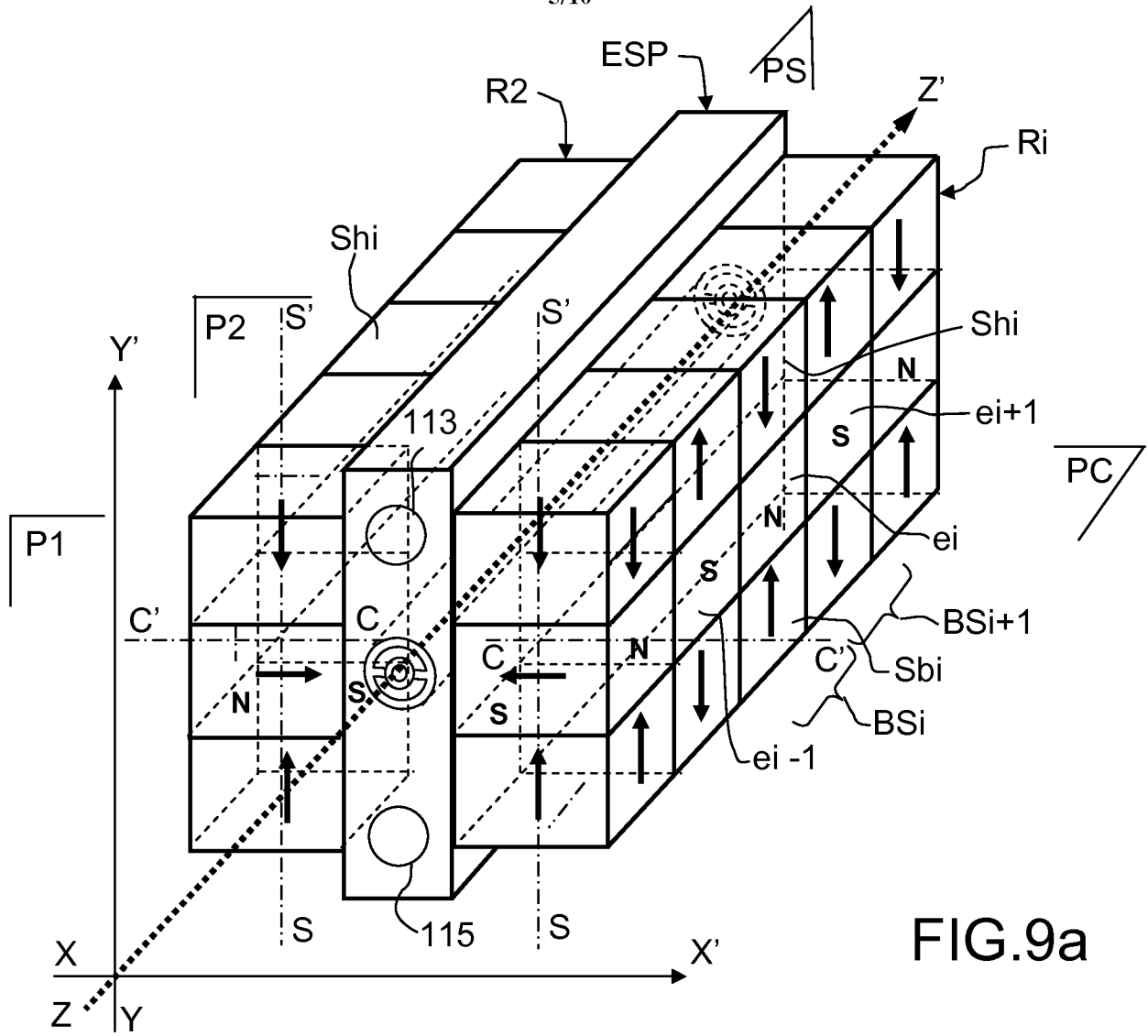


FIG. 7





