

(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
2 juillet 2015 (02.07.2015)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/097384 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
H01J 25/74 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/053471
- (22) Date de dépôt international :
19 décembre 2014 (19.12.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1363456 23 décembre 2013 (23.12.2013) FR
- (71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; Bâtiment "Le Ponant D", 25 rue Leblanc, F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : CHAMPEAUX, Stéphanie; 27 rue Bassin Fosse, F-91650 Breuillet (FR). GOUARD, Philippe; 10 bis rue du Bois Bouron, F-91330 Yerres (FR).
- (74) Mandataire : SANTARELLI; 49, Avenue des Champs-Elysées, F-75008 Paris (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

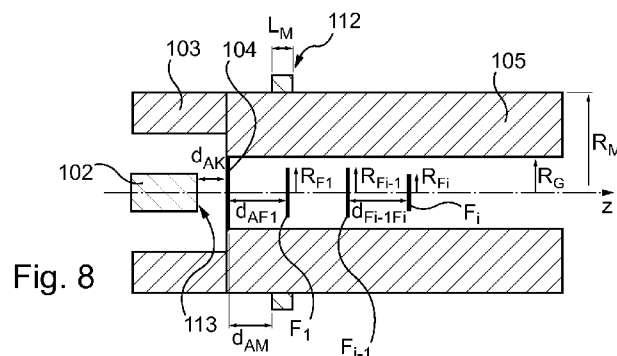
— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : MICROWAVE WAVE GENERATOR DEVICE WITH OSCILLATING VIRTUAL CATHODE, WITH AXIAL GEOMETRY, COMPRISING AT LEAST ONE REFLECTOR AND A MAGNETIC RING, WHICH IS CONFIGURED TO BE POWERED BY A HIGH-IMPEDANCE GENERATOR

(54) Titre : DISPOSITIF GENERATEUR D'ONDES MICROONDES A CATHODE VIRTUELLE OSCILLANTE, A GEOMETRIE AXIALE, COMPORTANT AU MOINS UN REFLECTEUR ET UNE BAGUE MAGNETIQUE, CONFIGURE POUR ETRE ALIMENTE PAR UN GENERATEUR A FORTE IMPEDANCE



(57) Abstract : The present application relates to a microwave wave generator with oscillating virtual cathode, with axial geometry, comprising at least one first reflector (F_1) positioned in a cylindrical waveguide (105) downstream of a thin anode (104), positioned at the entrance of the cylindrical waveguide (105), between a cathode (102) and the cylindrical waveguide (105). The device further comprises a tight magnetic ring (112) of width (L_M) along the longitudinal axis z , positioned externally around the cylindrical waveguide (105), between the thin anode (104) and the first reflector (F_1).

(57) Abrégé : La présente demande concerne un générateur d'ondes microondes à cathode virtuelle oscillante, à géométrie axiale, comportant au moins un premier réflecteur (F_1) positionné dans un guide d'ondes cylindrique (105) en aval d'une anode mince (104), positionnée à l'entrée

[Suite sur la page suivante]

WO 2015/097384 A1

du guide d'ondes cylindrique (105), entre une cathode (102) et le guide d'ondes cylindrique (105). Le dispositif comporte en outre une bague magnétique (112) étroite de largeur (L_M) selon l'axe longitudinal z , positionnée extérieurement autour du guide d'ondes cylindrique (105), entre l'anode mince (104) et le premier réflecteur (F1).

**DISPOSITIF GENERATEUR D'ONDES MICROONDES A CATHODE
VIRTUELLE OSCILLANTE, A GEOMETRIE AXIALE, COMPORTANT AU
MOINS UN REFLECTEUR ET UNE BAGUE MAGNETIQUE, CONFIGURE
POUR ETRE ALIMENTE PAR UN GENERATEUR A FORTE IMPEDANCE**

5

La présente invention concerne un dispositif générateur d'ondes microondes à cathode virtuelle oscillante (souvent désigné par le vocable de type VIRCATOR, découlant de l'expression anglaise de « VIRtuel CAthode oscillaTOR »).

10

Un dispositif générateur d'ondes microondes à cathode virtuelle oscillante de l'art antérieur, ou VIRCATOR, est représenté schématiquement sur la figure 1.

15

Le VIRCATOR comprend une diode constituée d'une cathode 2 et d'une anode 3+4, émettant un faisceau d'électrons 1, ainsi que d'un guide d'ondes cylindrique 5. L'anode est constituée d'une armature épaisse 3 et d'une feuille mince 4 (fréquemment appelée par la suite « anode mince 4 » par simplification). On entend ici par « mince » que la feuille de l'anode 4 présente une épaisseur de l'ordre du micromètre, c'est-à-dire de quelques micromètres voire de quelques dixièmes de micromètres. La feuille mince 4 est couplée au guide d'ondes cylindrique 5. En d'autres termes, l'anode mince 4 sépare la cathode 2 du guide d'ondes cylindrique 5 en étant située à une entrée du guide d'ondes 5, à une interface entre l'armature épaisse 3 et le guide d'ondes 5 ; et l'armature épaisse 3 entoure généralement la cathode 2.

20

25

Ce type de dispositif est connu pour produire des impulsions microondes de fortes puissances.

30

A cette fin, une différence de potentiel est appliquée aux bornes de la diode 2+3+4 créant une émission électronique au niveau de la cathode 2. Quand la densité de courant électronique émise dépasse la densité de courant limite de Child-Langmuir, le faisceau d'électrons 1 éclate sous l'effet de sa propre charge d'espace. Au niveau de la feuille mince 4 de l'anode, les composantes transverses du champ électrique, par rapport à un axe z représentant un axe longitudinal du guide d'ondes cylindrique 5, s'annulent. Le

faisceau d'électrons 1 commence alors à se pincer sous l'effet de son champ magnétique. Quand le courant pénétrant dans le guide d'ondes cylindrique 5 dépasse le courant limite de charge d'espace (dit courant « critique », noté I_c), la densité d'électrons devient si forte que le faisceau ne peut plus se propager dans le guide d'ondes 5. Une accumulation de charge 6, communément appelée « cathode virtuelle 6 », se forme alors au-delà de la feuille mince 4. La cathode virtuelle 6 dévie alors de nombreux électrons jusqu'à en renvoyer certains vers la cathode 2, à travers la feuille mince 4.

En régime relativiste, une estimation du courant critique I_c est donnée par :

$$I_c = \frac{4\pi\epsilon_0 mc^3 (\gamma^{2/3} - 1)^{3/2}}{q (1 + 2 \ln(\frac{R_G}{r}))}$$

avec $\gamma = 1 + qV/mc^2$, où q est la charge d'un électron, V la différence de potentiel appliquée entre les électrodes de la diode 2+3+4, m la masse d'un électron au repos, c la vitesse de la lumière, et ϵ_0 la permittivité du vide.

Compte tenu de l'éclatement du faisceau à l'émission dans la diode, le rayon du faisceau r entrant dans le guide d'ondes est de l'ordre du rayon du guide d'ondes cylindrique R_G . Un ordre de grandeur du courant critique I_c (en kilo-Ampère) est alors donné par l'expression simplifiée suivante :

$$I_c \approx 17 (\gamma^{2/3} - 1)^{3/2}$$

Tout en se rapprochant de l'anode mince 4, la cathode virtuelle 6 accroît sa densité de charges jusqu'au moment où elle éclate sous l'effet de sa propre charge d'espace et une nouvelle cathode virtuelle se reconstitue un peu plus loin dans le guide d'ondes 5. C'est ce principe d'oscillation de la cathode virtuelle qui est à l'origine d'une émission d'une onde microonde 7.

La figure 1 représente une formation d'une cathode virtuelle oscillante dans un dispositif de type VIRCATOR de l'art antérieur quand le courant du faisceau dépasse le courant critique dans le guide d'ondes 5. La figure 2 représente la signature caractéristique, dite « en losange » de la cathode virtuelle oscillante 6 dans l'espace des phases avec l'accélération et la décélération des électrons au passage de l'anode mince 4 sur leur trajet de la

cathode 2 vers la cathode virtuelle 6 et inversement, c'est-à-dire la quantité de mouvement selon la direction longitudinale et en fonction de la position longitudinale.

La cathode virtuelle 6 se déplace autour d'une position moyenne qui se situe à une distance de l'anode mince 4 approximativement égale à celle qui sépare l'anode mince 4 de la cathode émettrice 2 (cette dernière distance étant désignée par d_{AK}). Les électrons qui sont renvoyés par la cathode virtuelle 6 vers la cathode 2 en passant à travers l'anode mince 4 sont modulés à la fréquence de l'onde microonde 7 et interagissent avec le faisceau d'électrons 1 créé dans l'espace entre la cathode 2 et l'anode mince 4 en le modulant légèrement. Ces électrons rétrodiffusés sont freinés entre l'anode mince 4 et la cathode 2. Ils sont aussi déviés principalement vers l'armature de l'anode 3.

