



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
09.04.2014 Bulletin 2014/15

(51) Int Cl.:
G21K 1/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13187291.3**

(22) Date de dépôt: **03.10.2013**

(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

(71) Demandeur: **Beyrard, Norbert**
01220 Divonne-Les-Bains (FR)

(72) Inventeur: **Beyrard, Norbert**
01220 Divonne-Les-Bains (FR)

(74) Mandataire: **Gaglione, Renaud**
Bureau Renaud Gaglione
240, rue du Quart
01710 Thoiry (FR)

(30) Priorité: **03.10.2012 FR 1202625**

(54) **Réflecteur à rayons X comprenant des particules de minerai d'uranium ou de minerai de plomb pour l'absorption des rayons X non totalement réfléchis**

(57) Réflecteur à rayons X, comprenant une coque (1) délimitant une surface réfléchissante (3) les rayons X et une épaisseur de matériau (5) absorbant les rayons X non totalement réfléchis par la surface réfléchissante.

Selon l'invention, le matériau (5) absorbant comprend des particules de minerai d'uranium ou de minerai de plomb ensachées entre deux feuilles métalliques (11,

13).

Avantageusement, la coque comprend une section d'entrée (7) et une section de sortie (9) fermées de façon étanche aux gaz tout en étant traversées par les rayons X et la surface réfléchissante (3) comprend une feuille métallique (2) plaquée contre la coque (1) par un gaz introduit et maintenu sous pression dans la coque.

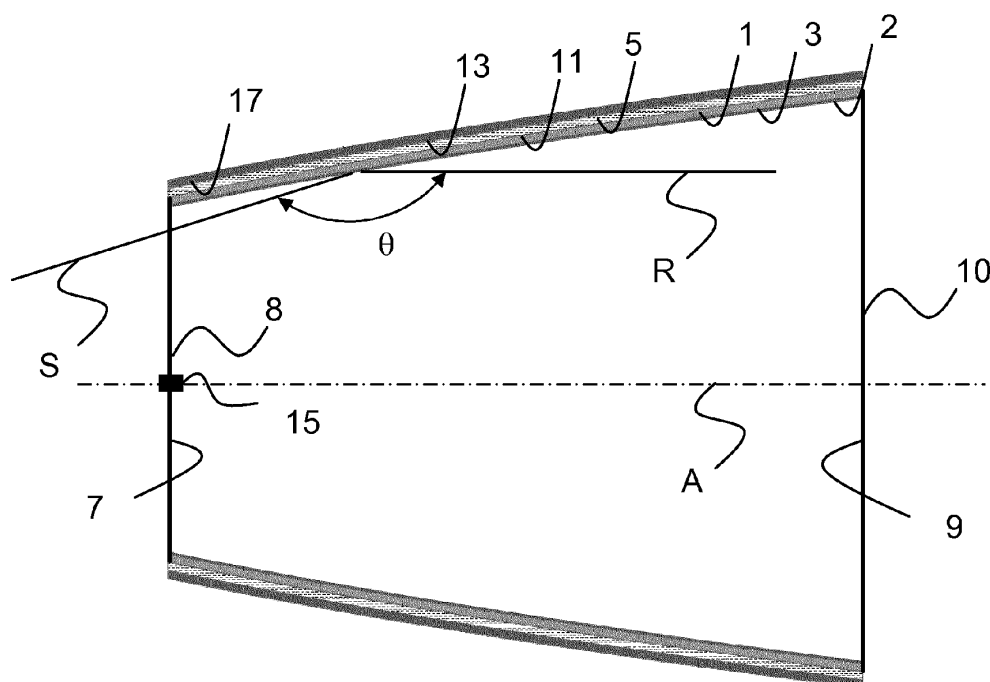


Fig. 1

Description

[0001] L'invention se rapporte à un réflecteur à rayons X, comprenant plus particulièrement une coque délimitant une surface réfléchissant les rayons X et une épaisseur de matériau absorbant les rayons X non totalement réfléchis par la surface réfléchissante.

[0002] Un réflecteur de ce type est connu de la demande de brevet WO 2009/059982 déposée par le demandeur. La coque comprend deux épaisseurs d'acier inoxydable dont l'une est revêtue de platine ou d'or pour former la surface réfléchissant les rayons X. Entre ces deux épaisseurs s'étend une épaisseur de plomb formant le matériau absorbant les rayons X non totalement réfléchis par la surface réfléchissante.