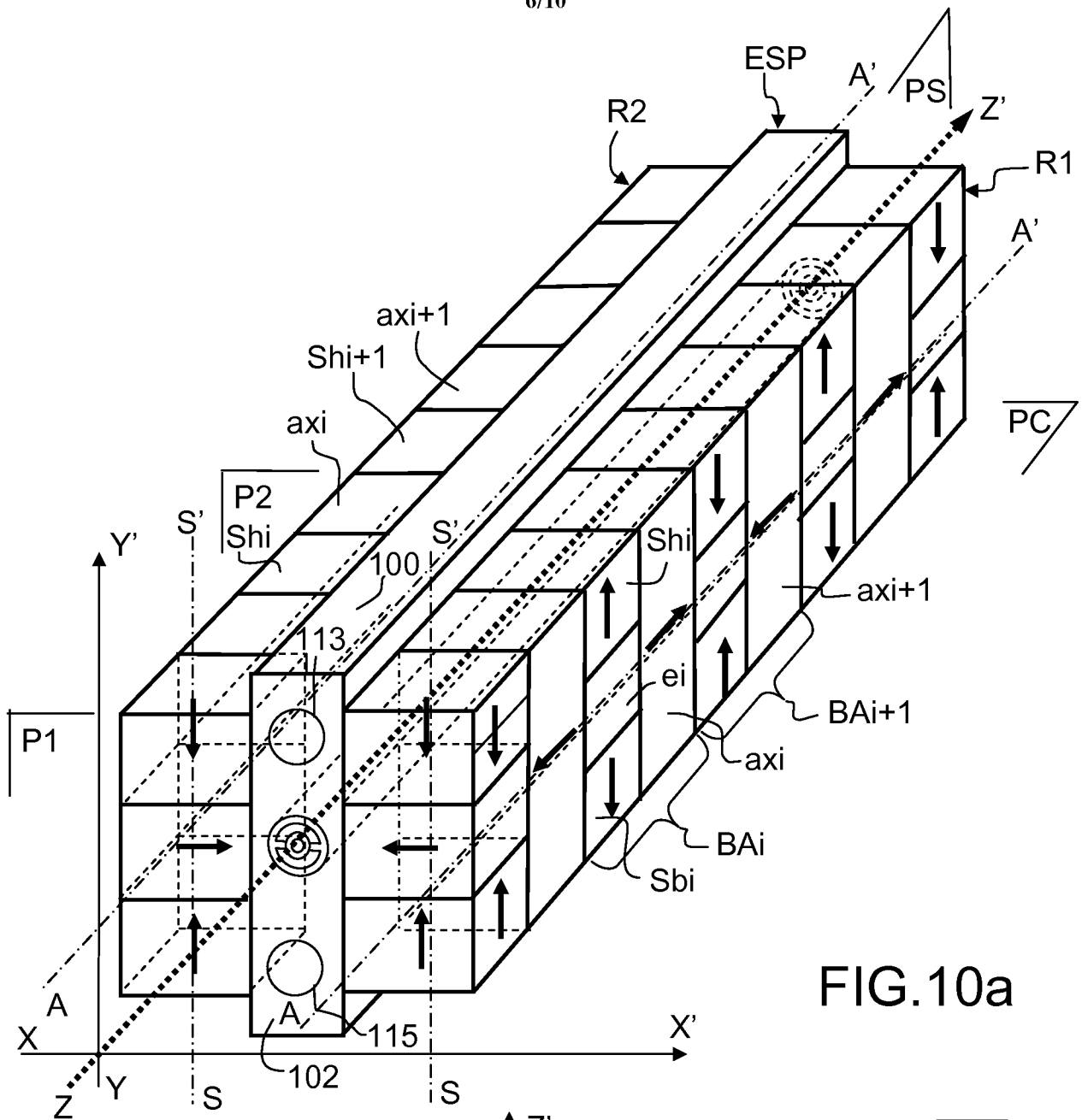


FIG. 10a