Parallèlement, les électrons qui franchissent la cathode virtuelle 6 reprennent de l'énergie à l'onde microonde 7 qui se propage dans le guide d'ondes 5, diminuant ainsi son intensité.

Le dimensionnement d'un VIRCATOR axial selon l'état de l'art connu est le suivant :

La fréquence f de l'onde microonde 7 émise (exprimée en GHz) est fonction de la distance d_{AK} (exprimée en cm) qui sépare la cathode 2 de l'anode mince 4, et du facteur relativiste γ des électrons au niveau de l'anode mince 4 en relation avec la différence de potentiel appliquée à la diode 2+3+4. Cette fréquence peut être estimée par la formule suivante :

$$f = \frac{4,77}{d_{AK}} \log(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})$$

L'onde microonde 7, ayant une symétrie axiale de révolution, évolue dans des modes dits « transverses magnétiques », désigné par « TM_{0n} », la composante axiale de son champ magnétique étant nulle. Pour qu'elle se propage à l'intérieur du guide d'ondes cylindrique 5 dans le seul mode TM_{01} , il faut que le rayon R_G du guide d'ondes cylindrique 5 soit supérieur à la longueur d'onde de coupure du mode suivant TM_{02} . L'équation ci-dessous (et non la formule inverse qui est apparue être erronée) rend compte de ces conditions de propagation :

$$\frac{k_{01} c}{2\pi f} \leq R_c \leq \frac{k_{02} c}{2\pi f}$$

où k_{0n} représente la racine de l'équation de la fonction de Bessel
 5 $J_0(k_{0n}) = 0$, avec $k_{01} = 2,4048$ et $k_{02} = 5,5201$.

La longueur du guide d'ondes 5 est, de préférence, égale à plusieurs fois la longueur d'onde λ de l'onde électromagnétique 7 ($\lambda = c/f$).

Un meilleur fonctionnement du couplage de la cathode virtuelle 6 avec l'onde électromagnétique 7 est obtenu lorsque la densité maximale de la cathode virtuelle 6 à sa position moyenne est située dans le voisinage du maximum de la composante radiale du champ électrique de l'onde électromagnétique. Considérant que l'onde électromagnétique 7 se propage dans le seul mode TM_{01} et considérant aussi l'éclatement du faisceau à l'émission, le rayon R_c de la cathode 2 vérifie alors, de préférence, la relation
 10
 15 suivante :

$$R_c < 1,8412 \frac{R_G}{k_{01}} \approx 0,75 \times R_G$$

Le dispositif décrit ci-dessus est de conception simple. Son fonctionnement est robuste et ne nécessite pas de recours à un champ magnétique externe. Par contre son rendement en puissance (rapport de la puissance maximale de l'onde émise sur la puissance électrique maximale injectée dans la diode) est très faible, de l'ordre d'environ 1%. Par ailleurs, les fréquences de l'onde émise suivent directement les variations temporelles de la tension appliquée, ce qui conduit à l'obtention d'une onde électromagnétique de qualité spectrale médiocre.
 20

25 Pour contrevenir à au moins une partie de ces inconvénients tout en conservant une géométrie axiale, l'implantation d'un ou plusieurs réflecteurs dans le guide d'ondes cylindrique 5 a été proposée.

Ce type de dispositif a par exemple fait l'objet de la demande de brevet WO2006/037918. Un exemple de dispositif tel que décrit dans cette
 30 demande est représenté sur les figures 3 et 4.

Les réflecteurs sont typiquement des parois fines (c'est-à-dire de l'ordre du micromètre d'épaisseur), transparents aux électrons et aptes à

réfléchir totalement l'onde microonde 7 créée par une cathode virtuelle. En outre, ils présentent une forme cylindrique circulaire, c'est-à-dire de disque. Ils sont souvent réalisés en mylar aluminisé.

5 Dans l'exemple représenté sur la figure 3, un premier réflecteur 8 est positionné à l'intérieur du guide d'ondes 5 à une distance $D1$ de l'anode mince 4. Cette distance $D1$ est égale à sensiblement deux fois la distance d_{AK} qui sépare l'anode mince 4 de la cathode 2, de telle sorte qu'une cathode virtuelle soit créée et positionnée approximativement à mi-distance de l'anode mince 4 et du premier réflecteur 8.

10 Dans cet exemple, un réflecteur supplémentaire 9 est positionné dans le guide d'ondes cylindrique 5 au-delà du premier réflecteur 8, de telle sorte que la distance séparant deux réflecteurs successifs soit égale à sensiblement deux fois la distance d_{AK} qui sépare l'anode mince 4 de la cathode 2, c'est-à-dire sensiblement la distance $D1$.

15 Les réflecteurs peuvent être « fermés » ou « ouverts ». Comme l'illustrent les figures 3 et 4, un réflecteur est dit « fermé » quand il clôt entièrement une section droite du guide d'ondes cylindrique 5 (c'est le cas, par exemple, du premier réflecteur 8), et un réflecteur est dit « ouvert » quand il n'obstrue qu'une fraction centrée de section droite du guide d'ondes cylindrique
20 5, laissant une ouverture sensiblement annulaire 10 entre la périphérie du réflecteur et la paroi interne du guide d'ondes 5 (c'est le cas, dans le présent exemple, du réflecteur supplémentaire 9).

Le réflecteur le plus éloigné de l'anode mince 4 est préférentiellement ouvert afin de favoriser la propagation de l'onde microonde
25 vers la sortie du guide d'ondes cylindrique 5, la sortie étant l'extrémité du guide d'ondes cylindrique 5 opposée à celle où est située l'anode mince 4.

Traditionnellement, un réflecteur ouvert présente un rayon R supérieur ou égal à sensiblement 0,75 fois le rayon R_G du guide d'ondes cylindrique 5 pour réfléchir le maximum de la composante radiale du champ
30 électrique de l'onde.

Le premier réflecteur 8 a pour fonction de réfléchir l'onde émise par la cathode virtuelle, comme l'anode mince 4. L'onde réfléchie par le premier

réflecteur 8 interagit à nouveau avec les électrons et la cathode virtuelle, amplifiant l'onde microonde 7. Une première pseudo-cavité 11, cylindrique, formée entre l'anode mince 4, le premier réflecteur 8 et une paroi interne du guide d'ondes cylindrique 5 permet de renforcer la puissance de l'onde créée par la cathode virtuelle. Ce renforcement de l'onde contribue à améliorer la mise en paquets des électrons de la cathode virtuelle à la fréquence souhaitée.

En introduisant une pluralité de réflecteurs dans le dispositif (c'est-à-dire un nombre N), le mécanisme de renforcement de l'onde microonde 7 et de mise en paquets qui a cours dans la première pseudo-cavité 11 est dupliqué dans des pseudo-cavités suivantes formées par deux réflecteurs successifs (par exemple le premier réflecteur 8 et le réflecteur supplémentaire 9 sur la figure 3) et le guide d'ondes cylindrique 5.

Ainsi les électrons qui franchissent le réflecteur de rang (i) ($1 \leq i \leq N-1$, ou N est le nombre total de réflecteurs présents) créent une $(i+1)^{\text{ème}}$ cathode virtuelle dont la fréquence d'oscillation est déterminée par la pseudo-cavité formée par les réflecteurs de rang (i) et (i+1) et la paroi interne du guide d'ondes 5. Cette pseudo-cavité contribue à renforcer l'onde électromagnétique 7 émise par la $(i+1)^{\text{ème}}$ cathode virtuelle et la mise en paquets des électrons.

Si le réflecteur (i+1) est ouvert, l'onde électromagnétique émise par la $(i+1)^{\text{ème}}$ cathode virtuelle peut s'écouler dans le guide d'ondes 5 au-delà du réflecteur (i+1), en direction de la sortie du guide, via l'ouverture annulaire présente entre la périphérie du réflecteur (i+1) et la paroi interne du guide d'ondes 5.

Ce type de dispositif avec réflecteurs permet d'obtenir des performances sensiblement améliorées par rapport aux dispositifs de l'art antérieur sans réflecteur.

Un dispositif, émettant en bande S en sortie du guide d'ondes, c'est-à-dire dans une gamme de fréquences allant de 2 GHz à 4 GHz, à un seul réflecteur ouvert affiche une amélioration de rendement de l'ordre de 4%. L'adjonction d'un deuxième réflecteur ouvert conduit à une amélioration de l'ordre de 10%.