[0003] Le réflecteur est fabriqué par déformation d'un ensemble collé comprenant en superposition, une première plaque d'acier, une plaque de plomb et une deuxième plaque d'acier. En fonction de la forme recherchée, la déformation de l'ensemble des trois plaques collées peut parfois s'avérer délicate, notamment pour un réflecteur de forme paraboloidale.

[0004] L'un des buts de l'invention est de palier cet inconvénient.

[0005] A cet effet, l'invention a pour objet un réflecteur à rayons X, comprenant une coque délimitant une surface réfléchissant les rayons X et une épaisseur de matériau absorbant les rayons X non totalement réfléchis par la surface réfléchissante, **caractérisé en ce que** le matériau absorbant comprend des particules de minerai d'uranium ou de plomb ensachées entre deux feuilles métalliques.

[0006] L'état divisé apporté par les particules de minerai d'uranium ou de plomb permet au matériau absorbant de se déformer plus facilement lors de la fabrication de la coque. L'ensachage des particules entre deux feuilles métalliques garantit leur maintien compact et protège contre un risque de dispersion dans le milieu ambiant. De surcroît, les particules de minerai de plomb ou d'uranium confèrent au matériau absorbant une capacité à accommoder une dilatation thermique de la coque.

[0007] Avantagusement, la coque comprend une section d'entrée et une section de sortie fermées de façon étanche aux gaz tout en étant traversées par les rayons X et la surface réfléchissante comprend une feuille métallique plaquée contre la coque par un gaz introduit et maintenu sous pression dans la coque.

[0008] La pression de gaz permet à la feuille métallique d'être plaquée uniformément contre la coque pendant la durée de service du réflecteur.

[0009] Le réflecteur peut comprendre une ou plusieurs coques. Lorsqu'il comprend plusieurs coques, maintenues par exemple les unes dans les autres par des entretroises, les coques sont avantagusement pourvues de clapets différentiels maintenant une différence de pression d'une coque à l'autre.

[0010] De préférence, la feuille métallique est une feuille d'uranium.

[0011] Il est prévu de pourvoir le réflecteur d'une épaisseur de matériau absorbant les rayonnements radioactifs émis par les particules de minerai d'uranium ou par la feuille d'uranium.

[0012] La coque peut être de forme paraboloidale simple ou double, c'est-à-dire résulter de deux coques paraboloidales disposées tête-bêche. Avantagusement, la coque est un paraboloïde à section elliptique pour tenir compte du fait qu'un faisceau de rayons X n'est pas obligatoirement symétrique autour d'une direction de propagation mais peut au contraire présenter deux étendues différentes suivant deux axes perpendiculaires à la direction de propagation.

[0013] D'autres avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de la description des modes de réalisation illustrés par les dessins.

La figure 1 est une vue en coupe longitudinale d'un réflecteur simple à une coque de forme paraboloidale à section circulaire.

La figure 2 est une vue de face d'un réflecteur simple à une coque de forme paraboloidale à section elliptique.

La figure 3 est une vue en coupe longitudinale d'un réflecteur double à quatre coques.

La figure 4 est une vue schématique d'un dispositif de visualisation et de traitement d'un cancer de la prostate.

[0014] Un réflecteur à rayons X comprend, figure 1, une coque 1 délimitant une surface 3 réfléchissant les rayons X et une épaisseur 5 de matériau absorbant les rayons X non totalement réfléchis par la surface réfléchissante 3. Le matériau de la coque 3 est ici un acier inoxydable et possède une épaisseur d'un millimètre.

[0015] La coque 1 illustrée par la figure 1 est de forme paraboloidale à section circulaire centrée sur la direction axiale A et s'étend entre une section d'entrée 7 et une section de sortie 9. Il faut rappeler que la parabole générant le paraboloïde est définie par la fonction :

$$y^2 = 2 * \rho * x$$

[0016] A titre d'exemple, lorsque le paramètre ρ est égal à l'unité, la section de sortie à 50 cm du foyer du paraboloïde est un cercle de rayon égal à 10 cm, le sommet de la parabole étant placé à l'abscisse x égale à 0.