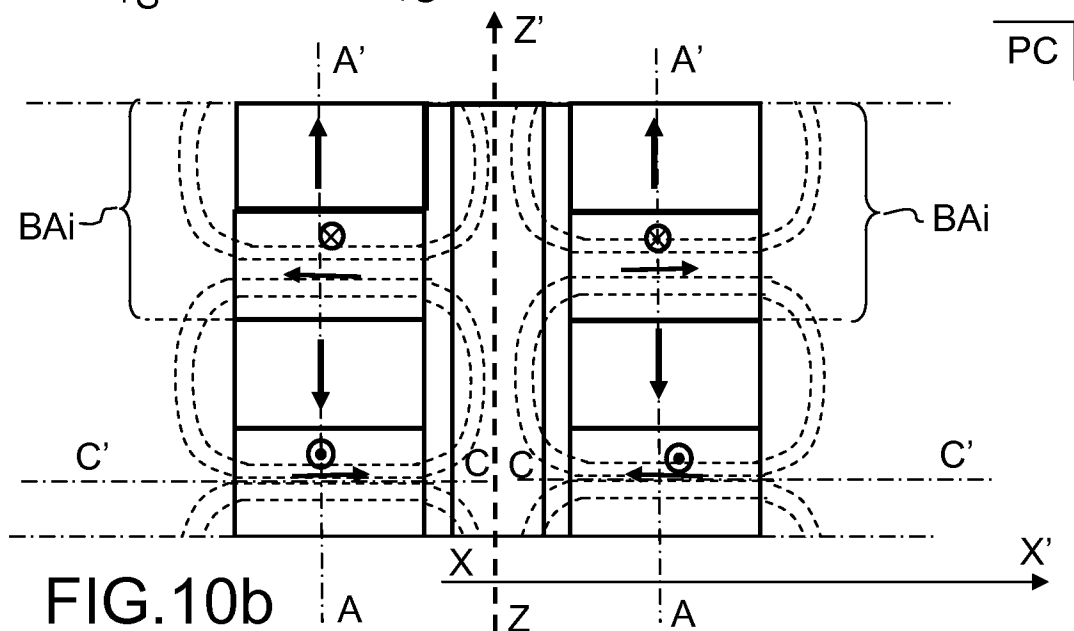
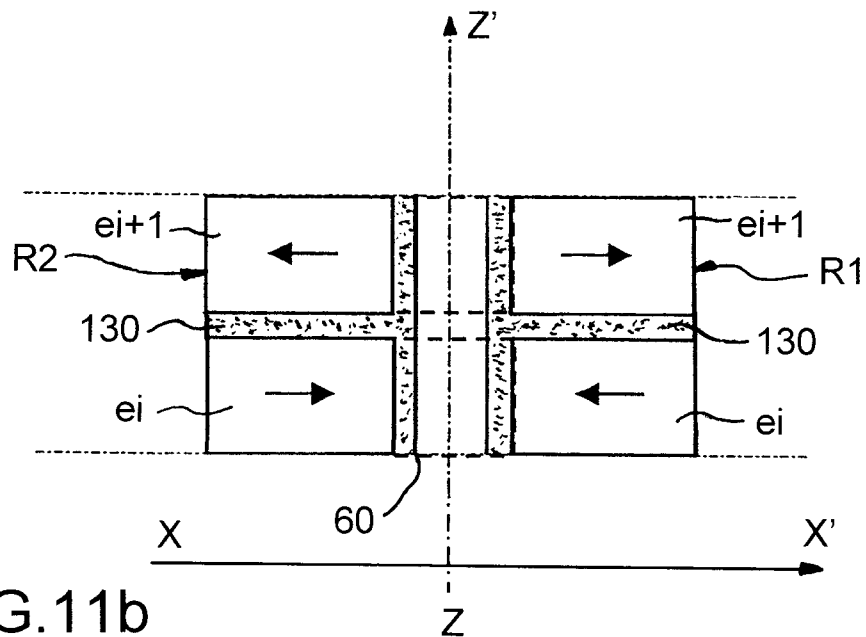