Toutefois, pour un tel dispositif comprenant des réflecteurs, il existe un nombre optimal de réflecteurs au-delà duquel le rendement en puissance décroît. Par exemple, un dispositif avec trois réflecteurs ouverts affiche un optimum de rendement de l'ordre de 13%.

5 Pour encore augmenter le rendement d'un dispositif de type VIRCATOR avec réflecteurs tel que décrit précédemment, la demande de brevet français déposée sous le numéro 12/62385, et non encore publiée, décrit un dispositif générateur d'ondes microondes à cathode virtuelle oscillante comportant une pluralité de réflecteurs. Tous les réflecteurs sont alors ouverts
10 avec le rayon de chacun des réflecteurs de la pluralité qui est inférieur ou égal au rayon du réflecteur précédent, le rayon du dernier réflecteur étant inférieur au rayon du premier réflecteur. Un tel dispositif est par exemple représenté figure 5 selon un exemple de réalisation.

Le dispositif de la figure 5 comprend ici un ensemble de cinq
15 réflecteurs ($N = 5$), notés communément E_i et référencés ici E_1 à E_5 , localisés dans le guide d'ondes 5, transparents aux électrons et configurés pour réfléchir l'onde microonde créée par une cathode virtuelle. Ils sont par exemple en mylar aluminisé.

Tous les réflecteurs E_i sont « ouverts » pour faciliter la propagation de
20 l'onde émise par les différentes cathodes virtuelles vers la sortie du guide d'ondes 5.

Le rayon du premier réflecteur E_1 localisé après l'anode mince 4 dans le guide d'ondes 5 est préférentiellement supérieur ou égal à $0,75R_G$. Il réfléchit ainsi le maximum de la composante radiale du champ électrique de
25 l'onde et renforce ainsi l'onde microonde émise par la première cathode virtuelle, c'est-à-dire la cathode virtuelle formée juste après l'anode mince 4, entre l'anode mince 4 et le premier réflecteur E_1 .

Le rayon des réflecteurs E_i suivants est progressivement réduit sans limite inférieure. La taille du rayon de chaque réflecteur est possiblement
30 choisie inférieure à $0,75 R_G$. Les modalités de réduction de la taille du rayon des réflecteurs ouverts sont par exemple les suivantes:

- Le rayon du réflecteur de rang (i+1) est inférieur ou égal au rayon du réflecteur de rang i, c'est-à-dire du réflecteur directement précédent ;
- Le rayon du dernier réflecteur (ici E_5 , ou noté de manière plus générale E_N , quel que soit N) est inférieur au rayon du premier réflecteur E_1 .

Dans l'exemple de réalisation de la figure 5, les réflecteurs E_1 à E_4 sont de même rayon alors que le dernier réflecteur, E_5 , est de rayon moindre.

Un dispositif selon l'invention décrite dans la demande de brevet français déposée sous le numéro 12/62385, et non encore publiée, permet d'accroître considérablement les performances d'un VIRCATOR axial classique de l'art antérieur, et en particulier d'un VIRCATOR axial avec réflecteurs de l'art antérieur comme décrit dans la demande WO2006/037918. Par exemple, un dispositif avec cinq réflecteurs de rayons non constants (avec le rayon de chaque réflecteur inférieur ou égal à celui du réflecteur directement précédent), émettant en bande S (c'est-à-dire dans une gamme de fréquences allant de 2 GHz à 4 GHz), affiche un rendement de 21%.

Le fonctionnement des dispositifs de type VIRCATOR de l'art antérieur, décrits ci-dessus, est cependant limité à des générateurs d'alimentation dont l'impédance Z est inférieure à une impédance dite « critique », notée Z_c . Cette impédance critique Z_c est définie comme le rapport de la tension d'alimentation V sur le courant critique I_c défini précédemment, c'est-à-dire $Z_c = V/I_c$.

La figure 6 représente une propagation d'un faisceau d'électrons dans le guide d'ondes 5 en régime quasi laminaire quand l'impédance Z du générateur est supérieure à l'impédance critique Z_c . Ceci a pour effet qu'aucune cathode virtuelle ne se forme. La figure 7 représente, à titre illustratif, l'absence de formation de cathode virtuelle oscillante dans l'espace des phases. Aucun électron ne peut alors être renvoyé en direction de la cathode 2 à travers l'anode mince 4.

L'objet de la présente demande vise à remédier au moins en partie aux inconvénients précités, et à mener en outre à d'autres avantages.

L'objet de la présente demande vise plus particulièrement à permettre à un dispositif générateur d'ondes microondes à cathode virtuelle de type VIRCATOR axial, avec réflecteurs, de pouvoir fonctionner en étant couplé à un générateur dont l'impédance Z dépasse l'impédance critique Z_c .

5 A cet effet, est proposé, selon un premier aspect, un dispositif générateur d'ondes microondes à cathode virtuelle oscillante, à géométrie axiale, comportant une cathode, une anode mince et un guide d'ondes cylindrique, d'axe longitudinal z et de rayon R_G , présentant une première
10 extrémité formant une entrée du guide d'ondes cylindrique et une deuxième extrémité formant une sortie du guide d'ondes cylindrique, la cathode étant positionnée en amont de l'entrée du guide d'ondes cylindrique et configurée pour émettre des électrons, et l'anode mince étant positionnée à l'entrée du guide d'ondes cylindrique, entre la cathode et le guide d'ondes cylindrique, et le dispositif comprenant en outre au moins un premier réflecteur localisés dans le
15 guide d'ondes, transparent aux électrons et configuré pour réfléchir une onde microonde créée par au moins une cathode virtuelle générée dans le guide d'ondes, le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre une bague magnétique étroite de largeur L_M selon l'axe longitudinal z , positionnée extérieurement autour du guide d'ondes cylindrique à une distance d_{AM} de
20 l'anode mince et avec le premier réflecteur positionné à une distance de l'anode mince au-delà de la bague magnétique de sorte que la bague magnétique est localisée entre l'anode mince et le premier réflecteur, la bague magnétique étant configurée pour générer un champ magnétique apte à freiner les électrons et à créer une accumulation de charges à l'origine d'une cathode virtuelle non-
25 oscillante positionnée entre l'anode mince et le premier réflecteur.

On entend ici par étroite que la bague magnétique présente une largeur L_M comprise entre environ d_{AK} et environ une moitié du rayon du guide d'ondes R_G . Elle est par exemple égale à environ d_{AK} .

30 La bague magnétique présente en outre un rayon interne R_M qui est supérieur à R_G afin que la bague magnétique entoure le guide d'ondes. La bague magnétique entoure par exemple le guide d'ondes à distance de celui-ci.

Toutefois, selon des alternatives de réalisation, la bague magnétique est reliée au guide d'ondes, voire en contact avec celui-ci.

Enfin, la bague magnétique présente une épaisseur par exemple choisie par un utilisateur en fonction des autres paramètres de dimensionnement du dispositif. La bague magnétique est par exemple une bobine de courant ou un aimant permanent de sorte qu'il est alors possible de se dispenser d'alimentation électrique.

Par exemple, la distance d_{AM} séparant la bague magnétique de l'anode mince le long de l'axe z est égale ou supérieure à une distance d_{AK} séparant la cathode de l'anode mince.

Selon un autre exemple, la distance d_{AF1} séparant le premier réflecteur de l'anode mince est égale ou supérieure à une somme de la distance d_{AM} , séparant la bague magnétique de l'anode mince, et de la largeur L_M de la bague magnétique.

Selon encore un autre exemple, la distance d_{AF1} séparant le premier réflecteur de l'anode mince est égale ou supérieure à environ deux fois la distance d_{AK} séparant la cathode de l'anode mince.

Avantageusement, au moins le premier réflecteur localisé dans le guide d'ondes est un réflecteur ouvert, c'est-à-dire qu'il n'obstrue qu'une fraction centrée de section droite du guide d'ondes cylindrique, laissant une ouverture sensiblement annulaire entre une périphérie du réflecteur et une paroi interne du guide d'ondes.

Selon un exemple de réalisation particulier, le premier réflecteur, ouvert, présente possiblement un rayon égal ou inférieur à $0,75 R_G$, le rayon du guide d'ondes.

Selon un mode de réalisation intéressant, le dispositif comporte une pluralité de réflecteurs successifs positionnés dans le guide d'ondes cylindrique.

Deux réflecteurs successifs de la pluralité de réflecteurs sont par exemple séparés l'un de l'autre d'une distance d_{Fi-1Fi} égale ou inférieure à environ deux fois une distance d_{AK} séparant la cathode de l'anode mince.