[0017] Si le foyer d'un tube à rayons X se confond avec le foyer du paraboloïde, les rayons X incidents I sont totalement ou partiellement réfléchis en rayons R parallèles à la direction axiale A. L'angle θ en dessous duquel la réflexion est totale est typiquement compris entre 1 et 5 degré, en fonction de la longueur d'onde des rayons X

qui elle-même dépend de la tension d'alimentation du tube. L'angle θ est pris par rapport à la tangente à la surface réfléchissante 3 au point d'impact P d'un rayon X incident I.

[0018] Selon l'invention, le matériau 5 absorbant les rayons X non totalement réfléchis comprend des particules de minerai d'uranium ou de plomb ensachées entre deux feuilles métalliques 11 et 13. Les particules de minerai d'uranium sont obtenues par broyage par exemple de la pechblende. Les particules de minerai de plomb sont obtenues par broyage par exemple de la galène. Elles ont dans les deux cas une taille comprise entre 20 et 200 microns. Les deux feuilles métalliques 11 et 13 sont par exemple en aluminium ou en acier et ont typiquement 50 microns d'épaisseur. Elles sont soudées par les bords pour former l'ensachage, après compactage des particules. L'ensachage garantit contre un risque de dispersion des particules de minerai dans le milieu ambiant. Au surplus, on prévoit d'ajouter une poudre d'une résine thermoplastique, par exemple une résine thermoplastique polyester, pour obtenir une matrice fixant les particules de minerai d'uranium ou de plomb.

[0019] Dans l'exemple de la figure 1, la section d'entrée 7 et la section de sortie 9 de la coque 1 sont fermées de façon étanche aux gaz par deux plaques 8 et 10 laissant passer les rayons X. Une valve 15 est prévue sur l'une 8 des deux plaques pour l'introduction d'un gaz dans le volume de la coque 1, jusqu'à l'obtention d'une pression de service de l'ordre de 1,16 bar. Cette pression permet de plaquer contre la coque 1, une feuille métallique 2 formant la surface réfléchissante 3. Ainsi la feuille métallique 2 conserve à la coque la qualité de son état de surface. Pendant l'utilisation du réflecteur, la pression peut être contrôlée par un manomètre raccordée à la valve 15 et une recharge en gaz effectuée si nécessaire. De cette façon, le maintien de la feuille métallique 2 est assuré dans le temps. On peut par conséquent pré-encoller la feuille métallique 2 sur la coque sans craindre une dégradation du collage dans le temps sous l'effet des rayons X. Le gaz est de préférence l'azote : outre une pression uniforme sur la feuille métallique 2 formant la surface réfléchissante 3, il permet de prévenir l'oxydation du métal formant la coque 1 soumise aux rayons X.

[0020] La feuille métallique 2 est ici une feuille d'uranium dont l'épaisseur est comprise entre 5 et 50 microns. Elle est obtenue par laminage d'uranium appauvri issu du cycle d'enrichissement de l'uranium en uranium 235 utilisé dans l'énergie nucléaire.

[0021] A des fins de radioprotection, le réflecteur peut comprendre une épaisseur 17 d'un matériau absorbant les rayonnements radioactifs émis par la feuille d'uranium ou par les particules de minerai d'uranium. Il peut s'agir d'une feuille métallique en acier ou en aluminium.

[0022] Le réflecteur paraboloidal illustré par la figure 1 peut être fabriqué à partir des développées de ses différentes épaisseurs. On réalise ainsi l'empilement d'une feuille d'uranium, d'une plaque d'acier, d'un compact de

entre deux feuilles d'aluminium soudées entre elles par les bords et d'une feuille d'acier pour la radioprotection. Ces différentes développées de la forme paraboloidale sont par exemple collées entre elles et mises en forme autour d'un paraboloid de référence puis soudées sur les bords de jointure. L'état divisé dû aux particules de minerai facilite la mise en forme du matériau absorbant 5 sur la coque 1. Les plaques d'étanchéité au gaz 8 et 10 sont ensuite soudées à la coque sur les sections d'entrée 7 et de sortie 9. Ces plaques sont par exemple en acier ou en aluminium.

[0023] Figure 2, le réflecteur est identique à celui qui vient d'être décrit, à l'exception de la section elliptique de la coque paraboloidale. Dans le plan de coupe de la figure, la coque 1, seule représentée par souci de clarté, épouse une parabole supérieure 14 et une parabole inférieure 16. La parabole inférieure est plus ouverte que la parabole supérieure pour prendre en charge une dissymétrie d'un faisceau de rayons X par rapport à l'axe x des abscisses le long duquel la fonction y génératrice des paraboles est calculée. Ainsi, le rayon incident inférieur 20 issu du foyer F d'un tube à rayons X, non représenté, a un angle d'ouverture β plus grand que l'angle d'ouverture α du rayon incident supérieur 18. Le foyer F est disposé entre le foyer géométrique de la parabole supérieure 14 et celui de la parabole inférieure 16 pour réfléchir les deux rayons incidents 18 et 20 en deux rayons 19 et 21 parallèles à l'axe x des abscisses.