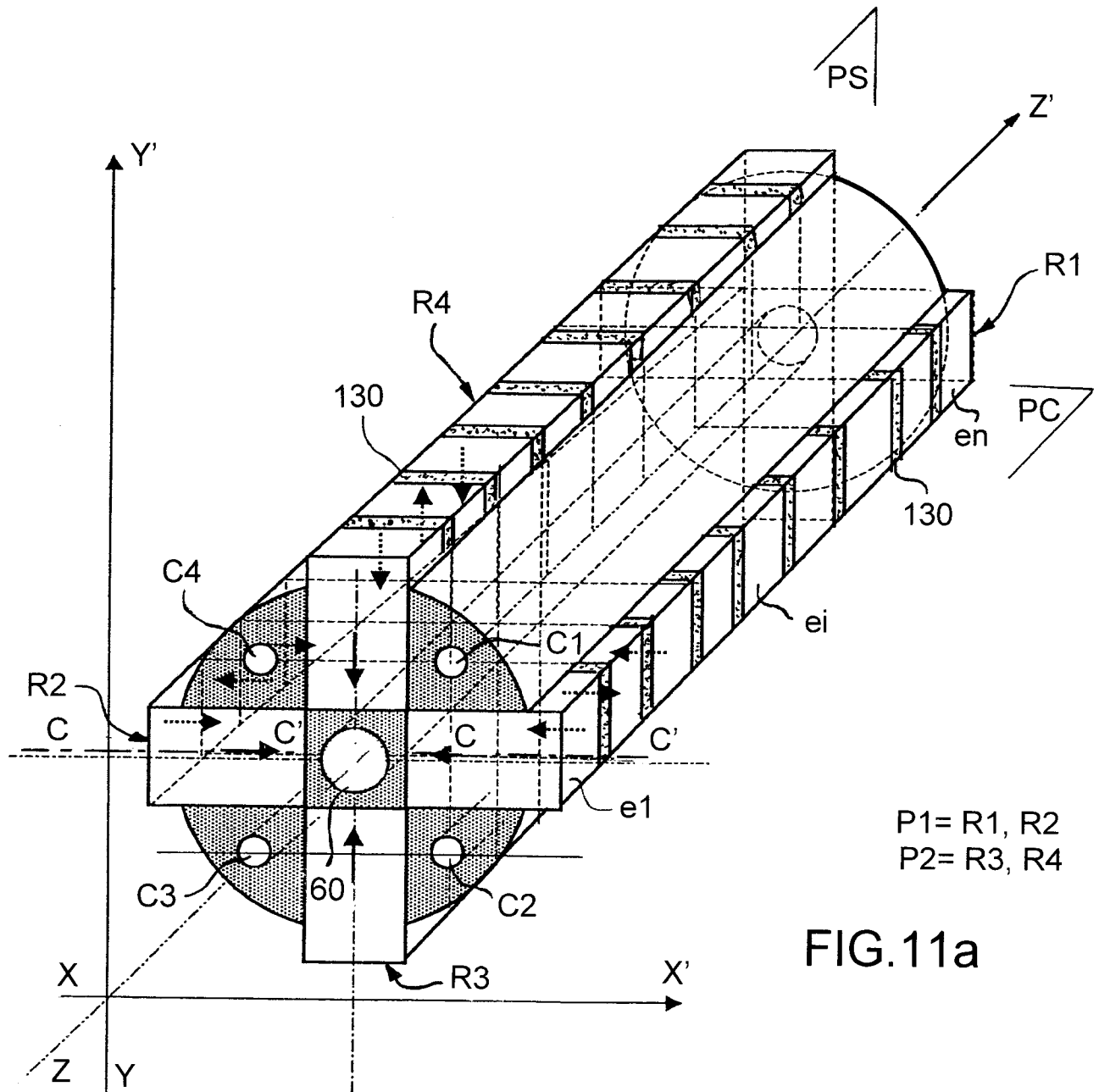
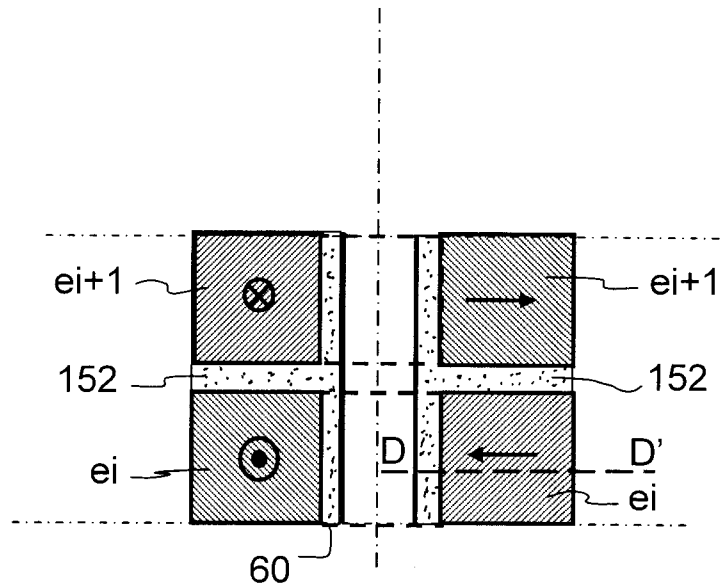