Ou par exemple, deux réflecteurs successifs de la pluralité de réflecteurs sont séparés l'un de l'autre d'une distance d_{Fi-1Fi} égale ou supérieure à environ une fois la distance d_{AK} séparant la cathode de l'anode mince.

5 Chaque distance est par exemple comprise entre une à deux fois la distance d_{AK} .

Dans le cadre de la présente demande, que le dispositif comporte un réflecteur ou une pluralité de réflecteur, le premier réflecteur est celui positionné au plus près de l'anode mince. C'est-à-dire, lorsque le dispositif comporte une pluralité de réflecteurs, le premier réflecteur demeure celui positionné au plus
10 près de l'anode mince, de sorte que les autres réflecteurs de la pluralité sont positionnés en aval du premier réflecteur.

Dans un exemple de réalisation dans lequel le dispositif comprend une pluralité de réflecteurs successifs, tous les réflecteurs sont alors avantageusement ouverts.

15 Et par exemple, le premier réflecteur, ouvert, présente possiblement un rayon égal ou inférieur à $0,75 R_G$, le rayon du guide d'ondes.

En outre, lorsque le dispositif comporte une pluralité de réflecteur, tous les réflecteurs présentent possiblement un même rayon R_{Fi} .

Toutefois, selon une alternative de réalisation, chaque réflecteur peut
20 avoir un rayon égal ou inférieur à celui du réflecteur directement précédent dans le guide d'ondes cylindrique de sorte à favoriser un guidage des ondes vers la sortie du guide d'ondes. Les réflecteurs sont ainsi successivement décroissants sans limite inférieure, c'est-à-dire qu'un dernier réflecteur dans le guide d'ondes, voire un deuxième réflecteur (c'est-à-dire celui positionné juste
25 après le premier réflecteur), peut avoir un rayon inférieur à celui du premier réflecteur.

Selon un exemple de réalisation privilégié, le dispositif comporte trois réflecteurs positionnés dans le guide d'ondes.

30 Une telle bague permet de faire fonctionner un VIRCATOR en configuration axiale, avec au moins un réflecteur, et un générateur à forte impédance. Le dispositif gagne en outre en compacité, puisqu'un générateur à

forte impédance présente généralement un encombrement moindre qu'un générateur de basse impédance.

Le dispositif selon l'invention permet de générer une émission microonde monochromatique.

5 Le dispositif selon l'invention permet aussi d'émettre à une fréquence spécifique un maximum de puissance microonde sur l'axe selon un mode unique.

Le dispositif selon l'invention permet d'adapter un guide d'ondes en configuration axiale avec réflecteurs à l'impédance du générateur tout en conservant la fréquence microonde émise ainsi que la géométrie du guide d'ondes.

Le dispositif selon l'invention permet ainsi d'atteindre des rendements supérieurs à 15 % avec des générateurs à forte impédance en configuration axiale avec réflecteurs.

15 LISTE DES FIGURES

L'invention selon un exemple de réalisation sera bien comprise et ses avantages apparaitront mieux à la lecture de la description détaillée qui suit, donnée à titre indicatif et nullement limitatif, et en référence aux dessins annexés présentés ci-après.

20 La figure 1 représente schématiquement un VIRCATOR axial classique de l'art antérieur selon un exemple de réalisation, selon une vue longitudinale, illustrant une création de cathode virtuelle oscillante ;

La figure 2 présente un exemple de schéma instantané de la position des électrons dans l'espace des phases associé à la formation d'une cathode virtuelle oscillante ;

La figure 3 représente schématiquement un VIRCATOR axial avec réflecteurs de l'art antérieur selon un exemple de réalisation tel que décrit dans le document WO2006/037918, selon une vue longitudinale ;

La figure 4 représente, en vue transverse du VIRCATOR de la figure 30 3, un réflecteur fermé et un réflecteur ouvert selon un exemple de réalisation ;

La figure 5 représente un exemple de réalisation de VIRCATOR axial avec des réflecteurs ouverts tel que décrit dans la demande déposée sous le numéro 12/62385, et non encore publiée, selon une vue longitudinale ;

La figure 6 illustre schématiquement la dynamique d'un faisceau d'électrons dans un VIRCATOR axial de l'art antérieur, par exemple sans réflecteurs, selon une vue longitudinale, quand l'impédance d'alimentation est supérieure à l'impédance critique, induisant un régime quasi laminaire et aucune formation de cathode virtuelle ;

La figure 7 présente un exemple de schéma instantané de la position des électrons dans l'espace des phases en régime quasi laminaire, en l'absence de formation de cathode virtuelle ;

La figure 8 présente, selon une vue longitudinale, un exemple de réalisation d'un VIRCATOR axial avec une bague magnétique selon l'invention, comportant ici des réflecteurs ouverts ;

La figure 9 présente une vue transverse du VIRCATOR de la figure 8 ;

La figure 10 présente un exemple de schéma instantané de la position des électrons dans l'espace des phases dans le VIRCATOR de la figure 8 ;

La figure 11 présente schématiquement des iso-contours de l'intensité du champ magnétique selon une direction longitudinale du VIRCATOR de la figure 8 ;

La figure 12 est un tableau récapitulatif de la distance entre l'anode et le premier réflecteur et des distances entre deux réflecteurs successifs pour des simulations numériques réalisées sur des dispositifs selon des modes de réalisation de la présente invention ; et

La figure 13 est un tableau présentant un rendement en puissance (en pourcent) d'un dispositif selon des modes de réalisation de la présente invention en fonction du nombre de réflecteurs.

Un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention est représenté par exemple ici sur la figure 8.

De même que pour un dispositif traditionnel (voir notamment les figures 1 à 7), le dispositif de la figure 8 comporte une diode composée d'une cathode 102 et d'une anode, elle-même formée d'une feuille mince appelée anode mince 104 et d'une armature épaisse 103. La cathode 102 présente un rayon R_c et l'anode mince 104 présente typiquement une épaisseur de l'ordre du micromètre, c'est-à-dire de quelques micromètres voire de quelques dixièmes de micromètres.

Le dispositif comprend en outre un guide d'ondes cylindrique 105 de rayon interne R_G et de longueur L_G . Le guide d'ondes cylindrique 105 comporte un axe z selon une direction longitudinale, formant l'axe longitudinal du dispositif.

L'armature épaisse 103 entoure la cathode 102, et l'armature épaisse 103 et la cathode 102 sont positionnées à une entrée du guide d'ondes cylindrique 105 (à gauche sur la figure).

L'anode mince 104 est ici positionnée à une entrée du guide d'ondes cylindrique 105, entre le guide d'ondes cylindrique 105 et l'armature épaisse 103. L'anode mince 104 et la cathode 102 sont distants l'un de l'autre d'une distance notée d_{AK} .

La cathode 102, l'anode mince 104, l'armature épaisseur 103 et le guide d'ondes cylindrique 105 sont positionnés les uns par rapport aux autres alignés et centrés sur l'axe z . Ils présentent généralement des sections circulaires.

Pour émettre un rayonnement microonde sur l'axe, le rayon R_G du guide d'ondes 105 est avantageusement tel que la fréquence d'émission microonde f est supérieure à la fréquence de coupure du mode fondamental TE_{11} et inférieure à celle du mode suivant TM_{01} :

$$\frac{k'_{11}c}{2\pi f} \leq R_G \leq \frac{k_{01}c}{2\pi f}$$

où k'_{11} représente la racine de l'équation de la fonction de Bessel $J'_1(K'_{11})=0$ ($k'_{11}=1,8412$).

Le dispositif selon l'invention comprend une bague magnétique 112.

La bague magnétique 112 est avantageusement étroite, de largeur L_M et de rayon interne R_M , supérieur à R_G . Dans un exemple de mise en œuvre dans lequel la bague est une bobine, la bague présente alors par exemple une épaisseur qui correspond à une épaisseur du fil conducteur formant la bobine.

5 Selon un mode de réalisation particulièrement commode, la largeur L_M est environ égale à d_{AK} . De manière générale, une bague est par exemple considérée étroite si L_M est environ égale à une moitié du rayon du guide d'ondes R_G .

Elle est positionnée autour du guide d'ondes cylindrique 105, en aval
10 de l'anode 104, à une distance d_{AM} de l'anode 104 le long de l'axe z . De manière avantageuse, la distance d_{AM} est environ égale à la distance d_{AK} séparant la cathode 102 et l'anode 104.

