



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
22.06.2016 Bulletin 2016/25

(51) Int Cl.:
H01J 35/10 ^(2006.01) **G21K 1/04** ^(2006.01)
H05G 1/62 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **15200587.2**

(22) Date de dépôt: **16.12.2015**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeur: **KLUENDER, Rafaël**
38120 SAINT-EGREVE (FR)

(74) Mandataire: **Brevalex**
95, rue d'Amsterdam
75378 Paris Cedex 8 (FR)

(30) Priorité: **18.12.2014 FR 1462810**

(54) **ANODE ROTATIVE AMELIOREE POUR SOURCE DE RAYONS X**

(57) L'invention concerne une anode rotative (1) améliorée pour source de rayons X, comprenant une piste cible annulaire (20) destinée à être impactée par un faisceau d'électrons (8), la piste comportant des premières et secondes parties cibles (20a, 20b) destinées à produire des rayonnements d'intensités différentes.

Selon l'invention, l'anode comporte un sélecteur (30) de parties cibles, destiné à être amené alternativement dans :

- une première position dans laquelle les secondes portions évidées (42b) du sélecteur (30) se trouvent en regard des premières parties (20a) de la piste, et les premières portions d'obturation (42a) du sélecteur masquent les secondes parties (20b) de la piste ; et
- une seconde position dans laquelle les secondes portions (42b) se trouvent en regard des secondes parties (20b) de la piste, et les premières portions d'obturation (42a) masquent les premières parties (20a) de la piste.

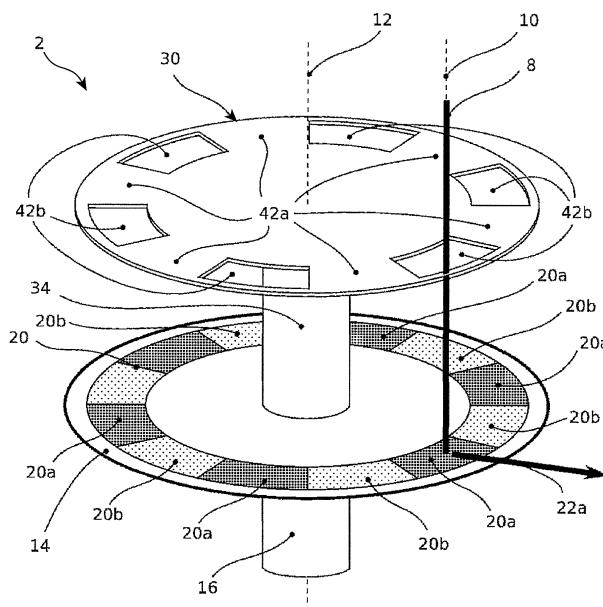


FIG. 2

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des sources de rayons X, et plus particulièrement à celui des sources comprenant une anode rotative destinée à être impactée par un faisceau d'électrons, afin de générer des spectres caractéristiques de plusieurs matériaux.

[0002] L'invention s'applique à tous les domaines de l'analyse par rayons X, en particulier l'analyse de pièces par diffraction de rayons X, ou encore l'analyse par imagerie médicale.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0003] De manière connue, une source de rayons X génère des rayons X lors de l'impact d'un faisceau d'électrons sur une cible métallique, dénommée « anode ». L'énergie des électrons, qui est de l'ordre d'une dizaine de keV par électron, est alors transformée en rayonnement X. Un spectre typique tel qu'il est émis par une source classique comprend tout d'abord une partie continue de faible intensité, qui s'appelle « Bremsstrahlung ». Le spectre comprend également des raies caractéristiques, également dénommées « peaks ». La forme de la Bremsstrahlung dépend uniquement de l'énergie et du flux des électrons. Les raies caractéristiques présentent quant à elles une intensité environ cent fois plus élevée que celle de la Bremsstrahlung. En outre, la position des raies caractéristiques dépend uniquement du matériau qui est utilisé comme anode. C'est la raison pour laquelle les raies caractéristiques sont appelées « spectre caractéristique » du matériau.

[0004] Le rapport d'intensité entre le spectre caractéristique et la Bremsstrahlung a pour conséquence que dans la plupart des cas, l'utilisation du rayonnement produit par la source de rayons X est limitée aux raies, l'intensité de la Bremsstrahlung étant trop faible pour une utilisation raisonnable.

[0005] De manière également connue, l'intensité du spectre émis peut être accentuée en augmentant le flux des électrons impactant la piste cible. Néanmoins, ce principe est limité par les problèmes d'échauffement. En effet, environ 99 % de l'énergie des électrons est transformée en chaleur, et non pas en rayons X. Une augmentation du flux d'électrons trop élevée génère ainsi un risque de fonte l'anode.

[0006] Pour pouvoir supporter une augmentation du flux d'électrons, il a été proposé dans l'art antérieur une solution à anode rotative, comme celle décrite dans le document US 7 649 981. Dans cette solution, la piste cible tourne à une vitesse rotative élevée de l'ordre de 1 000 à 30 000 tours par minute, ce qui permet de mieux dissiper la chaleur générée par rapport à une solution à anode statique. A titre indicatif, une anode rotative permet d'augmenter l'intensité globale du rayonnement d'un facteur de l'ordre de 10 à 100.

[0007] Dans le document US 7 649 981, il est prévu une anode rotative à dépôt hétérogène, c'est-à-dire que la piste cible présente des éléments cibles agencés en alternance, et réalisés dans différents matériaux. Ces éléments cibles distincts sont mis en oeuvre afin de générer des spectres caractéristiques de plusieurs matériaux, de façon simultanée. L'obtention de plusieurs spectres d'intensités différentes contraste alors avec les solutions classiques à cible homogène, pour lesquelles le choix de l'énergie photonique est souvent limité qu'à une seule valeur. Ces solutions classiques peuvent alors se révéler inadaptées pour la plupart des applications, car celles-ci requièrent généralement des rayonnements de niveaux d'intensité différents.

[0008] Bien que la solution du document US 7 649 981 permette l'obtention de rayonnements d'intensités différentes, les électrons sont projetés en alternance sur les différents éléments cibles avec une fréquence très élevée. De ce fait, les deux spectres caractéristiques sont générés en alternance à une très haute fréquence, conditionnée par le besoin en refroidissement de l'anode. A titre d'exemple, la fréquence avec laquelle les deux spectres s'alternent peut être de l'ordre de 60kHz. Or des détecteurs capables de gérer un séquençage aussi élevé sont encore rares et onéreux, surtout s'il s'agit d'un détecteur 2D. De plus, ces détecteurs manifestent un rapport signal/bruit extrêmement bas, donc peu adapté aux applications telles que l'imagerie médicale ou la radio-cristallographie.

[0009] Une réduction de la vitesse de rotation de l'anode permettrait de diminuer la fréquence d'alternance entre les deux spectres. Néanmoins, cela aurait également pour conséquence de moins bien dissiper la chaleur, avec l'obligation dans ce cas de réduire le flux d'électrons. En d'autres termes, cette solution de l'art antérieur ne donne pas entièrement satisfaction car soit elle génère des niveaux d'intensité de rayonnement convenables mais rencontre alors des difficultés de séparation entre les spectres, soit ces spectres sont plus facilement séparés mais ils présentent alors des intensités plus faibles, pouvant les rendre incompatibles avec les applications envisagées.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0010] L'invention a ainsi pour but de remédier au moins partiellement aux inconvénients relatifs aux réalisations de l'art antérieur.

[0011] Pour ce faire, l'invention a tout d'abord pour objet une anode rotative pour source de rayons X, ladite anode comprenant une piste cible annulaire destinée à être impactée par un faisceau d'électrons, ladite piste étant centrée sur un axe de rotation autour duquel elle est destinée à tourner lors du fonctionnement de la source de rayons X, la piste comportant des premières et secondes parties cibles agencées en alternance selon une direction circonférentielle de cette piste, les premières parties cibles étant réalisées à l'aide de premiers élé-

ments cibles et les secondes parties cibles étant réalisées à l'aide de seconds éléments cibles ou de parties évidées, les premiers et seconds éléments cibles étant réalisés respectivement dans un premier et un second matériaux choisis de sorte que l'impact du faisceau d'électrons sur l'un des premiers éléments cibles provoque un premier rayonnement, et de sorte que l'impact du faisceau d'électrons sur l'un des seconds éléments cibles provoque un second rayonnement nul ou d'un niveau d'intensité différent de celui du premier rayonnement.

[0012] Selon l'invention, l'anode comporte de plus un sélecteur de parties cibles agencé en regard de ladite piste cible dans la direction dudit axe de rotation, le sélecteur comprenant, agencées en alternance selon la direction circonférentielle, des premières portions d'obturation interdisant le passage du faisceau d'électrons ainsi que des secondes portions autorisant le passage de ce faisceau, ladite anode étant configurée de manière à ce que durant la rotation de la piste cible, ledit sélecteur puisse être amené alternativement dans différentes positions, parmi lesquelles :

- une première position dans laquelle les secondes portions du sélecteur se trouvent en regard des premières parties de la piste et dans laquelle les premières portions d'obturation masquent les secondes parties de la piste ; et
- une seconde position dans laquelle les secondes portions du sélecteur se trouvent en regard des secondes parties de la piste et dans laquelle les premières portions d'obturation masquent les premières parties de la piste.

[0013] Par conséquent, l'invention est remarquable en ce qu'elle met en oeuvre un degré de liberté de mouvement entre la piste cible et le sélecteur. Cela permet en particulier à l'anode de fonctionner à une vitesse de rotation élevée pour l'obtention d'un refroidissement performant, tout en conservant une fréquence raisonnable d'alternance entre les différents spectres générés. En d'autres termes, dans la solution astucieuse proposée par l'invention, la fréquence d'alternance entre les rayonnements n'est pas dépendante de la vitesse de rotation de la piste cible, mais dépend du pilotage de la position relative entre la piste cible et le séparateur. La conséquence positive résultant d'un tel agencement réside d'une part dans le fait que les spectres peuvent être d'intensités élevées grâce au refroidissement performant, et d'autre part dans le fait que la détection de ces spectres peut être aisément réalisée à l'aide de détecteurs conventionnels.

[0014] La source de rayons X selon l'invention est adaptée à toutes les applications connues à ce jour, en particulier l'imagerie médicale, l'imagerie électronique, etc. D'ailleurs, en fonction de l'application retenue, l'alternance des premières et secondes parties sur la piste cible pourrait être remplacée par une alternance de N parties distinctes, avec N supérieur ou égal à 3.

[0015] L'invention prévoit par ailleurs, de manière préférentielle, la mise en oeuvre d'au moins l'une des caractéristiques optionnelles suivantes, prises isolément ou en combinaison.

5 **[0016]** L'anode est également configurée de manière à ce que durant la rotation de la piste cible, ledit sélecteur puisse être amené dans plusieurs troisièmes positions distinctes, dans chacune desquelles les secondes portions se trouvent chacune en regard d'un premier secteur angulaire de l'une des premières parties de la piste et en regard d'un second secteur angulaire de l'une des secondes parties de la piste, le rapport entre les surfaces des premier et second secteurs angulaires variant dans les différentes troisièmes positions.