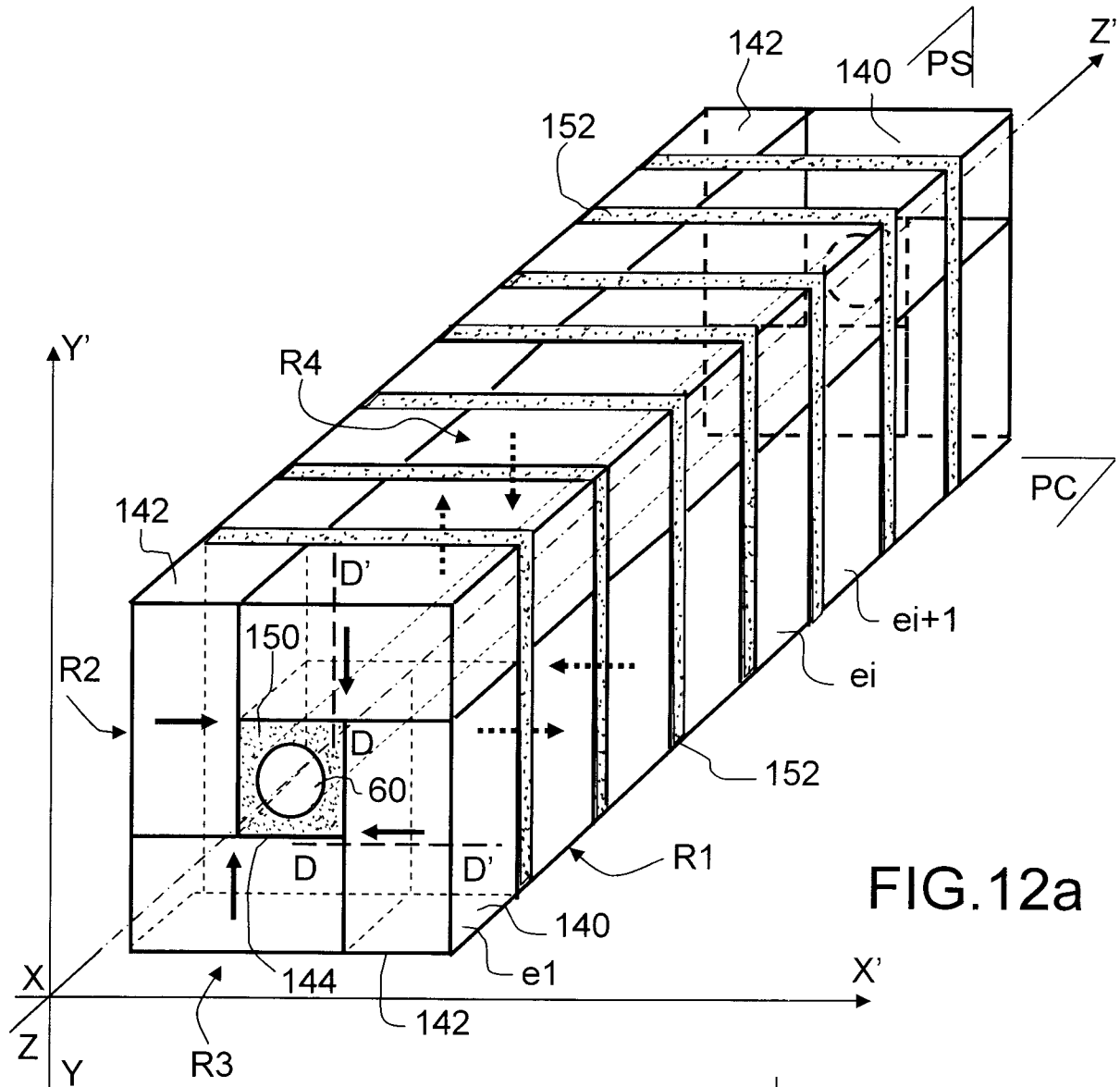