L'étroitesse (selon la direction longitudinale du guide d'ondes cylindrique 105 représentée par l'axe z) de la bague magnétique 112 assure
15 ainsi une configuration de champ magnétique dominée par les champs de fuite. Autrement dit, du fait que la bague magnétique 112 est étroite, elle permet de générer des champs de fuite configurés pour former une concentration d'électrons entre l'anode mince 104 et un premier réflecteur. Les électrons, en s'enroulant le long des lignes de champs magnétiques, sont focalisés sur l'axe
20 z et sont, de fait freinés le long de l'axe z . Le courant du faisceau finit par dépasser localement le courant critique I_c . Il en résulte une accumulation locale de charges, qui est à l'origine de la formation d'une cathode virtuelle dite « non-oscillante ». La cathode virtuelle est ici « non-oscillante » en ce sens que peu d'électrons sont repoussés vers l'anode mince 104. Le champ magnétique
25 produit par la bague 112 induit une stagnation des électrons à proximité de l'axe z .

La bague magnétique 112 est par exemple une bobine de courant ou un aimant permanent de sorte qu'il est alors possible de se dispenser d'alimentation électrique.

30 Selon un mode particulièrement avantageux de la présente invention, le dispositif comporte au moins un premier réflecteur F_1 . Le premier

réflecteur F_1 est situé à une distance d_{AF_1} de l'anode mince 104 de sorte que d_{AF_1} est égale ou supérieure à la somme de d_{AM} et L_M , et de préférence égale.

Autrement dit, la bague ne s'étend que jusqu'au premier réflecteur et non au-delà, comme dans les dispositifs ayant recours à un champ magnétique de guidage. La bague est positionnée en aval de l'anode, ce qui diffère des
5 dispositifs où la diode est immergée ou semi-immersée par exemple.

Et selon un mode de réalisation privilégié, le dispositif comporte une pluralité de N réflecteurs F_i .

Dans le présent exemple de réalisation illustré figure 8, le dispositif
10 comporte un ensemble de trois réflecteurs F_i (c'est-à-dire avec $N=3$ et i allant de 1 à N), qui sont ici tous ouverts en leur périphérie. Les réflecteurs F_i sont localisés en aval de l'anode mince 104 et de la bague magnétique 112 dans le guide d'ondes cylindrique 105. Les réflecteurs F_i sont transparents aux électrons et aptes à réfléchir totalement les ondes électromagnétiques. Les
15 réflecteurs sont par exemple réalisés en mylar aluminisé. En fonctionnement, tous les réflecteurs sont avantageusement mis au même potentiel que l'anode mince 104.

Chaque réflecteur a un rayon R_{F_i} et deux réflecteurs successifs sont distants l'un de l'autre d'une distance $d_{F_{i-1}F_i}$.

20 Le positionnement des réflecteurs F_i dans le guide d'ondes 105 est tel que la puissance microonde est maximale en sortie du guide d'ondes 105. En outre, les réflecteurs F_i sont par exemple situés à distances variables les uns des autres, c'est-à-dire la distance d_{AF_1} et chaque distance $d_{F_{i-1}F_i}$ peuvent être toutes différentes les unes des autres. Autrement dit, tous les réflecteurs
25 du dispositif sont fixés dans le guide d'ondes cylindrique 105, mais les distances séparant deux réflecteurs successifs peuvent être différentes les unes des autres et différentes de la distance d_{AF_1} séparant le premier réflecteur F_1 de l'anode mince 104.

Avantageusement, la distance d_{AF_1} est égale ou supérieure à deux
30 fois la distance d_{AK} , et chaque distance $d_{F_{i-1}F_i}$ est par exemple comprise entre une à deux fois la distance d_{AK} . En effet, comme les électrons sont mis en rotation azimutale dans le guide d'ondes cylindrique 105 par le champ

magnétique de la bague 112, la distance d_{AF_1} séparant le premier réflecteur F_1 de l'anode 104 est possiblement sensiblement supérieure de celle des dispositifs de type VIRCATOR de l'art antérieur connus et la distance entre les réflecteurs de rangs i et $i+1$ est aussi possiblement inférieure à celle des
5 dispositifs de type VIRCATOR de l'art antérieur connus.

Si le courant du faisceau est suffisant au niveau d'un réflecteur de rang i , une cathode virtuelle oscillante est initiée derrière celui-ci, c'est-à-dire en aval du réflecteur de rang i .

La mise en rotation des électrons par le champ magnétique de la
10 bague 112 conjuguée à l'effet de la force centrifuge conduit à l'éclatement du faisceau après le dernier réflecteur F_N (ici F_3). Une grande partie des électrons est absorbée par la paroi interne du guide d'ondes cylindrique 105, les électrons restant sont éloignés du centre du guide d'ondes cylindrique 105, c'est-à-dire de l'axe z , ce qui minimise toute interaction possible entre les
15 électrons et les ondes magnétiques au centre du guide d'ondes cylindrique 105 où se situe le maximum de la puissance microonde du mode TE_{11} .

EXEMPLES DETAILLES DE MODES DE REALISATION

Le comportement d'un VIRCATOR axial émettant en bande S et comprenant N réflecteurs F_i et une bague magnétique 112 a été simulé
20 numériquement.

Dans les dispositifs simulés, le guide d'ondes cylindrique 105 est ici de longueur $L_G=500$ mm.

Ils comprennent 1 à 3 réflecteurs, c'est à dire $N = 1, 2$ ou 3 , ouverts en leur périphérie, de rayon constant R_{F_i} inférieur à R_G .

La distance séparant le réflecteur F_1 de l'anode et les distances séparant chaque réflecteur F_i du réflecteur précédent, en fonction du nombre de réflecteurs F_i disposés dans le guide d'ondes sont récapitulées dans le tableau de la figure 12.
25

Tous les dispositifs considérés ici permettent de générer une
30 émission microonde mono-fréquence en bande S sur l'axe z selon le mode TE_{11} .

Le générateur considéré ici délivre une tension de 500 kV.

Le courant critique I_c au-delà duquel un faisceau d'électrons ne se propage plus dans le guide d'ondes cylindrique 105 est de l'ordre 7,4 kA. L'impédance « critique » Z_c pour ce dispositif est ainsi de 67,5 Ω (ohm).

Le générateur d'alimentation considéré ici a une impédance de 70 Ω ,
5 c'est-à-dire supérieure à l'impédance « critique ».

L'écoulement du faisceau dans le guide est donc quasi laminaire. Le processus classique de formation de la cathode virtuelle oscillante ne peut donc pas être déclenché dans un VIRCATOR axial qui serait dépourvu de bague.

La formule qui relie la fréquence émise à la distance d_{AK} et la tension
10 appliquée V indique que la distance d_{AK} est avantageusement choisie entre environ 15,6 mm et environ 31 mm pour que le rayonnement électromagnétique microonde soit émis dans la bande S. La distance anode-cathode d_{AK} retenue ici est d'environ 22 mm.

Pour que le courant émis par la cathode soit adapté à une
15 impédance de 70 Ω avec une alimentation de 500 kV et une distance anode-cathode d_{AK} d'environ 22 mm, le rayon de la cathode R_c est alors d'environ 22,5 mm.

Afin que l'émission microonde dans la bande S soit mise en forme selon le mode fondamental TE_{11} du guide d'ondes cylindrique 105, la fréquence
20 de coupure du mode, $f_{11} = 1,8412c/(2\pi R_G)$, est avantageusement inférieure ou égale à 2 GHz. Ceci induit un rayon du guide R_G supérieur à environ 44 mm.

Le rayon R_G retenu ici est ainsi d'environ 50 mm.

La configuration du champ magnétique conduit localement à une augmentation du courant du faisceau dans le guide d'ondes pour dépasser le
25 courant critique. Sous l'effet des champs de fuite, les électrons sont focalisés sur l'axe et de fait freinés le long de l'axe. Il en résulte une accumulation locale de charges à l'origine de la formation d'une cathode virtuelle. Cette cathode virtuelle est non oscillante, peu d'électrons sont repoussés vers l'anode, la majorité des électrons sont ré-accélérés vers la sortie du guide. Le champ
30 magnétique induit une stagnation des électrons au voisinage de l'axe.

La configuration magnétique est assurée par la bague magnétique positionnée ici à une distance d_{AM} de l'anode d'environ 29 mm.

Dans les exemples de réalisation considérés ici, la bague créant le champ magnétique est ici une bobine de courant de 12750 A.tours (Ampère-tours) avec comme dimensions $L_M = 25$ mm et $R_M = 60,5$ mm.

5 Le premier réflecteur ouvert de rayon $R_{F_1} = 35$ mm est positionné au niveau de la face arrière de la bague magnétique, à une distance de l'anode $d_{AF_1} = 54$ mm, comme l'indique la figure 12. Le premier réflecteur, couplé à la bague magnétique, permet de créer la première cathode virtuelle oscillante derrière le premier réflecteur, c'est-à-dire en aval du premier réflecteur.