10 **[0017]** Ainsi, dans ces troisièmes positions, les deux spectres sont générés sensiblement simultanément, et le rapport d'intensités entre ces spectres dépend des surfaces des premier et second secteurs angulaires illuminés par le faisceau d'électrons. Le rapport souhaité entre les deux intensités est ainsi facilement réglable, par positionnement du sélecteur relativement à la piste cible. A cet égard, il est noté qu'il s'agit là d'un mode de fonctionnement dans lequel les secondes parties de la piste sont réalisées à l'aide de seconds éléments configurés pour provoquer un second rayonnement non nul, d'un niveau d'intensité différent de celui du premier rayonnement.

25 **[0018]** Mais dans un autre mode de fonctionnement, les secondes parties de la piste sont réalisées à l'aide de parties évidées ou à l'aide de seconds éléments configurés pour provoquer un second rayonnement nul. Il se produit alors un effet dit stroboscopique, recherché dans différents types d'applications. Avec cette conception, il est possible d'effectuer un réglage aisé du temps de pulse et du temps de pause entre les pulses, toujours par positionnement du sélecteur relativement à la piste cible. L'un des avantages réside alors dans la possibilité de faire varier la longueur des pulses et des pauses en fonction des besoins rencontrés, et sans modifier la vitesse de rotation de l'anode.

30 **[0019]** Quel que soit le mode de fonctionnement retenu, l'anode comporte de préférence un corps principal d'anode sur lequel est réalisée ladite piste cible.

35 **[0020]** Elle comporte des moyens de déplacement relatif du sélecteur par rapport au corps principal d'anode, lesdits moyens de déplacement relatif comprenant de préférence un moteur et/ou un électroaimant.

40 **[0021]** L'anode comporte également un arbre de liaison entre le corps principal d'anode et ledit sélecteur, ledit arbre de liaison étant centré sur ledit axe de rotation.

45 **[0022]** Elle comporte un arbre d'entraînement du corps principal d'anode, ledit arbre d'entraînement étant centré sur ledit axe de rotation.

50 **[0023]** L'invention a également pour objet une source de rayons X comprenant :

- un générateur de faisceau d'électrons ;
- une anode rotative telle que décrite ci-dessus, agen-

cée de manière à ce que sa piste cible soit impactée par ledit faisceau d'électrons ;

- des moyens d'entraînement en rotation de la piste cible ; et
- une unité de commande configurée pour commander lesdits moyens d'entraînement en rotation de la piste cible, pour commander le générateur de faisceau d'électrons, et pour commander la position dudit sélecteur durant la rotation de la piste cible.

[0024] Selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention, ladite unité de commande est configurée pour commander la position dudit sélecteur, durant la rotation de la piste cible, à partir desdits moyens de déplacement relatif équipant l'anode décrite ci-dessus. En d'autres termes, les moyens de déplacement relatif permettent ici un mouvement de l'arbre de liaison associé au sélecteur, relativement à l'arbre de rotation associé au corps de l'anode portant la piste cible.

[0025] Selon un second mode de réalisation préféré de l'invention, la source comporte en outre des moyens d'entraînement en rotation du sélecteur, distincts desdits moyens d'entraînement en rotation de la piste cible, et ladite unité de commande est configurée pour commander la position dudit sélecteur, durant la rotation de la piste cible, à partir desdits moyens d'entraînement en rotation du sélecteur et desdits moyens d'entraînement en rotation de la piste cible. En d'autres termes, dans ce second mode de réalisation, le sélecteur et la piste cible sont entraînés individuellement en rotation.

[0026] L'invention a également pour objet un système d'analyse d'un élément par rayons X, comprenant au moins une telle source de rayons X destinée à orienter chaque rayonnement émis en direction de l'élément à analyser, le système comprenant de plus un dispositif de détection de signal, ainsi qu'un processeur.

[0027] De préférence, il s'agit d'un système d'analyse d'une pièce par diffraction de rayons X ou d'un système d'imagerie médicale par rayons X.

[0028] Enfin, l'invention a pour objet un procédé d'analyse d'un élément par rayons X mis en oeuvre à l'aide d'un tel système d'analyse.

[0029] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0030] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples de mise en oeuvre non limitatifs de celle-ci, ainsi qu'à l'examen des dessins annexés parmi lesquels ;

- la figure 1 représente une vue schématique de face d'une source de rayons X, selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention ;
- la figure 2 représente une vue en perspective de l'anode équipant la source de rayons X montrée sur

la figure précédente, avec son sélecteur occupant une première position relativement à la piste cible ;

- la figure 3 est une vue de dessus de celle de la figure 2 ;
- 5 - la figure 3a est un graphe représentant le spectre du rayonnement produit par la source de rayons X, dans la première position montrée sur les figures 2 et 3 ;
- la figure 4 représente une vue en perspective de l'anode équipant la source de rayons X montrée sur la figure 1, avec son sélecteur occupant une seconde position relativement à la piste cible ;
- 10 - la figure 5 est une vue de dessus de celle de la figure 4 ;
- la figure 5a est un graphe représentant le spectre du rayonnement produit par la source de rayons X, dans la seconde position montrée sur les figures 4 et 5 ;
- 15 - les figures 6 et 7 sont des vues analogues à celles des figures 3 et 5, avec le sélecteur de l'anode occupant différentes troisièmes positions, relativement à la piste cible ;
- les figures 6a et 7a sont des graphes analogues à ceux des figures 3a et 5a, représentant le spectre du rayonnement produit par la source de rayons X, dans les troisièmes positions montrées sur les figures 6 et 7 ;
- 20 - la figure 8 représente une vue similaire à celle de la figure 1, avec la source de rayons X se présentant sous la forme d'un second mode de réalisation préféré de l'invention ;
- 25 - la figure 9 est une vue schématique d'un système d'analyse d'un élément par rayons X, du type système d'imagerie médicale ;
- les figures 10a et 10b représentent des vues schématiques partielles d'un système d'analyse d'un élément par rayons X, du type système d'analyse d'une pièce par diffraction de rayons X ;
- 30 - la figure 11 est une vue similaire à celle de la figure 7, avec l'anode se trouvant dans une configuration différente pour générer un spectre stroboscopique ;
- 35 - la figure 11a est une vue montrant la durée des pulses et des pauses du spectre stroboscopique généré dans la position du sélecteur montrée sur la figure 11 ;
- la figure 12 est une vue similaire à celle de la figure 11, avec le sélecteur se trouvant dans une position différente relativement à la piste cible, correspondant à celle de la figure 6 ; et
- 40 - la figure 12a est une vue montrant la durée des pulses et des pauses du spectre stroboscopique généré dans la position du sélecteur montrée sur la figure 12.
- 45
- 50

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

- 55 **[0031]** En référence à la figure 1, il est montré une source 1 de rayons X selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention. Globalement, cette source 1 comporte des composants conventionnels, à l'exception de

son anode rotative 2 qui est spécifique à la présente invention.

[0032] La source 1 comporte un carter 4 dans lequel se situe l'anode rotative 2, ainsi qu'un générateur de faisceau d'électrons. Ce générateur 6 est en effet capable de produire un faisceau d'électrons 8, d'axe 10 orienté verticalement selon l'orientation de la source 1 sur la figure 1. De façon classique, un vide est réalisé dans le carter 4, par exemple un vide de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-8} bar.

[0033] L'anode 2 est montée rotative dans le carter 4, selon un axe de rotation 12 préférentiellement parallèle à l'axe 10 du faisceau d'électrons. Cette anode 2 comporte un corps principal 14, solidaire d'un arbre rotatif d'entraînement 16. L'arbre 16 est entraîné par un moteur 18 agencé de préférence en dehors du carter 4. Le corps principal 14 est équipé en surface supérieure d'une piste cible 20, agencée en regard du faisceau 8. Dans l'exemple montré sur la figure 1, la surface supérieure du corps principal 14 est tronconique d'axe 12. La piste cible 20 est donc également tronconique, de sorte que lorsqu'elle est impactée par le faisceau d'électrons 8, le rayonnement engendré 22 est dévié pour se diriger vers une fenêtre 24 du carter. En traversant cette fenêtre, le rayonnement 22 peut illuminer un élément 26 à analyser, situé en dehors du carter 4.

[0034] Comme cela sera détaillé ci-après, l'anode rotative 2 comporte également un sélecteur 30, par exemple écarté axialement du corps principal 14 d'une distance comprise entre 0,5 et 16 mm. Le sélecteur 30 est conçu de manière à ce que seulement une partie de la piste cible 20 soit impactée par le faisceau 8 à chaque instant t. En d'autres termes, ce sélecteur 30 assure une illumination sélective de la piste 20, lorsque celle-ci est entraînée en rotation par le moteur 18 selon l'axe 12. De plus, la position du sélecteur 30 relativement à la piste cible 20 peut être modifiée de façon à changer la partie de la piste 20 qui est illuminée. Pour ce faire, l'anode 2 est équipée de moyens de déplacement relatif appropriés, permettant une rotation du sélecteur 30 selon l'axe 12, relativement au corps principal 14 portant la piste cible 20. Ces moyens sont représentés schématiquement sur la figure 1, et repérés par la référence numérique 32. Ils sont associés à un arbre de liaison 34 centré sur l'axe 12 et raccordant le corps principal 14 au sélecteur 30. Il peut par exemple s'agir d'un autre moteur 34, et/ou d'un électroaimant. Dans ce dernier cas, l'électroaimant est de préférence associé à un système à ressort permettant de générer une contre-force de rappel.

[0035] Aussi, lorsque ces moyens de déplacement relatif 32 sont inactivés, la rotation du corps principal 14 entraîne la rotation à la même vitesse du sélecteur 30, via l'arbre de liaison 34. En revanche, au cours de la rotation du corps principal 14 et de sa piste cible 20, ces moyens de déplacement 32 peuvent être activés de façon à changer la position angulaire relative entre le sélecteur 30, et ce même corps principal 14. Par conséquent, uniquement pendant la courte période d'activation des moyens de déplacement 32, la vitesse de rotation

du sélecteur 30 par rapport au carter 4 est différente de celle du corps principal 14 et de sa piste cible 20.

[0036] La source 1 de rayons X est également équipée d'une unité de commande 40. Comme évoqué ci-dessus, cette unité 40 est configurée pour commander la position du sélecteur 30 durant la rotation de la piste cible 20, à partir des moyens de déplacement relatif 32. L'unité 40 est aussi configurée pour commander le moteur 18 d'entraînement de la piste cible 20, et pour commander le générateur 6 du faisceau d'électrons 8.

[0037] Toujours en référence à la figure 1, il est noté que le sélecteur 30 présente de préférence une forme globale tronconique, de même angle que celui de la piste cible 20. Alternativement, comme cela sera représenté sur les figures suivantes, ce sélecteur 30 peut prendre une forme générale de disque centré sur l'axe 12.

[0038] Le sélecteur 30 en acier définit en alternance, selon la direction circonférentielle, des premières portions d'obturation 42a interdisant le passage du faisceau d'électrons 8, et des secondes portions 42b autorisant le passage de ce faisceau. Les premières portions 42a sont ainsi des portions pleines, tandis que les secondes portions 42b sont préférentiellement des portions évidées. Ainsi, le sélecteur 30 présente une alternance de portions pleines 42a et de portions ajourées 42b. Ces portions présentent toutes sensiblement la même surface et la même étendue angulaire, par exemple de l'ordre de 30° lorsqu'il est prévu six premières portions 42a, et six portions secondes portions 42b.

[0039] De manière analogue, la piste cible 20 comporte des premières parties cibles 20a et des secondes parties cibles 20b, agencées en alternance selon la direction circonférentielle de cette piste. Ces parties 20a, 20b de la piste sont agencées en regard des portions 42a, 42b du sélecteur, selon la direction de l'axe de rotation 12. Leur nombre et leur étendue angulaire sont identiques à ceux de ces portions 42a, 42b du sélecteur 30.