FIG. 10b





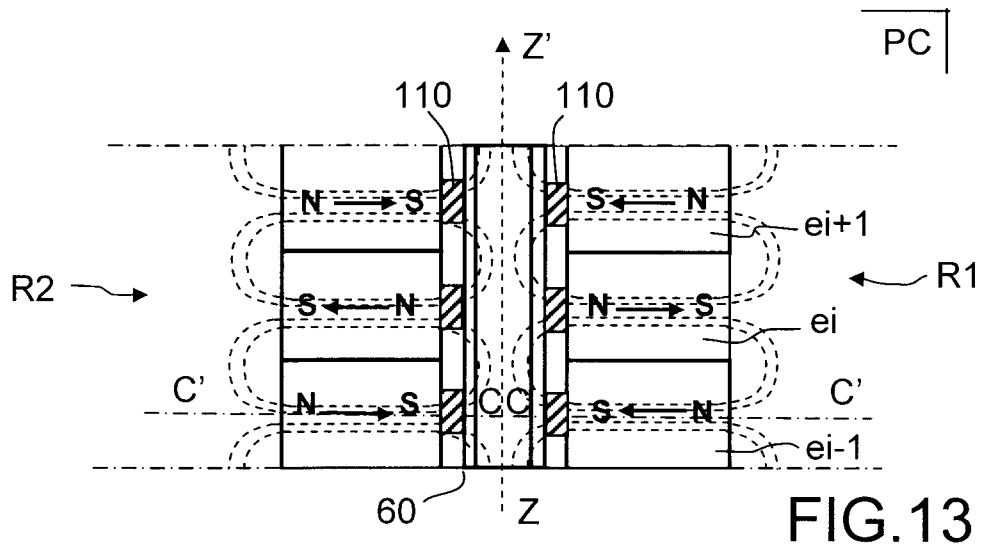


FIG. 13

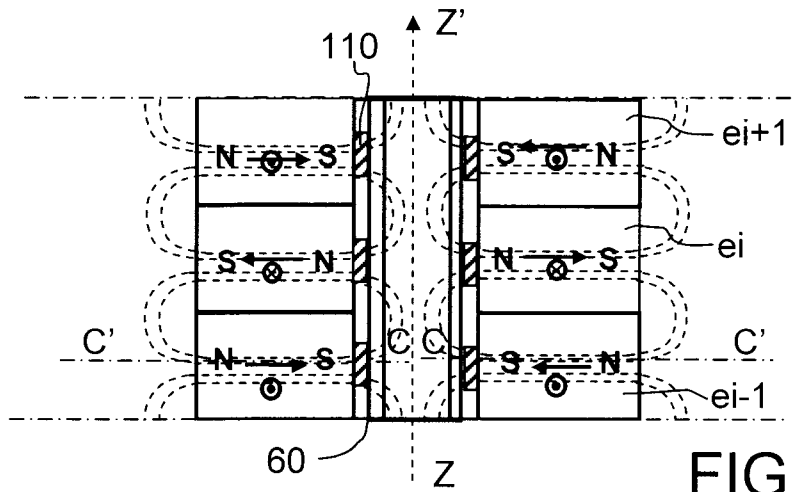


FIG. 14

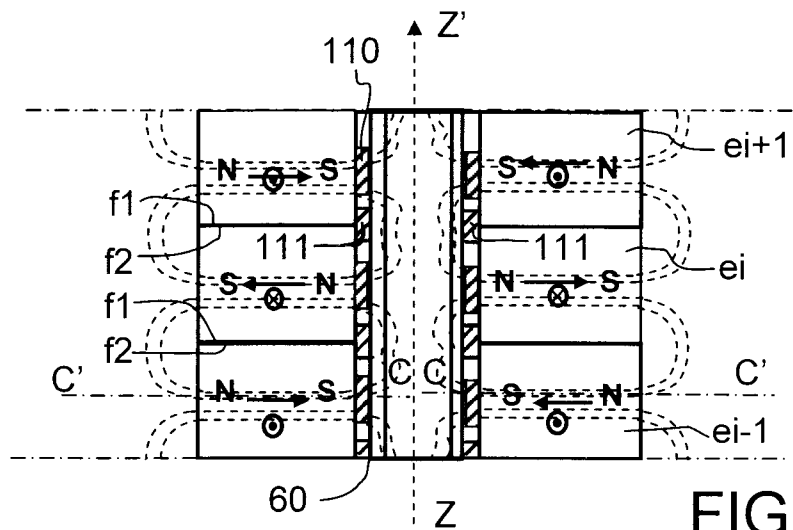


FIG. 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/067236

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01J23/00 H01J23/087

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WESSEL-BERG T: "A new quadrupole PPM focusing scheme for high density electron beams" ELECTRON DEVICES MEETING, 1993. TECHNICAL DIGEST., INTERNATIONAL WASHINGTON, DC, USA 5-8 DEC. 1993, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 5 December 1993 (1993-12-05), pages 153-156, XP010118249 ISBN: 978-0-7803-1450-4	1,2,5-7, 9-14
Y	abstract; figure 1	3,4,8
Y	EP 0 591 579 A (VARIAN ASSOCIATES [US]) 13 April 1994 (1994-04-13) abstract; figure 3	3,4,8
A	US 4 720 692 A (JIN KORDA K [US]) 19 January 1988 (1988-01-19) abstract; figure 1	1-14

---/
 --



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 mars 2009

Date of mailing of the international search report

03/04/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Flierl, Patrik

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/067236

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 373 388 A (PAUL MEYERER) 12 March 1968 (1968-03-12) abstract; figures 1-4 -----	1-14
A	US 4 433 270 A (DROZDOV SERGEI S [SU] ET AL) 21 February 1984 (1984-02-21) column 3, line 7 -----	1-14
A	US 3 129 356 A (PHILLIPS ROBERT M) 14 April 1964 (1964-04-14) figure 1 -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/067236

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0591579	A	13-04-1994	US 5363016 A	08-11-1994
US 4720692	A	19-01-1988	NONE	
US 3373388	A	12-03-1968	DE 1491445 A1	12-06-1969
			GB 1143311 A	19-02-1969
			NL 6517037 A	27-07-1966
			NO 119323 B	04-05-1970
			SE 320734 B	16-02-1970
US 4433270	A	21-02-1984	DE 3050257 C1	04-10-1984
			DE 3050257 T0	25-03-1982
			JP 57500217 T	04-02-1982
			NL 8020101 A	01-12-1981