[0024] Figure 3, un réflecteur double comprend deux réflecteurs simples montés tête-bêche. Chaque réflecteur simple comprend quatre coques coaxiales supportées par des entretoises profilées. Les deux réflecteurs simples étant supposés identiques, on ne décrira que l'un d'eux. Les quatre coques sont référencées 22, 24, 26 et 28 et les entretoises 23. Les quatre paraboles générant les quatre coques sont calculées pour avoir un même foyer F et pour former quatre sections de sortie théoriquement contigües, savoir, une section circulaire pour la coque intérieure 22 et trois sections annulaires pour les coques intermédiaire 24 et 26 et la coque extérieure 28. Chaque coque prise isolément est analogue à la coque du réflecteur décrit à l'aide de la figure 1. Ainsi, la surface réfléchissante de chaque coque comprend une feuille d'uranium. Chaque réflecteur simple comprend également quatre épaisseurs de matériau absorbant. Là encore, chaque épaisseur prise isolément est analogue à l'épaisseur de matériau absorbant du réflecteur décrit à l'aide de la figure 1.

[0025] Les deux réflecteurs simples sont fixés l'un à l'autre par l'intermédiaire des entretoises 23 assemblées deux à deux par des tenons 25. La section d'entrée de l'un des réflecteurs simples et la section de sortie de l'autre réflecteur simple sont fermées par une plaque 29, 31 fixée aux quatre coques de chaque réflecteur pour former quatre compartiments étanches aux gaz, en communication les uns avec les autres. La mise en pression et la recharge en azote sont assurées par l'intermédiaire d'une valve 33 montée par exemple sur la coque exté-

rieure 28.

[0026] L'expérience montre qu'une fuite de gaz dans le compartiment délimité par la coque intérieure 22 peut conduire à un décollement local de la feuille d'uranium, ce compartiment pouvant se trouver en dépression par rapport au compartiment délimité par la coque intermédiaire suivante 24. Par sécurité, les communications entre la coque intérieure 22 et les deux coques intermédiaires 24 et 26 sont pourvues de clapets différentiels 30 pour maintenir une différence de pression d'une coque à l'autre, même en cas de fuite. Ainsi, chaque feuille d'uranium 2 reste plaquée contre chaque coque. A titre d'exemple, la pression d'azote suit la décroissante suivante de la coque intérieure 22 vers la coque extérieure 28 :

1,16 bar

1,12 bar

1,08 bar

1,04 bar.

[0027] La pression différentielle entre deux coques est alors égale à 0,04 bar soit 40 gf par cm².

[0028] Un réflecteur double selon l'invention permet de concentrer la dose d'irradiation en un point, image virtuelle du foyer du paraboloïde. Ce foyer virtuel peut être déplacé par rapport à un corps par translation relative du corps et du réflecteur parallèlement à la direction axiale de ce dernier. Ces déplacements permettent d'utiliser le réflecteur dans un dispositif à visualisation et traitement d'une tumeur, par exemple un cancer de la prostate.

[0029] Figure 4, un tel dispositif est décrit de façon schématique en référence seulement aux éléments suivants : un tube 35 à rayons X émet un faisceau conique 37 à partir d'un foyer F1. Le foyer d'un réflecteur paraboloïde double 39 à quatre coques, conforme à celui en référence à la figure 3, est disposé en coïncidence avec le foyer F1 du tube à rayons X pour concentrer les rayons X en un foyer virtuel F2. Un patient 41 est étendu sur une table d'examen 43 sous laquelle est disposé un détecteur 45 à rayons X.