10 Le positionnement des réflecteurs suivants, pour les exemples de mises en œuvre comportant deux ou trois réflecteurs, de rayon $R_{F_i} = 35$ mm, optimise la puissance microonde émise dans la bande S.

Selon la figure 12, dans une configuration à deux réflecteurs, le deuxième réflecteur F_2 est positionné à une distance $d_{F_1-F_2}$ de 25 mm du premier réflecteur F_1 ; et dans une configuration à trois réflecteurs, le deuxième réflecteur F_2 est positionné à une distance $d_{F_1-F_2}$ de 29 mm du premier réflecteur F_1 , et le troisième réflecteur est positionné à une distance $d_{F_2-F_3}$ de 25 mm du deuxième réflecteur F_2 .

20 La figure 11 représente les iso-contours de l'intensité du champ magnétique selon une coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention comportant ici un réflecteur. L'intensité maximale du champ magnétique dans le guide est de l'ordre de 0,1 T (Tesla) dans une section du guide d'ondes au droit de la bague magnétique 112, c'est-à-dire à une section positionnée environ à une moitié de la largeur L_M de la bague magnétique.

25 La figure 13 résume les performances obtenues par la simulation d'un VIRCATOR axial selon l'invention comportant un, deux ou trois réflecteurs.

30 La figure 13 permet de constater que la puissance émise augmente avec le nombre de réflecteurs. Le rendement atteint est de l'ordre de 2,5 % avec un seul réflecteur et de 17,4 % avec trois réflecteurs. Un optimum de rendement est obtenu avec trois réflecteurs. L'adjonction d'un quatrième réflecteur est de faible utilité pour améliorer le rendement car le nombre d'électrons décroît et devient insuffisant dans le guide d'ondes ou à proximité de l'axe z.

Ainsi, un dispositif selon l'invention alimenté par un générateur à haute impédance permet d'émettre une puissance microonde en bande S avec un rendement proche de celui obtenu avec un dispositif en configuration axiale avec réflecteurs de l'art antérieur connu, alimenté avec un générateur de basse
5 impédance.

La configuration avec trois réflecteurs assure un rendement minimum de 13,8% pour une distance d_{F2-F3} entre un deuxième réflecteur et un troisième réflecteur comprise entre environ 25 mm et environ 31 mm, tout en conservant la fréquence d'émission microonde.

10 Selon un autre exemple, un dispositif selon l'invention tel que décrit précédemment, est couplé à un générateur d'impédance plus élevée, tout en émettant à la même fréquence microonde selon le mode TE_{11} . Par exemple, en conservant une tension d'alimentation de 500 kV, une augmentation de la distance anode-cathode d_{AK} à 30 mm induit une diminution du champ
15 accélérateur dans la diode et donc un courant émis plus faible, de l'ordre d'environ 4 kA. En conséquence, la diode est adaptée à une impédance d'alimentation plus élevée, par exemple d'environ 125 Ω . La densité du faisceau émis étant alors moindre, augmenter légèrement l'intensité du courant de la
20 bague magnétique à 14250 A.tours, permet de générer une émission microonde mono-fréquence à 2,31 GHz dans le mode TE_{11} avec un rendement de 12 %. Ce rendement peut par exemple être amélioré en ajustant le positionnement des réflecteurs dans le guide.

Bien sûr, la présente invention ne se limite pas à la description précédente, mais s'étend à toute variante dans le cadre des revendications ci-
25 après.

* * *

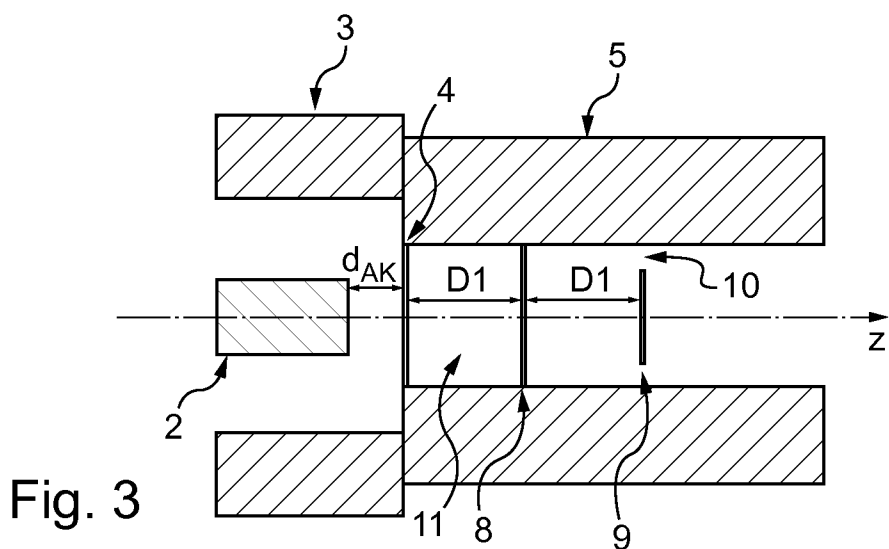
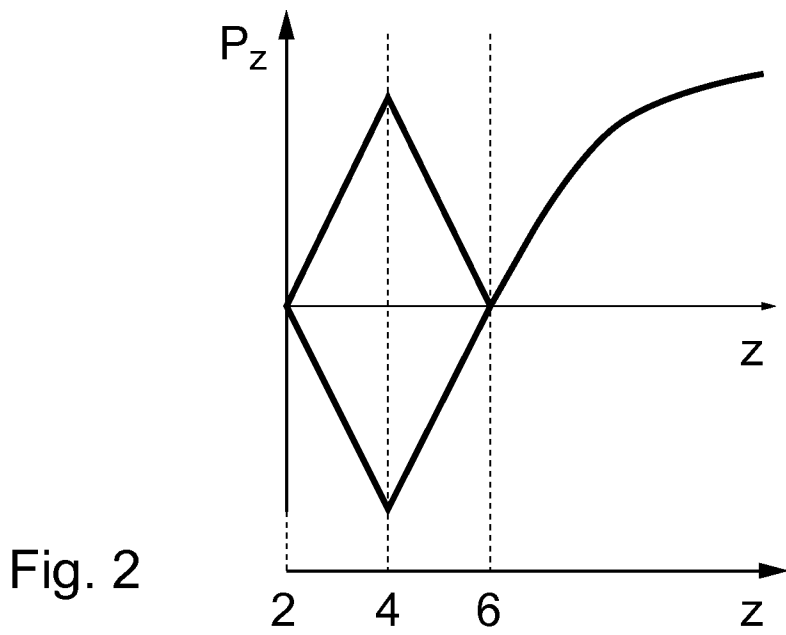
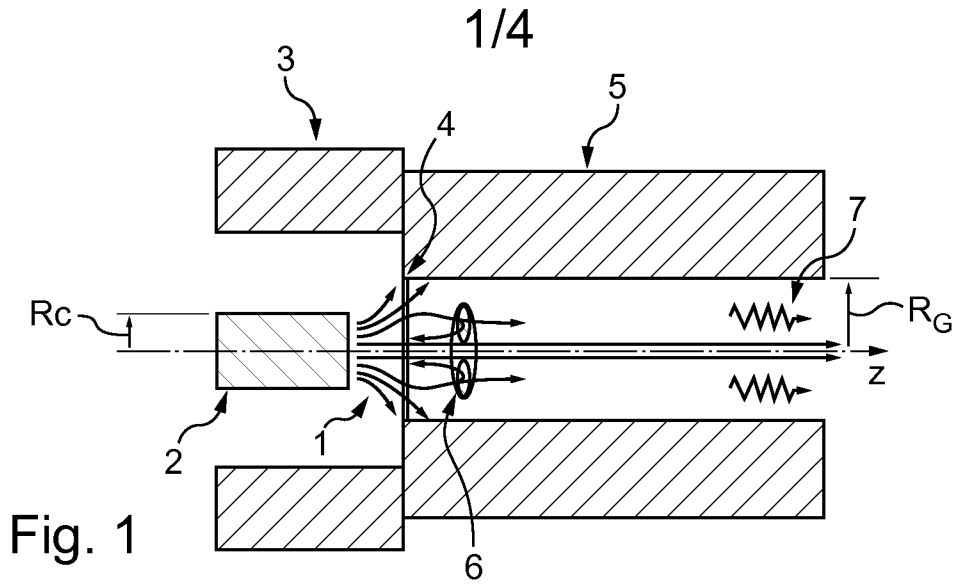
REVENDICATIONS