			WO 8102221 A1	06-08-1981
US 3129356	A	14-04-1964	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2008/067236

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01J23/00 H01J23/087

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H01J

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WESSEL-BERG T: "A new quadrupole PPM focusing scheme for high density electron beams" ELECTRON DEVICES MEETING, 1993. TECHNICAL DIGEST., INTERNATIONAL WASHINGTON, DC, USA 5-8 DEC. 1993, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 5 décembre 1993 (1993-12-05), pages 153-156, XP010118249 ISBN: 978-0-7803-1450-4	1,2,5-7, 9-14
Y	abrégé; figure 1	3,4,8
Y	EP 0 591 579 A (VARIAN ASSOCIATES [US]) 13 avril 1994 (1994-04-13) abrégé; figure 3	3,4,8
A	US 4 720 692 A (JIN KORDA K [US]) 19 janvier 1988 (1988-01-19) abrégé; figure 1	1-14

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 mars 2009

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

03/04/2009

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Flierl, Patrik

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2008/067236

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 3 373 388 A (PAUL MEYERER) 12 mars 1968 (1968-03-12) abrégé; figures 1-4 -----	1-14
A	US 4 433 270 A (DROZDOV SERGEI S [SU] ET AL) 21 février 1984 (1984-02-21) colonne 3, ligne 7 -----	1-14
A	US 3 129 356 A (PHILLIPS ROBERT M) 14 avril 1964 (1964-04-14) figure 1 -----	1-14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2008/067236

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0591579	A	13-04-1994	US 5363016 A	08-11-1994
US 4720692	A	19-01-1988	AUCUN	
US 3373388	A	12-03-1968	DE 1491445 A1	12-06-1969
			GB 1143311 A	19-02-1969
			NL 6517037 A	27-07-1966
			NO 119323 B	04-05-1970
			SE 320734 B	16-02-1970
US 4433270	A	21-02-1984	DE 3050257 C1	04-10-1984
			DE 3050257 T0	25-03-1982
			JP 57500217 T	04-02-1982
			NL 8020101 A	01-12-1981
			WO 8102221 A1	06-08-1981
US 3129356	A	14-04-1964	AUCUN	