[0040] Les premières parties cibles 20a sont réalisées à l'aide de premiers éléments cibles, par exemple obtenus par dépôt sur le corps principal 14. Ces premiers éléments 20a sont formés dans un premier matériau choisi de sorte que l'impact du faisceau d'électrons 8 sur l'un quelconque de ces premiers éléments cibles provoque un premier rayonnement X.

[0041] Egalement, dans ce premier mode de réalisation préféré, les secondes parties cibles 20b sont réalisées à l'aide de seconds éléments cibles, par exemple obtenus par dépôt sur le corps principal 14. Ces seconds éléments cibles 20b sont formés dans un second matériau choisi de sorte que l'impact du faisceau d'électrons 8 sur l'un quelconque de ces seconds éléments cibles provoque un second rayonnement X, d'intensité différent de celui du premier rayonnement.

[0042] A titre d'exemple indicatif, le premier matériau est ici du molybdène, et le second matériau du cuivre. Ces matériaux sont particulièrement intéressants car leurs rayonnements sont réputés adaptés pour la caractérisation en nanoélectronique. Cependant, l'invention

n'est pas limitée à ces deux matériaux. D'autres matériaux pourraient être utilisés : holmium, erbium, lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, samarium, europium, gadolinium, lutécium, baryum, rhodium, zirconium, hafnium, tungstène, titane, rhénium, graphite, et autres métaux du groupe du tableau périodique 10, ou encore d'autres éléments et leurs alliages.

[0043] En référence à présent aux figures 2 à 5a, il va être décrit un premier mode de fonctionnement de la source 1. Dans ce premier mode, il s'agit de générer en alternance deux rayonnements distincts, à l'aide des différentes parties 20a, 20b de la piste cible.

[0044] Pour ce faire, au cours de la rotation de l'anode 2 par le moteur 18, le sélecteur 30 peut être amené par les moyens de déplacement 32 dans une première position représentée sur les figures 2 et 3. Dans cette première position, les secondes portions 42b du sélecteur 30 se trouvent en regard des premiers éléments cibles 20a de la piste, et les premières portions d'obturation 42a masquent les seconds éléments cibles 20b de la piste.

[0045] Dans cette première position, le faisceau 8 impacte donc les premiers éléments cibles 20a au cours de la rotation de la piste selon l'axe 12, mais n'impacte par les seconds éléments cibles 20b restant masqués par les portions pleines du sélecteur.

[0046] L'impact décrit ci-dessus génère un premier rayonnement X, représenté schématiquement par la flèche 22a sur la figure 2. Le spectre caractéristique de ce premier rayonnement 22a est montré sur le graphe de la figure 3a, sur lequel il est possible d'apercevoir la Bremsstrahlung 50 ainsi que les raies caractéristiques 52a du premier matériau.

[0047] Au cours de la rotation de l'anode 2 par le moteur 18, le sélecteur 30 peut aussi être amené par les moyens de déplacement 32 dans une seconde position représentée sur les figures 4 et 5. Dans cette première position, les secondes portions 42b du sélecteur 30 se trouvent en regard des seconds éléments cibles 20b de la piste, et les premières portions d'obturation 42a masquent les premiers éléments cibles 20a de la piste.

[0048] Dans cette seconde position, le faisceau 8 impacte donc les seconds éléments cibles 20b au cours de la rotation de la piste selon l'axe 12, mais n'impacte par les premiers éléments cibles 20a restant masqués par les portions pleines du sélecteur.

[0049] L'impact décrit ci-dessus génère un second rayonnement X, représenté schématiquement par la flèche 22b sur la figure 4. Le spectre caractéristique de ce second rayonnement 22b est montré sur le graphe de la figure 5a, sur lequel il est possible d'apercevoir la Bremsstrahlung 50 ainsi que les raies caractéristiques 52b du second matériau.

[0050] Les moyens de déplacement relatif 32, non représentés sur les figures 2 et 4, permettent donc d'amener le sélecteur 30 de la première position à la seconde position, et inversement. La fréquence de l'alternance entre ces deux positions est par exemple de l'ordre de 1

à 10 Hz, cette fréquence correspondant à la fréquence d'alternance entre les deux rayonnements 22a, 22b. De plus, la vitesse de rotation de l'anode est préférentiellement comprise entre 5 000 et 50 000 tours par minute, en fonction de l'application retenue.

[0051] Ce premier mode de fonctionnement est par exemple utilisé pour l'imagerie médicale ou la radiocristallographie, comme cela sera décrit ci-après.

[0052] En référence à présent aux figures 6 à 7a, il va à présent être décrit un second mode de fonctionnement de la source 1, permettant de générer de façon sensiblement simultanée les deux rayonnements 22a, 22b.

[0053] En effet, l'anode 2 est également conçue de manière à ce que le sélecteur puisse être amené dans plusieurs troisièmes positions distinctes, dont deux d'entre elles sont représentées sur les figures 6 et 7. Chaque troisième position correspond globalement à une position intermédiaire entre les première et seconde positions précitées. Par conséquent, dans ces troisièmes positions, les secondes portions 42b du sélecteur 30 se trouvent chacune en regard d'un premier secteur angulaire 20a' de l'un des premiers éléments cibles 20a de la piste 20, et en regard d'un second secteur angulaire 20b' de l'un des seconds éléments cibles 20b de cette piste. Le faisceau d'électrons 8 peut ainsi illuminer simultanément ces deux secteurs 20a', 20b', étant précisé que le rapport entre les surfaces des premier et second secteurs angulaires est le même à travers chaque seconde portion 42b évidée du sélecteur 30, comme cela est visible sur les figures 6 et 7.

[0054] Le rapport entre l'étendue angulaire du premier secteur angulaire 20a' et celle du second secteur angulaire 20b' conditionne le rapport d'intensité souhaité entre les deux rayonnements 22a, 22b. Ainsi, la position retenue parmi toutes les troisièmes positions possibles, est celle dont le rapport entre les étendues angulaires précitées engendre le rapport souhaité entre les deux rayonnements 22a, 22b produits par les deux matériaux.

[0055] A titre d'exemple, la troisième position de la figure 6 est telle que l'étendue du premier secteur angulaire 20a' est faible par rapport à celle du second secteur angulaire 20b'. Par conséquent, suite à l'impact du faisceau d'électrons sur ces secteurs, il se crée deux rayonnements dont le spectre caractéristique est montré sur la figure 6a. Ce spectre intègre la Bremsstrahlung 50, ainsi que des raies caractéristiques 52a du premier matériau et des raies caractéristiques 52b du second matériau. Puisque le premier matériau est illuminé sur une plus faible surface, les raies caractéristiques 52a du premier matériau sont de plus faibles intensités que celles des raies caractéristiques 52b du second matériau.

[0056] En revanche, dans la troisième position de la figure 7, l'étendue du premier secteur angulaire 20a' est élevée par rapport à celle du second secteur angulaire 20b'. Par conséquent, suite à l'impact du faisceau d'électrons sur ces secteurs, il se crée deux rayonnements dont le spectre caractéristique est montré sur la figure 7a. Ce spectre intègre la Bremsstrahlung 50, ainsi que

des raies caractéristiques 52a du premier matériau et des raies caractéristiques 52b du second matériau. Puisque le premier matériau est illuminé sur une surface plus importante, les raies caractéristiques 52a du premier matériau sont de plus grandes intensités que celles des raies caractéristiques 52b du second matériau.

[0057] Ce second mode de fonctionnement est par exemple utilisé pour la radiocristallographie, comme cela sera décrit ci-après.

[0058] En référence à présent à la figure 8, il est représenté une source 1 selon un second mode de réalisation préféré de l'invention. Ce second mode diffère du premier par la manière dont est entraîné le sélecteur 30. Cependant, il est capable d'être utilisé dans l'ensemble des modes de fonctionnements décrits en relation avec le premier mode de réalisation préféré.

[0059] Plus précisément, dans ce second mode de réalisation, la source 1 comporte des moyens d'entraînement en rotation du sélecteur 30, distincts du moteur 18 d'entraînement de la piste cible 20. Ces moyens sont par exemple un moteur additionnel 54, capable de mettre en rotation le sélecteur 30 par rapport au carter 4. Pour ce faire, le moteur 54 peut être couplé à une arbre secondaire 56 d'entraînement en rotation, portant le sélecteur 30 et traversant l'arbre d'entraînement 16 ainsi que le moteur 18.

[0060] Dans ce second mode de réalisation, le sélecteur 30 et la piste cible 20 sont entraînés individuellement en rotation, par leurs moteurs respectifs 54, 18. Ces moteurs sont ainsi pilotés de manière synchronisée par l'unité de commande 40, de sorte qu'en fonctionnement, leurs vitesses de rotation soient identiques. En revanche, lorsqu'un changement de position du sélecteur 30 est désiré, l'une et/l'autre des deux vitesses sont modifiées sur une courte durée, afin d'atteindre la nouvelle position souhaitée pour le sélecteur 30. En d'autres termes, l'unité de commande 40 est configurée pour commander la position du sélecteur 30, durant la rotation de la piste cible 20, à partir des deux moteurs 18, 54.

[0061] A présent en référence à la figure 9, il est montré un système d'imagerie médicale 100, utilisant une source 1 de rayons X selon l'invention. Pour cette application, la source 1 est préférentiellement prévue pour être utilisée dans son premier mode de fonctionnement décrit ci-dessus.

[0062] Pour rappel, l'imagerie par contraste d'absorption est par exemple utilisée pour détecter des tumeurs. Une tumeur d'une taille supérieure de quelques millimètres nécessite un approvisionnement en sang pour grossir. Les veines autour d'une tumeur sont désorganisées et peuvent être visualisées par contraste d'absorption. Un agent est alors injecté dans le sang et deux images du tissu sont réalisées à deux niveaux d'énergie différents. En superposant les deux images, le tissu de la tumeur est visualisé.

[0063] Pour la réalisation de ces deux images, il est utilisé les deux rayonnements 22a, 22b produits par la source 1, ces rayonnements étant dirigés pour illuminer

la partie corporelle 26 à analyser. Derrière cette partie corporelle 26, le système comporte un dispositif de détection de signal 60, relié à un processeur 62 qui est également connecté à la source 1. D'ailleurs, l'unité de commande de cette source peut alors faire partie intégrante du processeur 62.

[0064] A présent en référence aux figures 10a et 10b, il est montré une partie d'un autre système 200 d'analyse par diffraction de rayons X, ce type d'analyse se rapportant au domaine de la radiocristallographie. Pour cette application, la source 1 est prévue pour être utilisée dans l'un quelconque des premier et second modes de fonctionnement décrits ci-dessus. La source 1 génère des rayonnements destinés à illuminer une pièce 26 à analyser, de préférence un composant microélectronique ou nanoélectronique.

[0065] Dans l'exemple montré sur la figure 10a, grâce au principe de diffraction de rayons X, il est possible de détecter deux taches de diffraction pour la même famille de plans cristallins d'une même couche polycristalline 64 agencée sur un substrat 66 de la pièce 26. Les deux tâches sont produites respectivement par les deux rayonnements 22a, 22b générés par la source 1 et présentant des niveaux d'intensité différents. Les deux rayonnements 22a, 22b, après leur impact sur la couche 64, atteignent un dispositif de détection de signal (non représenté). Cette technique permet en particulier de mesurer la contrainte, la taille de grains, ou encore une éventuelle texture en fonction de la profondeur de la couche.