- 5 1. Dispositif générateur d'ondes microondes à cathode virtuelle oscillante, à géométrie axiale, comportant une cathode, une anode mince et un guide d'ondes cylindrique (105), d'axe longitudinal z et de rayon R_G , présentant une première extrémité formant une entrée du guide d'ondes cylindrique (105) et une deuxième
- 10 extrémité formant une sortie du guide d'ondes cylindrique (105), la cathode (102) étant positionnée en amont de l'entrée du guide d'ondes cylindrique et configurée pour émettre des électrons, et l'anode mince (104) étant positionnée à l'entrée du guide d'ondes cylindrique (105), entre la cathode (102) et le guide d'ondes cylindrique (105), et le dispositif comprenant en outre au moins un premier réflecteur (F_1) localisés dans le guide d'ondes (105), transparent aux électrons et configuré pour réfléchir une onde microonde créée par au moins une cathode virtuelle générée dans le guide d'ondes (105),
- 15
- 20 le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre une bague magnétique (112) étroite de largeur (L_M) selon l'axe longitudinal z, positionnée extérieurement autour du guide d'ondes cylindrique (105) à une distance (d_{AM}) de l'anode mince (104) et avec le premier réflecteur (F_1) positionné à une distance
- 25 (d_{AF_1}) de l'anode mince (104) au-delà de la bague magnétique (112) de sorte que la bague magnétique (112) est localisée entre l'anode mince (104) et le premier réflecteur (F_1), la bague magnétique (112) étant configurée pour générer un champ magnétique apte à freiner les électrons et à créer une
- 30 accumulation de charges à l'origine d'une cathode virtuelle non-

oscillante positionnée entre l'anode mince (104) et le premier réflecteur (F_1).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la distance (d_{AM}) séparant la bague magnétique (112) de l'anode mince (104) le long de l'axe z est égale ou supérieure à une distance (d_{AK}) séparant la cathode (102) de l'anode mince (104).
5
3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la distance (d_{AF_1}) séparant le premier réflecteur (F_1) de l'anode mince (104) est égale ou supérieure à une somme de la distance (d_{AM}), séparant la bague magnétique (112) de l'anode mince (104), et de la largeur (L_M) de la bague magnétique (112).
10
4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la distance (d_{AF_1}) séparant le premier réflecteur (F_1) de l'anode mince (104) est égale ou supérieure à environ deux fois la distance (d_{AK}) séparant la cathode (102) de l'anode mince (104).
15
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'au moins le premier réflecteur (F_1), localisé dans le guide d'ondes (105), est un réflecteur ouvert.
20
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité de réflecteurs successifs (F_i) positionnés dans le guide d'ondes cylindrique (105).
7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que deux réflecteurs successifs de la pluralité de réflecteurs (F_i) sont séparés l'un de l'autre d'une distance ($d_{F_i-F_{i+1}}$) égale ou inférieure à deux fois une distance (d_{AK}) séparant la cathode (102) de l'anode mince (104).
25

- 5
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que deux réflecteurs successifs de la pluralité de réflecteurs (F_i) sont séparés l'un de l'autre d'une distance ($d_{F_{i-1}F_i}$) égale ou supérieure à une distance (d_{AK}) séparant la cathode (102) de l'anode mince (104).
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que tous les réflecteurs (F_i) sont ouverts et présentent un même rayon R_{Ri} .
- 10
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte trois réflecteurs (F_i) positionnés dans le guide d'ondes (105).



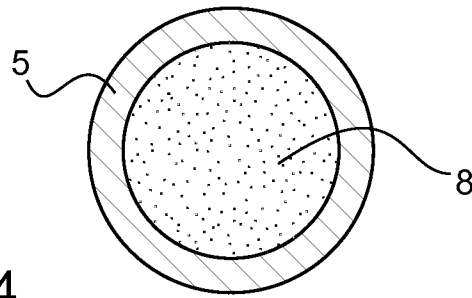


Fig. 4

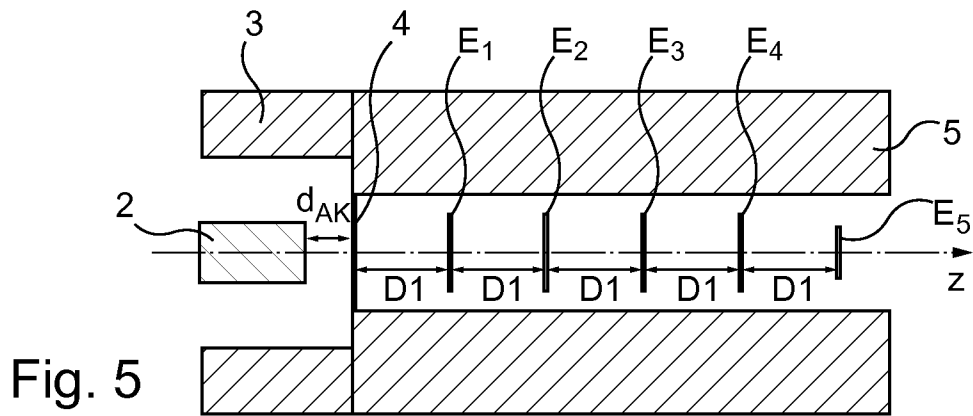
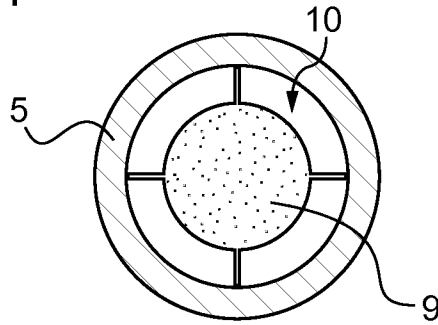