[0030] Le dispositif permet de réaliser la séquence de visualisation et de traitement suivante :

i) prise de vue tomographique pour visualiser la tumeur avant traitement. Le foyer virtuel F2 est disposé près de la peau du patient. On réalise la tomographie en déplaçant le tube 35 à rayons X et le détecteur 45 en deux translations parallèles et de sens opposés. Le rapport des vitesses de déplacement est ajusté pour que le plan tomographique soit situé aussi proche que possible de la prostate.

ii) déplacement de la table d'examen 43 pour ramener le patient de façon à ce que la prostate soit à la

verticale du foyer F1 du tube 35 à rayons X et de la direction axiale A du réflecteur 39.

iii) translation vers le haut du tube 35 à rayons X et du réflecteur 39 pour disposer le foyer virtuel F2 au dessus de la prostate et réalisation d'une nouvelle tomographie. Le rapport des vitesses de déplacement est ajusté pour que le plan tomographique soit situé aussi proche que possible de la tumeur.

iv) translation vers le bas du tube 35 à rayons X foyer et du réflecteur 39 pour amener en coïncidence le foyer virtuel F2 et la tumeur. La puissance du tube à rayons X est augmentée pour traiter la tumeur par destruction des cellules cancéreuses.

v) nouvelle translation vers le haut du tube 35 à rayons X et du réflecteur 39 pour disposer le foyer virtuel F2 selon l'étape iii) et visualiser la réduction de la tumeur, par comparaison avec l'image obtenue à cette étape.

[0031] La séquence est conduite jusqu'à la destruction de la tumeur ou jusqu'au moment où le temps d'exposition aux rayons X est dépassé. On pourra réaliser ce processus en plusieurs journées pour des tumeurs importantes.

[0032] Le réflecteur double utilisé dans le dispositif qui vient d'être décrit permet de réduire la dose d'irradiation reçue par le patient sur les tissus et organes sains à proximité de la prostate. Ce gain est d'autant plus important que la tumeur à traiter est encore de petite taille, typiquement inférieur à 1 mm³, ayant été détectée par un scanner à haute définition. De surcroît, le réflecteur permet de visualiser la destruction de la tumeur pendant le traitement lui-même, ce qui là encore réduit l'irradiation du patient par rapport à un suivi a posteriori.

Revendications

1. Réflecteur à rayons X, comprenant une coque (1) délimitant une surface (3) réfléchissant les rayons X et une épaisseur de matériau (5) absorbant les rayons X non totalement réfléchis par la surface réfléchissante, **caractérisé en ce que** le matériau (5) absorbant comprend des particules de minerai d'uranium ou de minerai de plomb ensachées entre deux feuilles métalliques (11, 13).
2. Réflecteur à rayons X selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la coque (1) comprend une section d'entrée (7) et une section de sortie (9) fermées de façon étanche aux gaz tout en étant traversées par les rayons X et la surface réfléchissante (3) comprend une feuille métallique (2) plaquée contre la coque (1) par un gaz introduit (15) et maintenu sous pression dans la coque.

3. Réflecteur à rayons X selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'il** comprend plusieurs coques (22, 24, 26, 28) pourvues de clapets différentiels (30) maintenant une différence de pression d'une coque à l'autre. 5
4. Réflecteur à rayons X selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** la feuille métallique (2) est une feuille d'uranium. 10
5. Réflecteur à rayons X selon la revendication 1 ou 4, **caractérisé en ce qu'il** comprend une épaisseur de matériau (17) absorbant les rayonnements radioactifs émis par les particules de minerai d'uranium ou par la feuille d'uranium (2). 15
6. Réflecteur à rayons X selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la coque (1) est un paraboloïde à section elliptique. 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