[0066] Dans l'exemple montré sur la figure 10b, grâce au principe de diffraction de rayons X, il est possible d'effectuer une caractérisation d'une éventuelle variation en profondeur d'une couche 64 polycristalline, en séparant le signal de la couche de celui du substrat monocristal 66 sur lequel la couche est déposée. Le fait d'utiliser le second mode de fonctionnement de la source 1 permet de réduire l'intensité du signal du substrat 66 qui est souvent beaucoup plus fort que le signal de la couche, provoquant ainsi une surexposition du détecteur (non représenté), en particulier critique pour des détecteurs 2D du type CCD- CMOS. La troisième position adéquate peut donc être ajustée en fonctionnement, de façon à réduire de la façon désirée l'intensité du second rayonnement 22b, impactant le substrat 66 de la pièce 26.

[0067] Sur les figures 11 et 12, l'anode 2 se trouve dans une configuration différente pour générer un spectre stroboscopique. Globalement, dans cette autre configuration, la piste cible 20 est réalisée de telle sorte que les premiers éléments 20a soient sensiblement identiques ou similaires à ceux décrits précédemment, tandis que les seconds éléments 20b sont quant à eux prévus dans un second matériau engendrant un second rayonnement nul. Dans un agencement alternatif non représenté, les seconds éléments 20b peuvent être remplacés par des parties évidées destinées à être traversées par le faisceau d'électrons, sans engendrer de rayonnement.

[0068] Dans tous les cas, cette configuration permet d'utiliser l'anode 2 selon un troisième mode de fonction-

nement, capable de générer le premier rayonnement 22a de manière stroboscopique.

[0069] En effet, l'anode 2 est toujours conçue de manière à ce que le sélecteur 30 puisse être amené dans plusieurs troisièmes positions distinctes, dont deux d'entre elles sont représentées sur les figures 11 et 12. Dans ces troisièmes positions, les secondes portions 42b du sélecteur 30 se trouvent chacune en regard d'un premier secteur angulaire 20a' de l'un des premiers éléments cibles 20a de la piste 20, et en regard d'un second secteur angulaire 20b' de l'un des seconds éléments cibles 20b de cette piste. Le faisceau d'électrons 8 peut ainsi illuminer le secteur 20a', étant précisé que le rapport entre les surfaces des premier et second secteurs angulaires 20a', 20b' est le même à travers chaque seconde portion 42b évidée du sélecteur 30, comme cela est visible sur les figures 11 et 12.

[0070] Le rapport entre l'étendue angulaire du premier secteur angulaire 20a' et celle du second secteur angulaire 20b' conditionne le rapport entre la durée des pulses du premier rayonnement 22a, et la durée des pauses entre ces pulses.

[0071] A titre d'exemple, la troisième position de la figure 11 est telle que l'étendue du premier secteur angulaire 20a' est faible par rapport à celle du second secteur angulaire 20b'. Par conséquent, suite à l'impact du faisceau d'électrons sur ces secteurs, il se crée un rayonnement à effet stroboscopique dont la durée des pulses et des pauses est montrée sur le graphe de la figure 11a. Puisque le premier matériau est illuminé sur une surface élevée, les pulses sont de plus grande durée que les pauses.

[0072] A l'inverse, dans la troisième position de la figure 12, puisque le premier matériau des premiers éléments cibles 20a est illuminé sur une faible surface comparativement à celle des seconds éléments 20b, les pulses sont de plus petite durée que les pauses, comme en témoigne le graphe de la figure 12a.

[0073] Les applications pour ce troisième mode de fonctionnement sont multiples. A cet égard, il est noté que la stroboscopie devient de plus en plus importante pour observer des processus très rapides en répétition. La faculté offerte par la présente invention de pouvoir ajuster facilement la fréquence stroboscopique, constitue un avantage important. A titre d'exemples d'applications, il est mentionné l'observation d'un effet piézoélectrique dans une couche, l'observation de transitions de phases cristallines, l'observation d'un changement d'état dans un transistor, l'observation d'un démarrage d'une LED, ou encore l'excitation périodique d'une couche photodépendante par le rayonnement X stroboscopique.

[0074] Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme du métier à l'invention qui vient d'être décrite, uniquement à titre d'exemples non limitatifs.

Revendications

1. Anode rotative (2) pour source (1) de rayons X, ladite anode comprenant une piste cible annulaire (20) destinée à être impactée par un faisceau d'électrons (8), ladite piste étant centrée sur un axe de rotation (12) autour duquel elle est destinée à tourner lors du fonctionnement de la source de rayons X, la piste (20) comportant des premières et secondes parties cibles (20a, 20b) agencées en alternance selon une direction circonférentielle de cette piste, les premières parties cibles étant réalisées à l'aide de premiers éléments cibles (20a) et les secondes parties cibles étant réalisées à l'aide de seconds éléments cibles (20b) ou de parties évidées, les premiers et seconds éléments cibles (20a, 20b) étant réalisés respectivement dans un premier et un second matériaux choisis de sorte que l'impact du faisceau d'électrons (8) sur l'un des premiers éléments cibles (20a) provoque un premier rayonnement (22a), et de sorte que l'impact du faisceau d'électrons (8) sur l'un des seconds éléments cibles (20b) provoque un second rayonnement (22b) nul ou d'un niveau d'intensité différent de celui du premier rayonnement (22a),

caractérisée en ce que l'anode comporte un sélecteur (30) de parties cibles, agencé en regard de la piste cible (20) dans la direction dudit axe de rotation (12), le sélecteur comprenant, agencées en alternance selon la direction circonférentielle, des premières portions d'obturation (42a) interdisant le passage du faisceau d'électrons ainsi que des secondes portions (42b) autorisant le passage de ce faisceau, l'anode étant configurée de manière à ce que durant la rotation de la piste cible (20), ledit sélecteur (30) puisse être amené alternativement dans différentes positions, parmi lesquelles :

- une première position dans laquelle les secondes portions (42b) du sélecteur (30) se trouvent en regard des premières parties (20a) de la piste et dans laquelle les premières portions d'obturation (42a) masquent les secondes parties (20b) de la piste ; et
- une seconde position dans laquelle les secondes portions (42b) du sélecteur (30) se trouvent en regard des secondes parties (20b) de la piste et dans laquelle les premières portions d'obturation (42a) masquent les premières parties (20a) de la piste (20).

2. Anode selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'elle** est également configurée de manière à ce que durant la rotation de la piste cible (20), ledit sélecteur (30) puisse être amené dans plusieurs troisièmes positions distinctes, dans chacune desquelles les secondes portions (42b) se trouvent chacune en regard d'un premier secteur angulaire (20a') de l'une des premières parties (20a) de la piste et en

- regard d'un second secteur angulaire (20b') de l'une des secondes parties (20b) de la piste, le rapport entre les surfaces des premier et second secteurs angulaires (20a', 20b') variant dans les différentes troisièmes positions.
3. Anode selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** les secondes parties (20b) de la piste sont réalisées à l'aide de seconds éléments configurés pour provoquer un second rayonnement (22b) non nul, d'un niveau d'intensité différent de celui du premier rayonnement (22a).
4. Anode selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** les secondes parties (20b) de la piste sont réalisées à l'aide de parties évidées ou à l'aide de seconds éléments (20b) configurés pour provoquer un second rayonnement nul.
5. Anode selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un corps principal d'anode (14) sur lequel est réalisée ladite piste cible (20).
6. Anode selon la revendication 5, **caractérisée en ce qu'elle** comporte des moyens (32) de déplacement relatif du sélecteur (30) par rapport au corps principal d'anode (14), lesdits moyens de déplacement relatif (32) comprenant de préférence un moteur et/ou un électroaimant.
7. Anode selon la revendication 5 ou la revendication 6, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un arbre de liaison (34) entre le corps principal d'anode (14) et ledit sélecteur (30), ledit arbre de liaison (34) étant centré sur ledit axe de rotation (12).
8. Anode selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un arbre (16) d'entraînement du corps principal d'anode (14), ledit arbre d'entraînement (16) étant centré sur ledit axe de rotation (12).
9. Source (1) de rayons X comprenant :
- un générateur (6) de faisceau d'électrons (8) ;
 - une anode rotative (2) selon l'une quelconque des revendications précédentes, agencée de manière à ce que sa piste cible (20) soit impactée par ledit faisceau d'électrons (8) ;
 - des moyens (18) d'entraînement en rotation de la piste cible (20) ; et
 - une unité de commande (40) configurée pour commander lesdits moyens (18) d'entraînement en rotation de la piste cible, pour commander le générateur de faisceau d'électrons (8), et pour commander la position dudit sélecteur (30) durant la rotation de la piste cible (20).
10. Source de rayons X selon la revendication 9, **caractérisée en ce que** ladite unité de commande (40) est configurée pour commander la position dudit sélecteur (30), durant la rotation de la piste cible (20), à partir desdits moyens de déplacement relatif (32) équipant l'anode (2) selon la revendication 6.
11. Source de rayons X selon la revendication 9, **caractérisée en ce qu'elle** comporte en outre des moyens (54) d'entraînement en rotation du sélecteur (30), distincts desdits moyens (18) d'entraînement en rotation de la piste cible (20), et **en ce que** ladite unité de commande (40) est configurée pour commander la position dudit sélecteur (30), durant la rotation de la piste cible (20), à partir desdits moyens (54) d'entraînement en rotation du sélecteur (30) et desdits moyens (18) d'entraînement en rotation de la piste cible (20).
12. Système (100, 200) d'analyse d'un élément (26) par rayons X, comprenant au moins une source (1) de rayons X selon l'une quelconque des revendications 9 à 11 destinée à orienter chaque rayonnement émis (22a, 22b) en direction de l'élément (26) à analyser, le système comprenant de plus un dispositif de détection de signal (60), ainsi qu'un processeur (62).
13. Système selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'il** est un système (200) d'analyse d'une pièce par diffraction de rayons X.
14. Système selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'il** est un système (100) d'imagerie médicale par rayons X.
15. Procédé d'analyse d'un élément (26) par rayons X mis en oeuvre à l'aide d'un système (100, 200) selon l'une quelconque des revendications 12 à 14.