Fig. 5

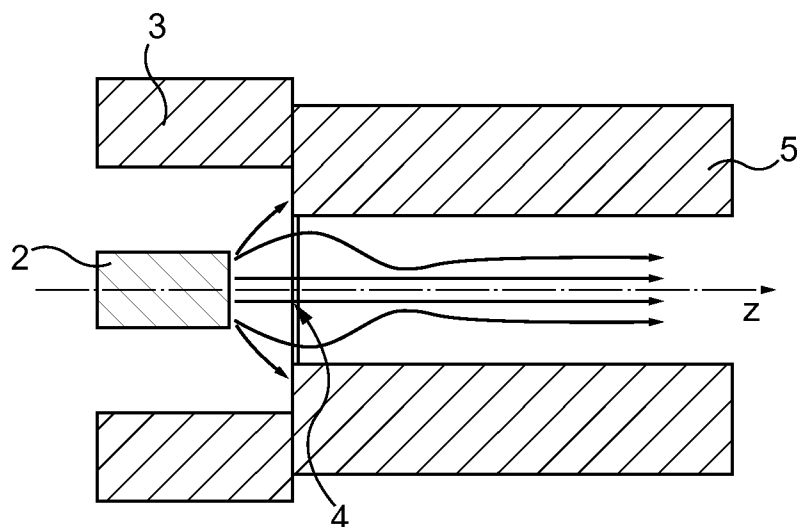


Fig. 6

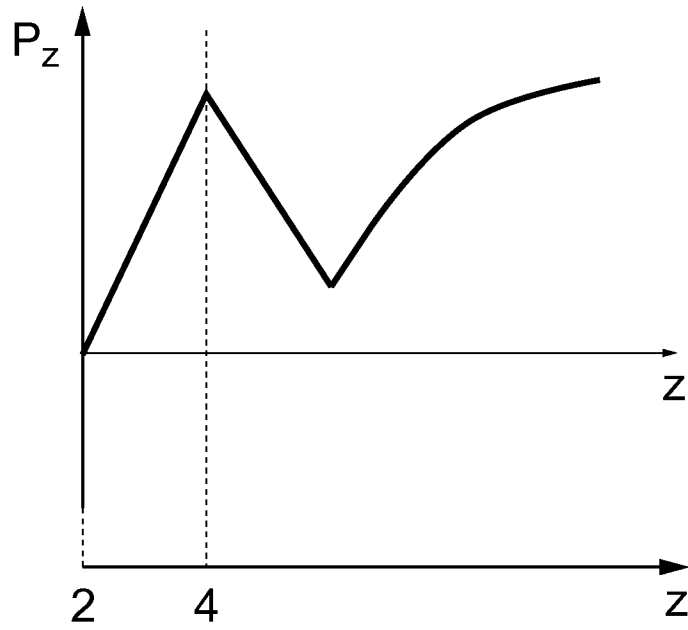


Fig. 7

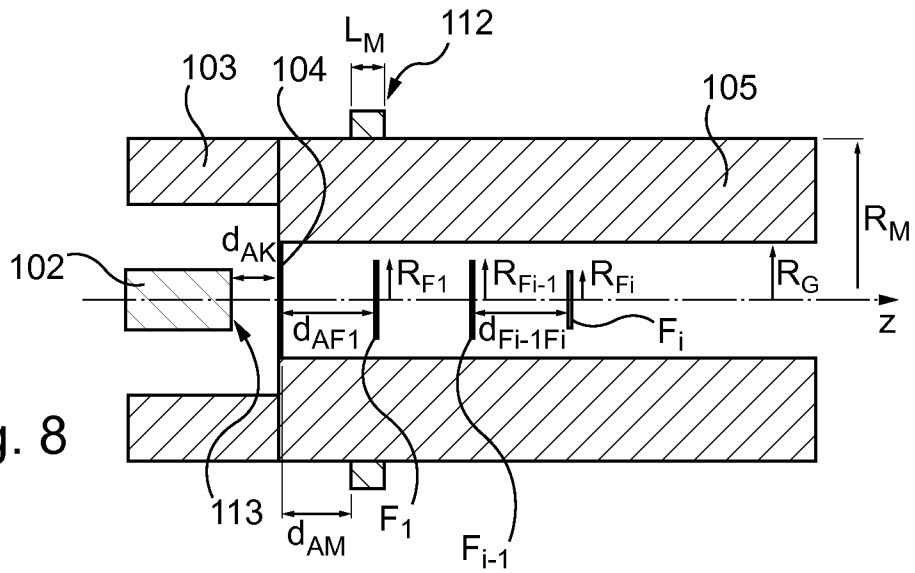


Fig. 8

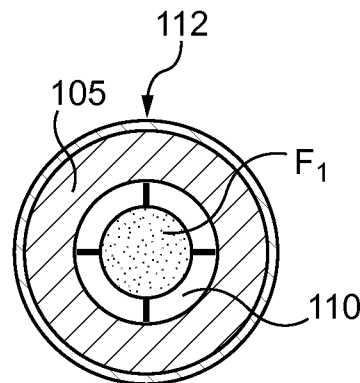


Fig. 9

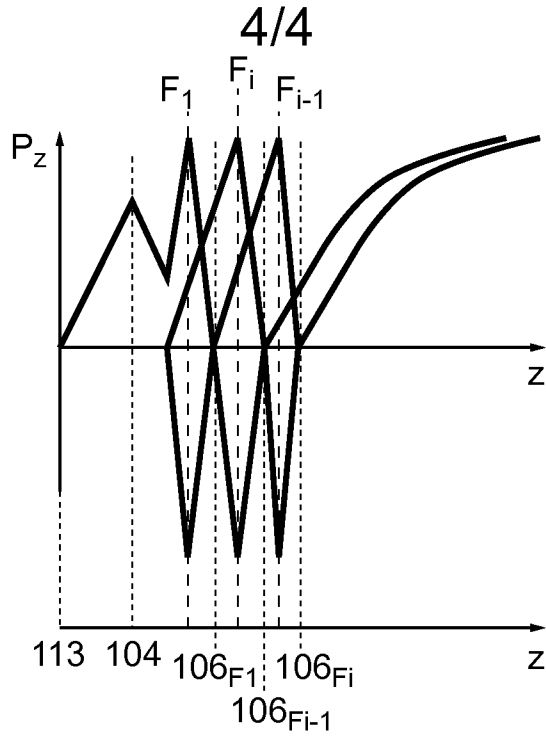


Fig. 10

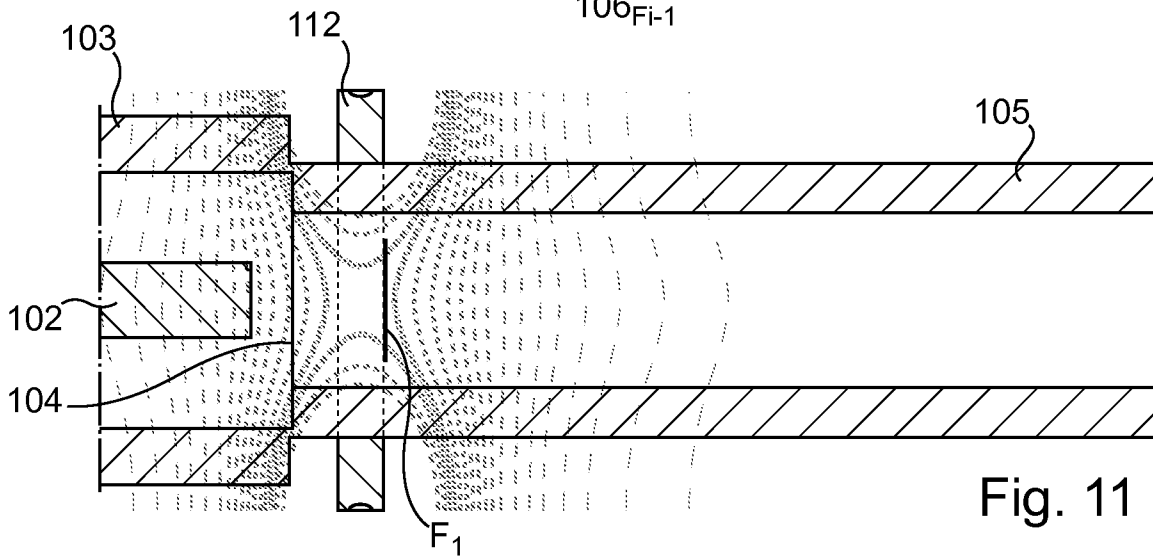


Fig. 11

Vircator axial avec réflecteurs "ouverts" et bague magnétique			
Nombre de réflecteurs	d_{AF1} [mm]	d_{F1F2} [mm]	d_{F2F3} [mm]
1	54		
2	54	25	
3	54	29	25

Fig. 12

Vircator axial avec réflecteurs "ouverts" et bague magnétique	Fréquence (GHz)	Mode	Puissance (MW)	Rendement (%)
1 réflecteur + 1 bague	2,09	TE ₁₁	88,05	2,5
2 réflecteurs + 1 bague	1,99	TE ₁₁	301,65	8,6
3 réflecteurs + 1 bague	2,33	TE ₁₁	607,76	17,4

Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2014/053471

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01J25/74
ADD.
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 practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	STEPHANIE CHAMPEAUX ET AL: "Numerical evaluation of the role of reflectors to maximize the power efficiency of an axial Vircator", VACUUM ELECTRONICS CONFERENCE (IVEC), 2013 IEEE 14TH INTERNATIONAL, IEEE, 21 May 2013 (2013-05-21), pages 1-2, XP032445325, DOI: 10.1109/IVEC.2013.6571105 ISBN: 978-1-4673-5976-4 column 2, last paragraph; figure 2	1-10
A	US 4 345 220 A (SULLIVAN DONALD J) 17 August 1982 (1982-08-17) column 2, line 49 - line 55; figure 1 ----- -/--	1-10

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 application or patent 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

25 March 2015

Date of mailing of the international search report

02/04/2015

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/FR2014/053471

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 4 730 170 A (KWAN THOMAS J T [US] ET AL) 8 March 1988 (1988-03-08) column 3, line 59 - column 4, line 2; figure 2 -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/053471

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4345220	A	17-08-1982	NONE

US 4730170	A	08-03-1988	NONE

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01J25/74 ADD.</p>		
<p>Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>		
<p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</p>		
<p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01J</p>		
<p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p>		
<p>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, WPI Data</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>STEPHANIE CHAMPEAUX ET AL: "Numerical evaluation of the role of reflectors to maximize the power efficiency of an axial Vircator", VACUUM ELECTRONICS CONFERENCE (IVEC), 2013 IEEE 14TH INTERNATIONAL, IEEE, 21 mai 2013 (2013-05-21), pages 1-2, XP032445325, DOI: 10.1109/IVEC.2013.6571105 ISBN: 978-1-4673-5976-4 colonne 2, dernier alinéa; figure 2</p>	1-10
A	<p>US 4 345 220 A (SULLIVAN DONALD J) 17 août 1982 (1982-08-17) colonne 2, ligne 49 - ligne 55; figure 1</p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	1-10
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>		
<p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>		
<p>Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée</p> <p style="text-align: center;">25 mars 2015</p>		<p>Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale</p> <p style="text-align: center;">02/04/2015</p>
<p>Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale</p> <p style="text-align: center;">Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016</p>		<p>Fonctionnaire autorisé</p> <p style="text-align: center;">Flierl, Patrik</p>

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	<p>US 4 730 170 A (KWAN THOMAS J T [US] ET AL) 8 mars 1988 (1988-03-08) colonne 3, ligne 59 - colonne 4, ligne 2; figure 2</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/053471

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4345220	A	17-08-1982	AUCUN

US 4730170	A	08-03-1988	AUCUN