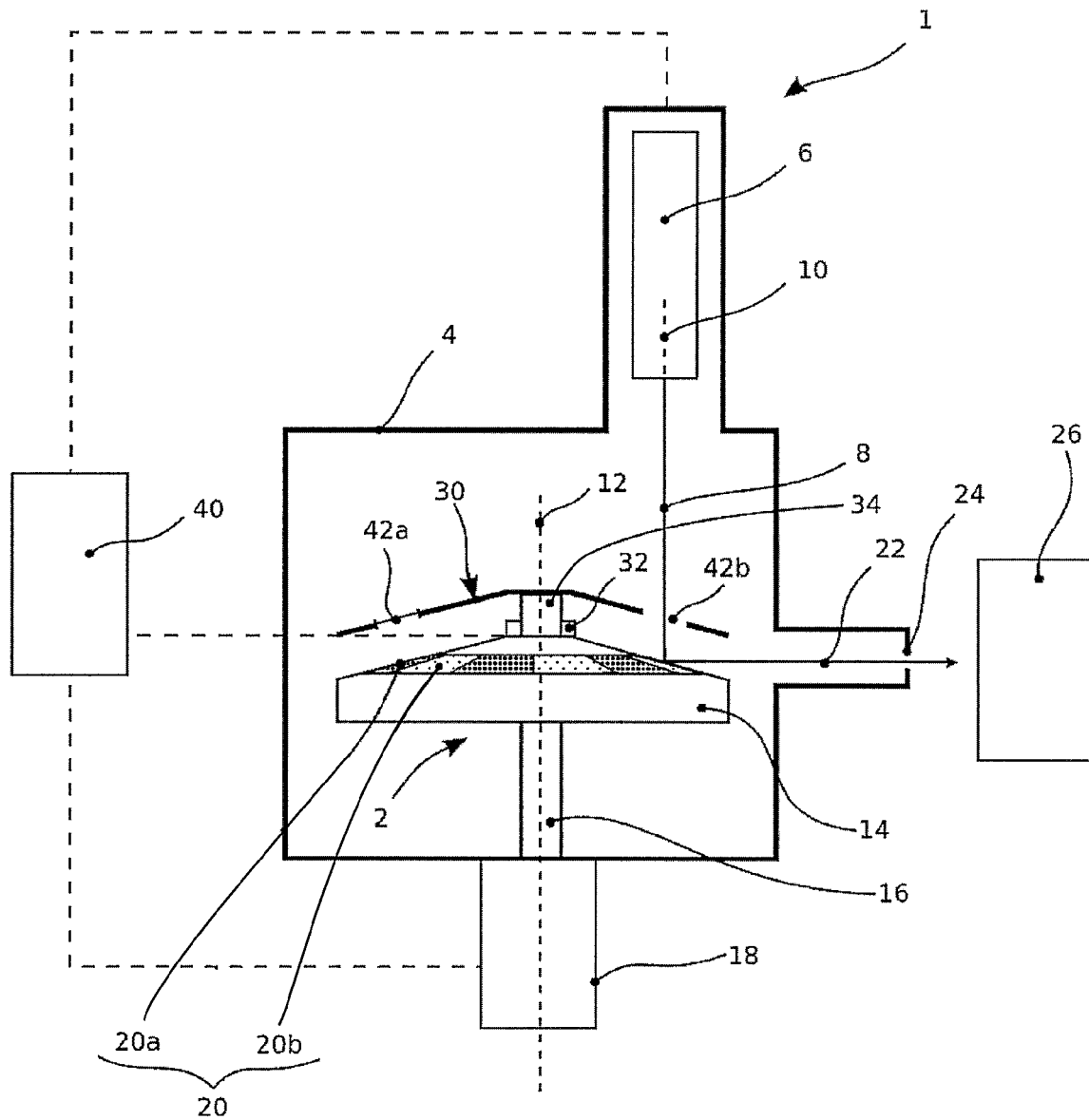


FIG. 1

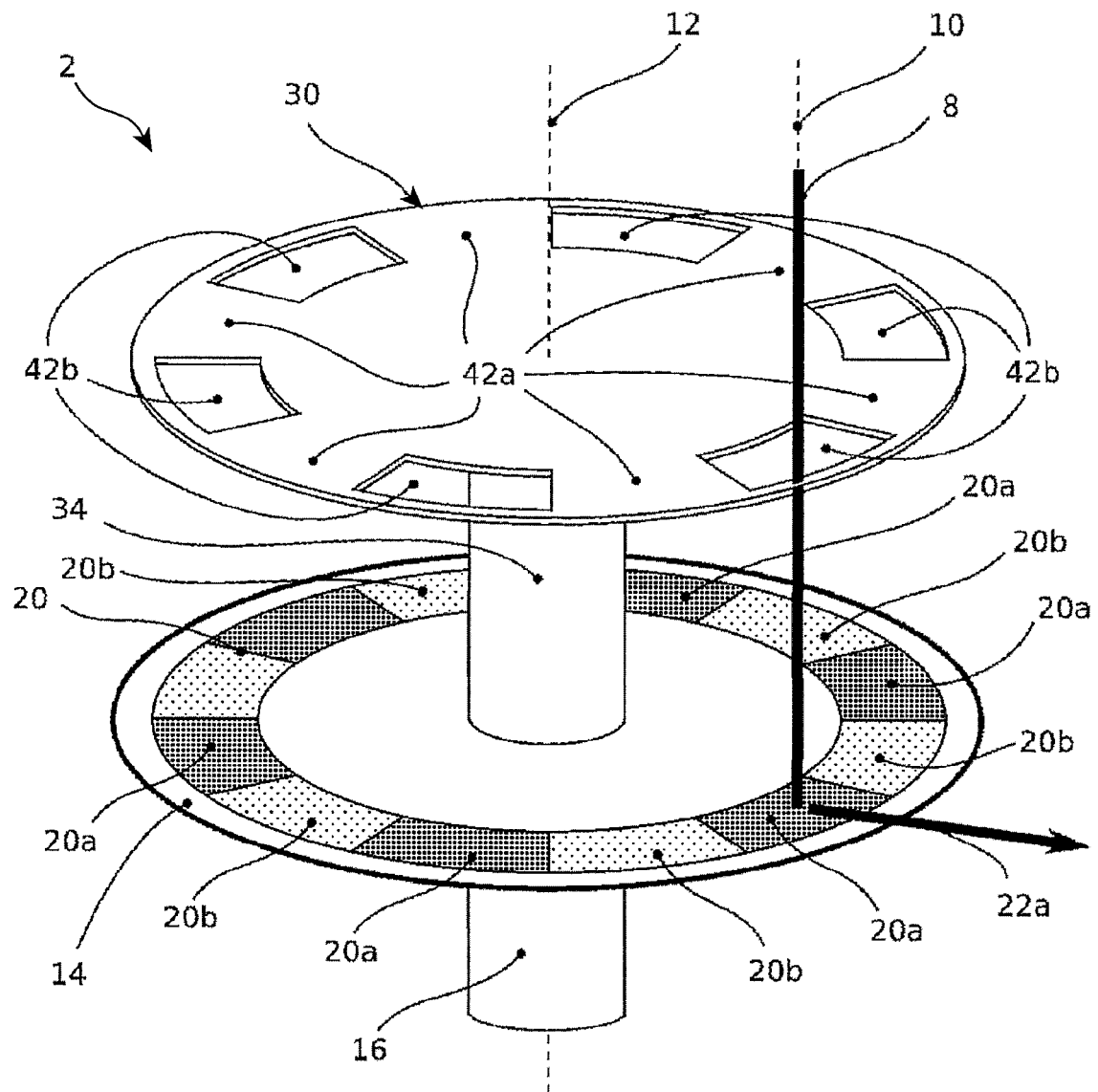


FIG. 2

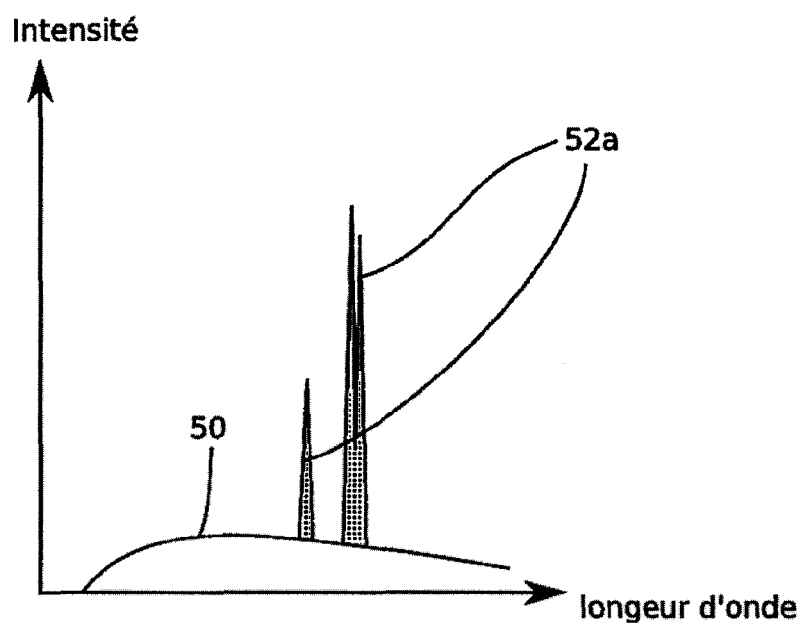
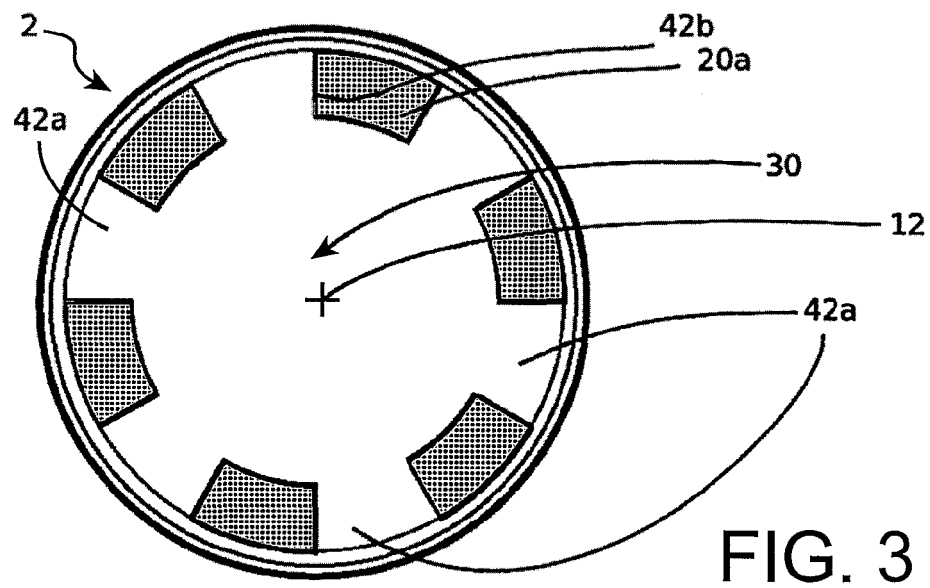


FIG. 3a

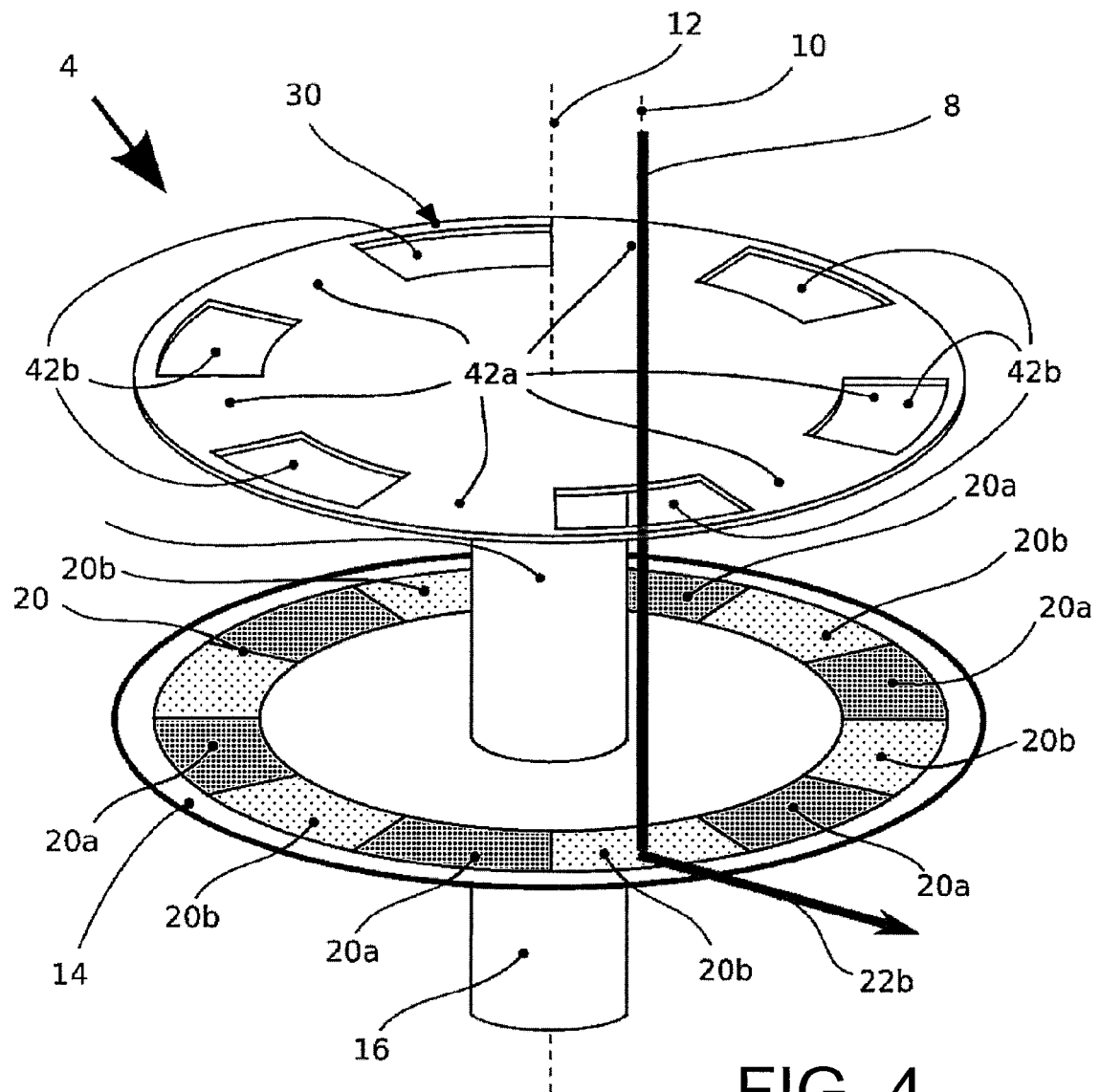


FIG. 4

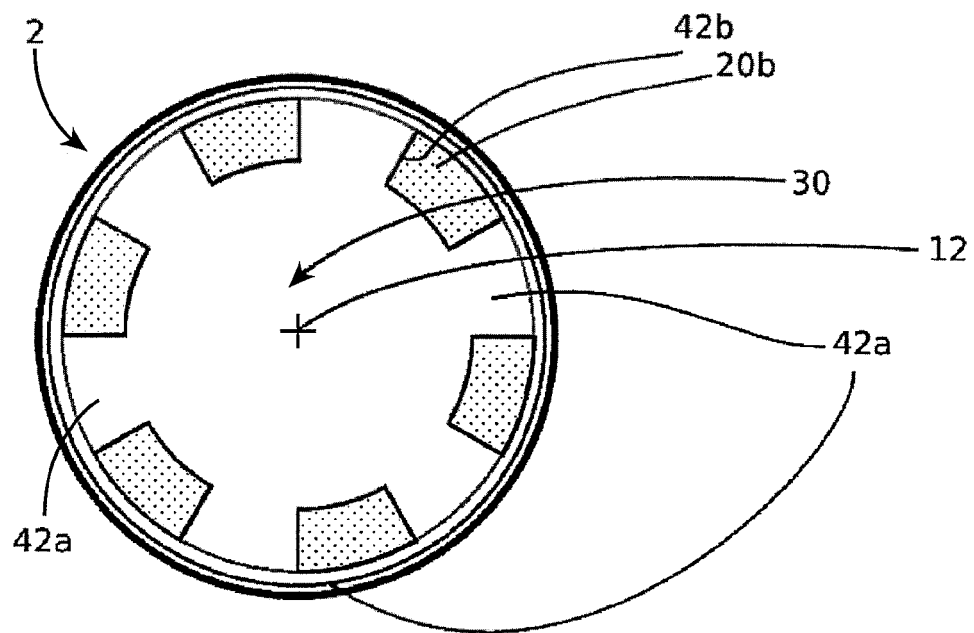


FIG. 5

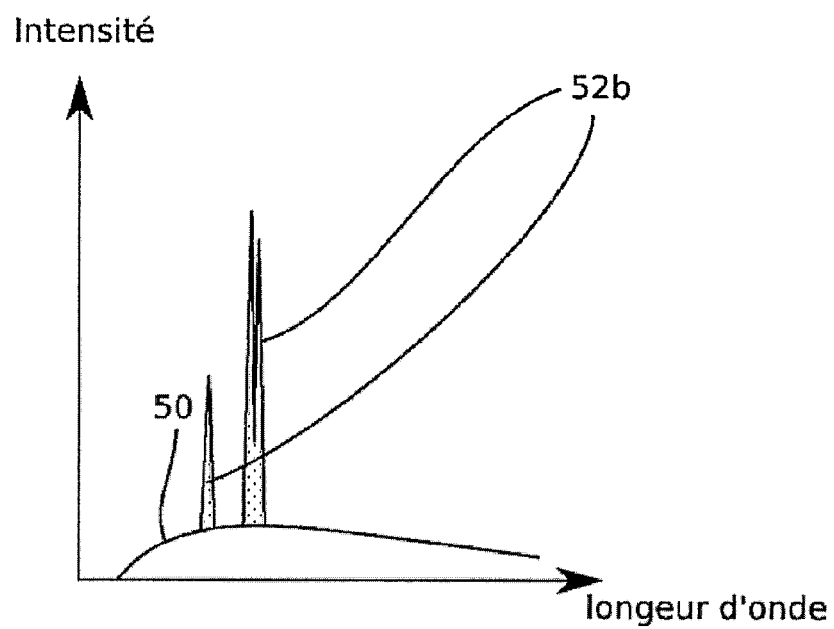
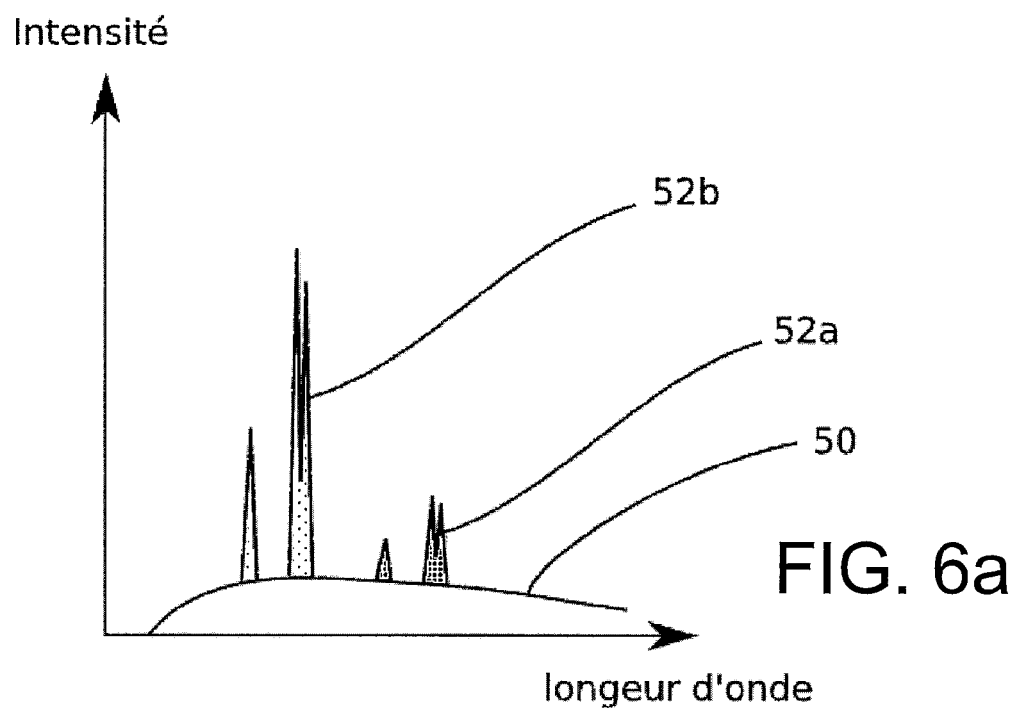
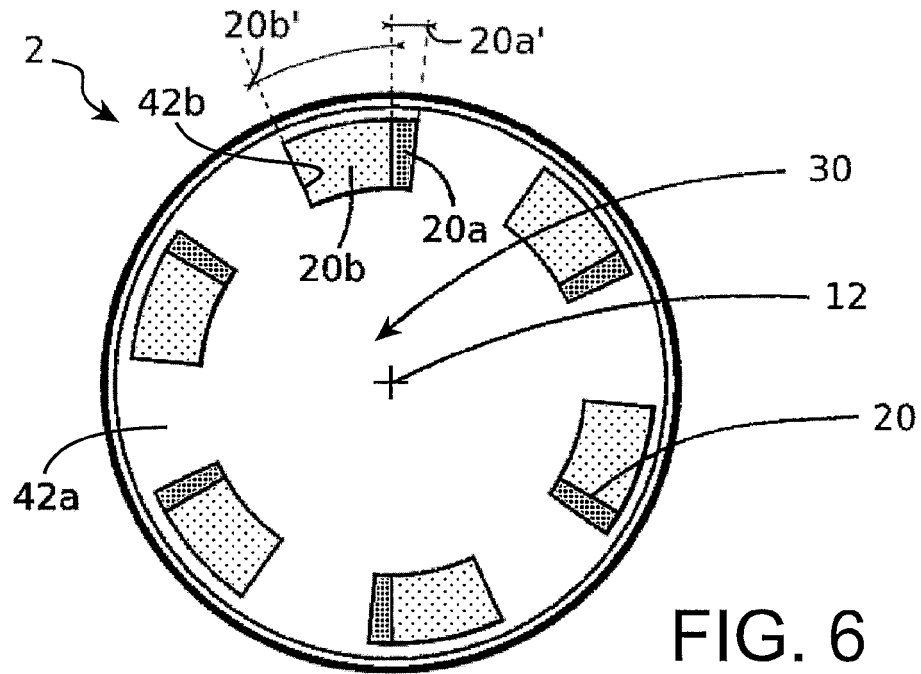
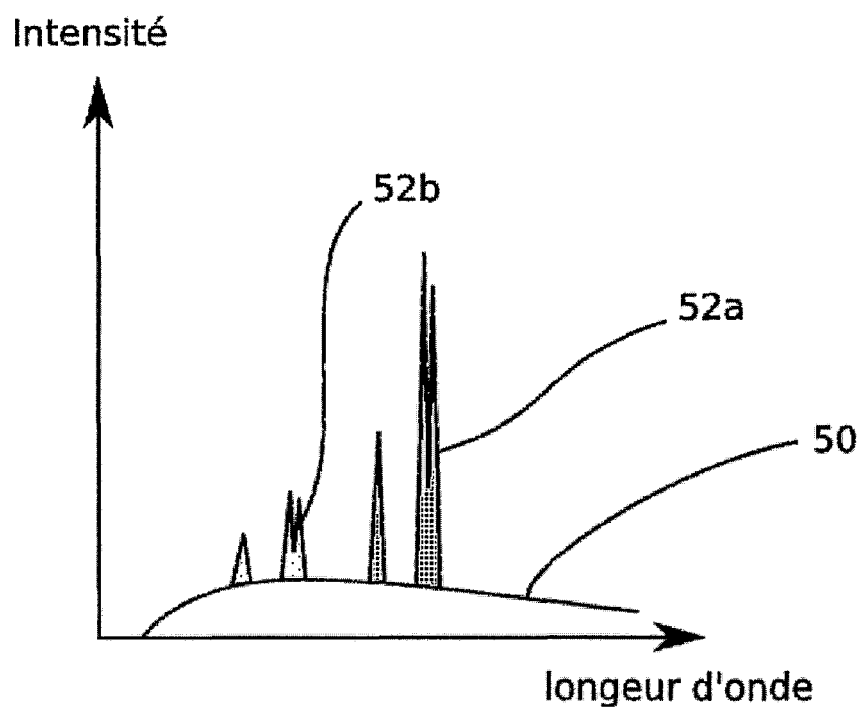
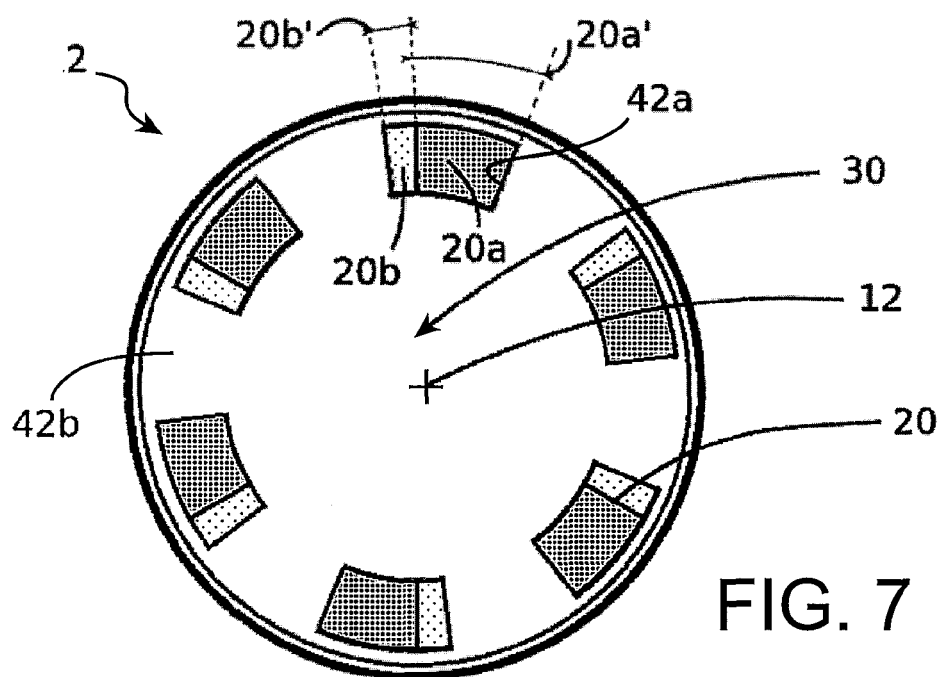


FIG. 5a





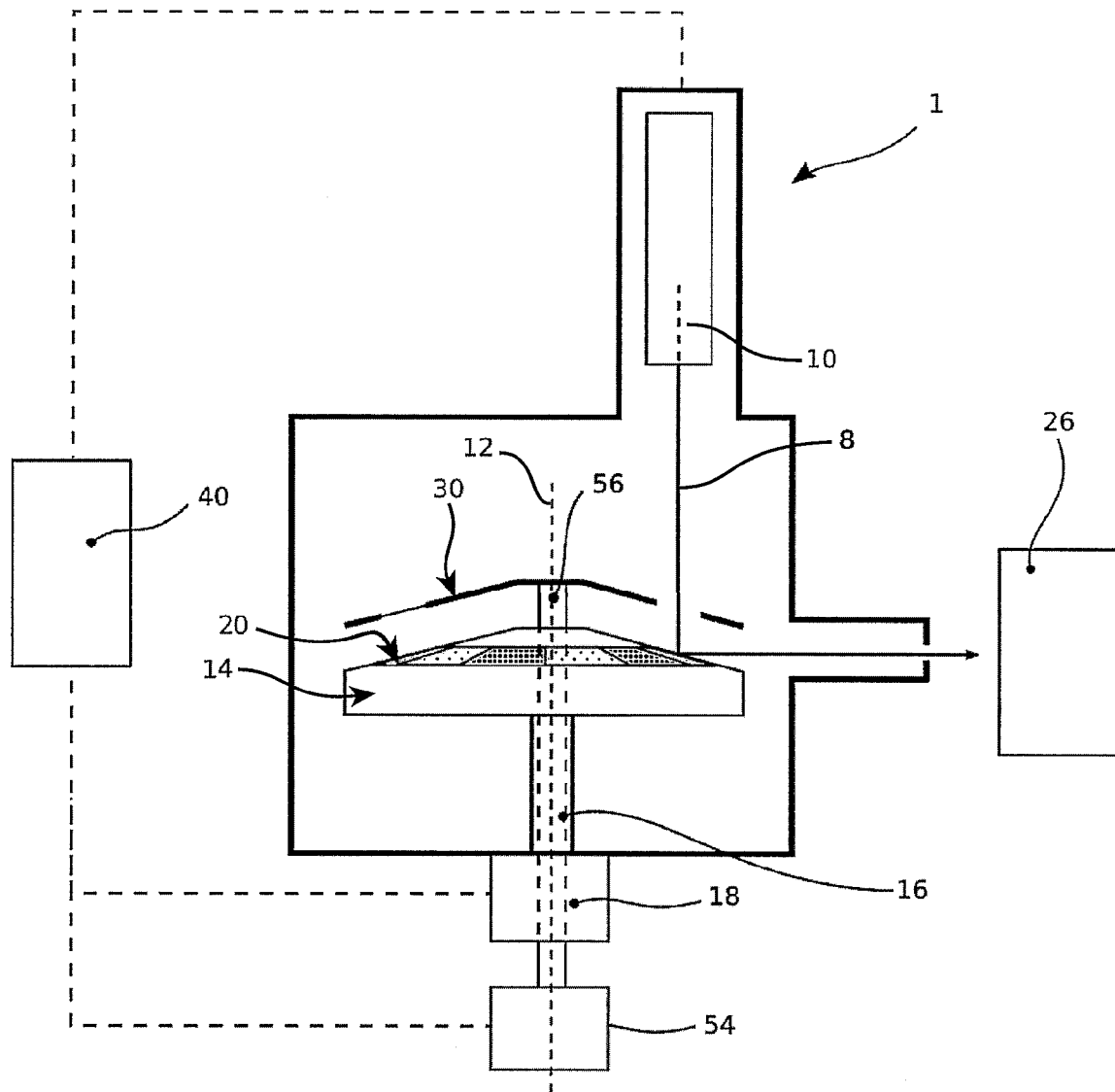


FIG. 8

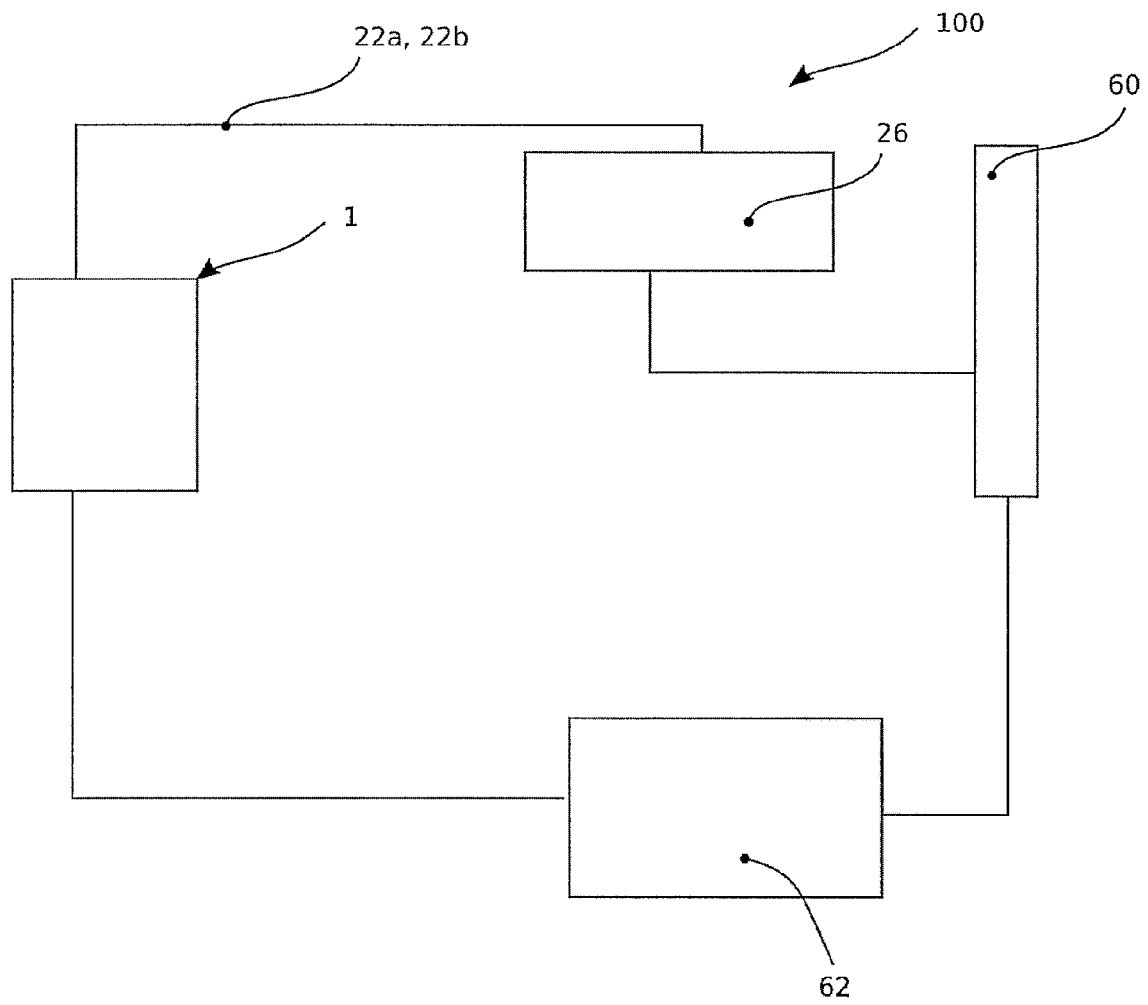


FIG. 9

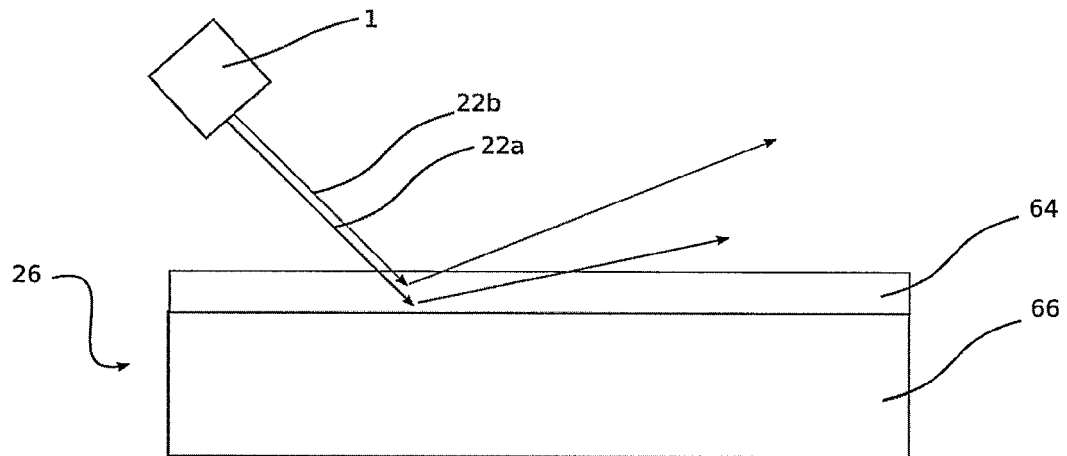


FIG. 10a

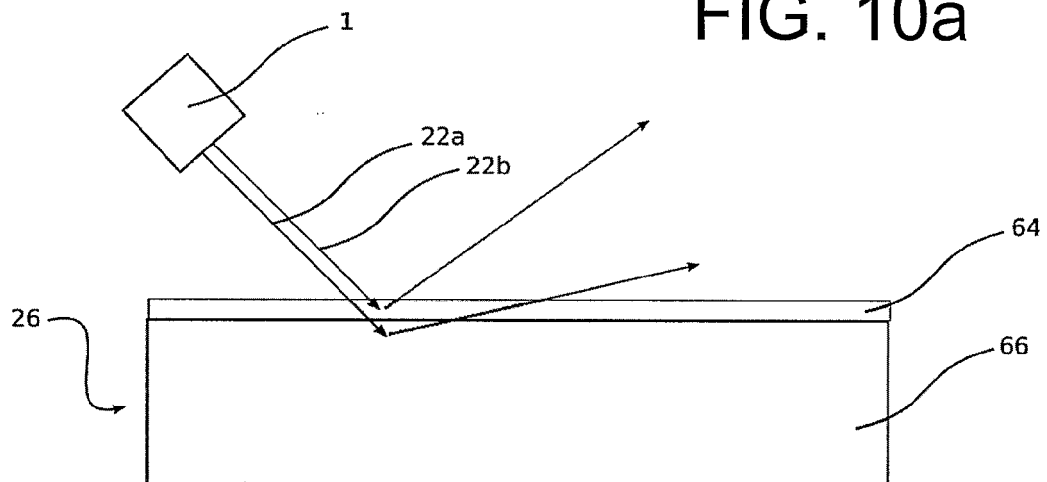


FIG. 10b

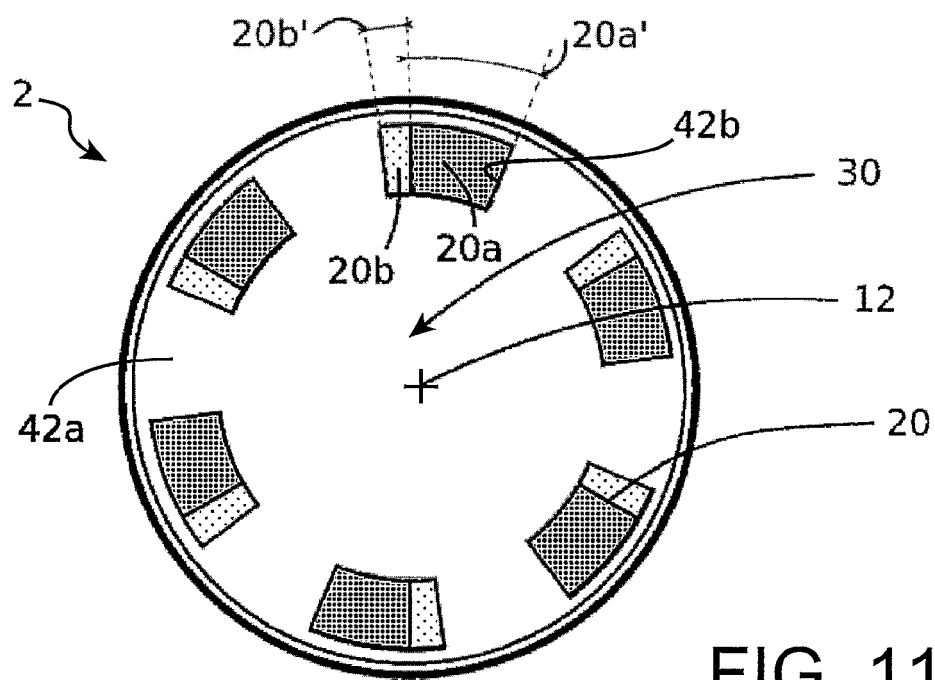


FIG. 11

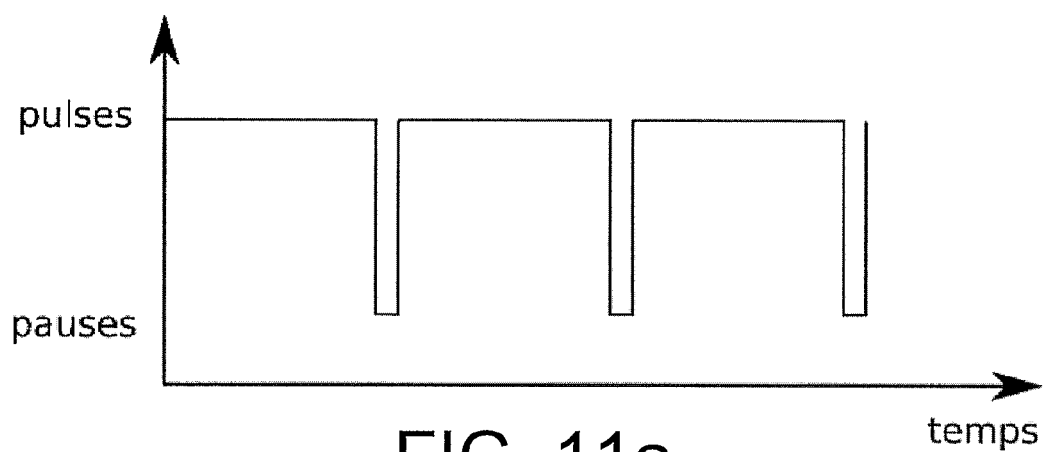
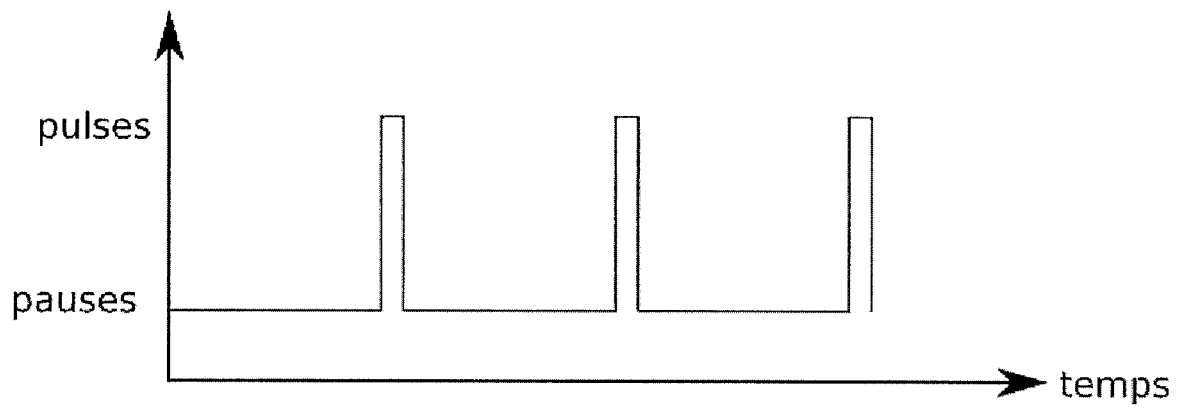
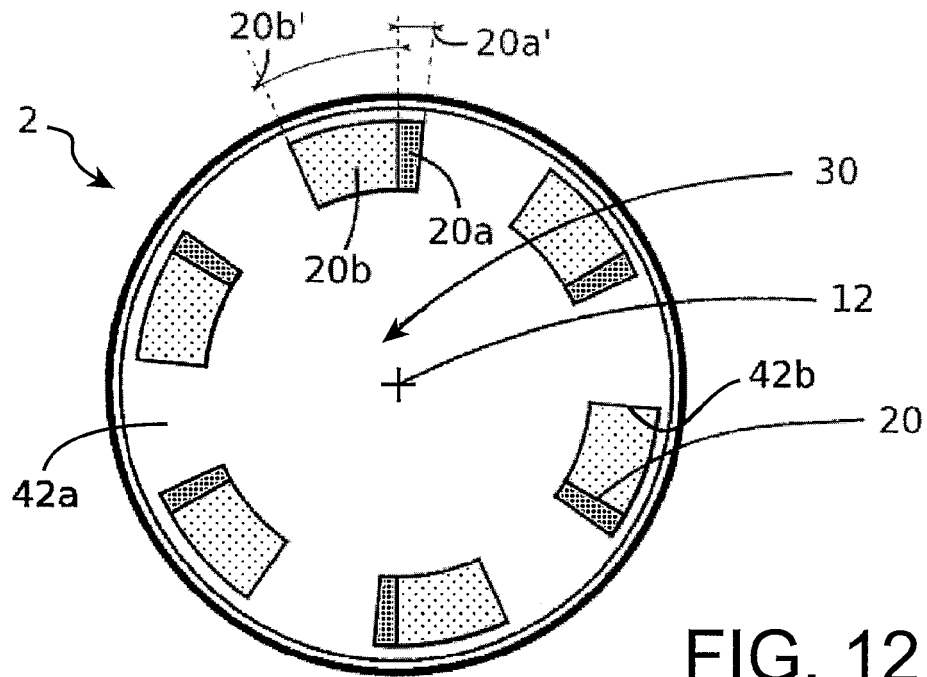


FIG. 11a





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 15 20 0587

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	US 7 649 981 B2 (SEPPI EDWARD J [US] ET AL) 19 janvier 2010 (2010-01-19) * colonne 10, lignes 31-60; figure 4B *	1-15	INV. H01J35/10
A	US 2014/153696 A1 (BEHLING ROLF KARL OTTO [DE] ET AL) 5 juin 2014 (2014-06-05) * alinéas [0073] - [0076], [0099] - [0107]; figures 8A, 8B, 13-15 *	1-15	ADD. G21K1/04 H05G1/62
A	US 2005/053189 A1 (GOHNO MAKOTO [JP] ET AL) 10 mars 2005 (2005-03-10) * alinéas [0054] - [0057], [0060] - [0075]; figures 5-15 *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01J G21K H05G
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 27 avril 2016	Examineur Krauss, Jan
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 15 20 0587

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

27-04-2016

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 7649981 B2	19-01-2010	US 2005084073 A1	21-04-2005
		US 2010111388 A1	06-05-2010
		WO 2005037074 A2	28-04-2005
US 2014153696 A1	05-06-2014	CN 103858203 A	11-06-2014
		EP 2740141 A1	11-06-2014
		US 2014153696 A1	05-06-2014
		WO 2013017988 A1	07-02-2013
US 2005053189 A1	10-03-2005	CN 1589744 A	09-03-2005
		JP 3909048 B2	25-04-2007
		JP 2005080750 A	31-03-2005
		US 2005053189 A1	10-03-2005

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 7649981 B [0006] [0007] [0008]