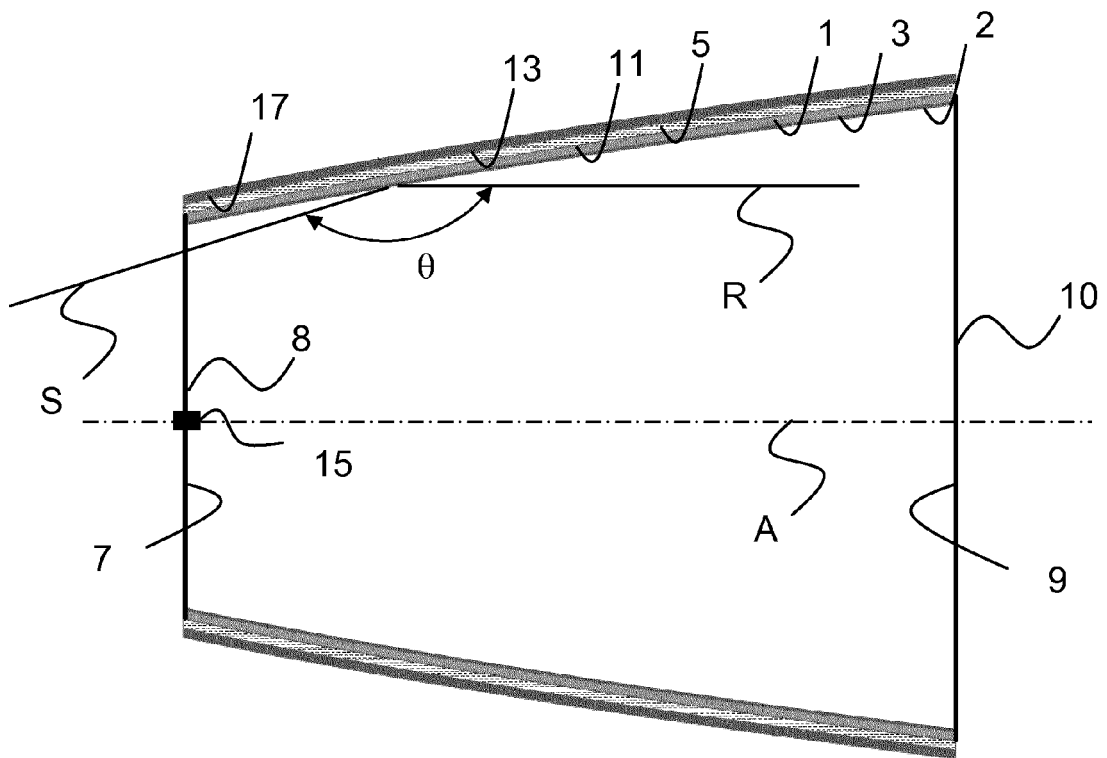


Fig. 1

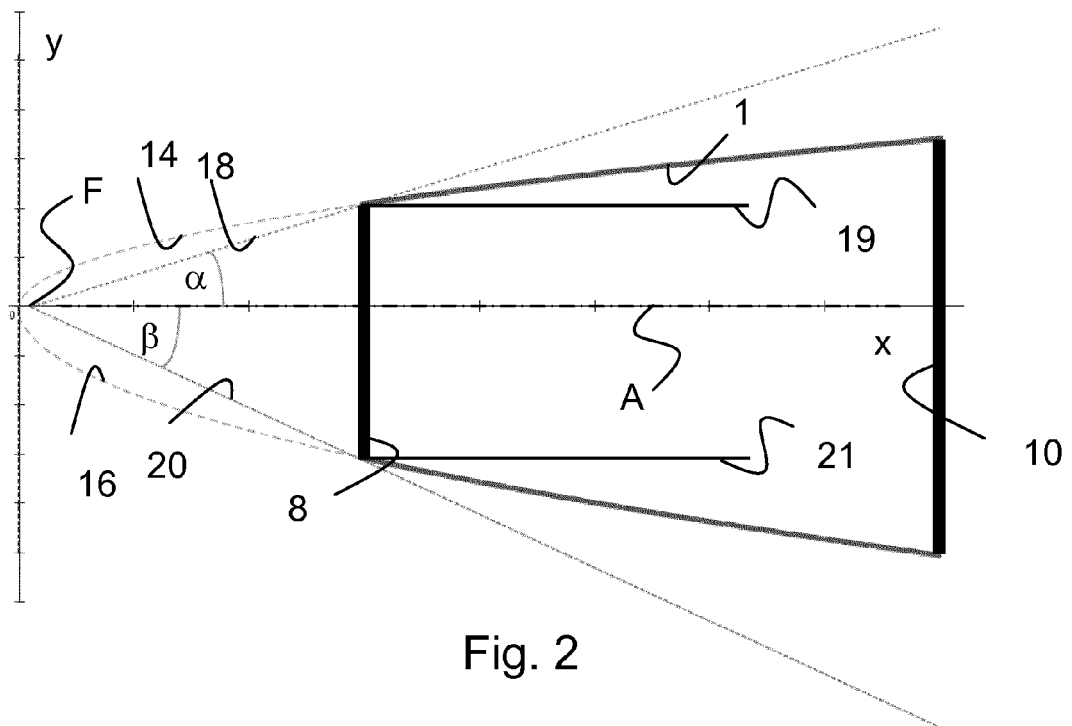


Fig. 2

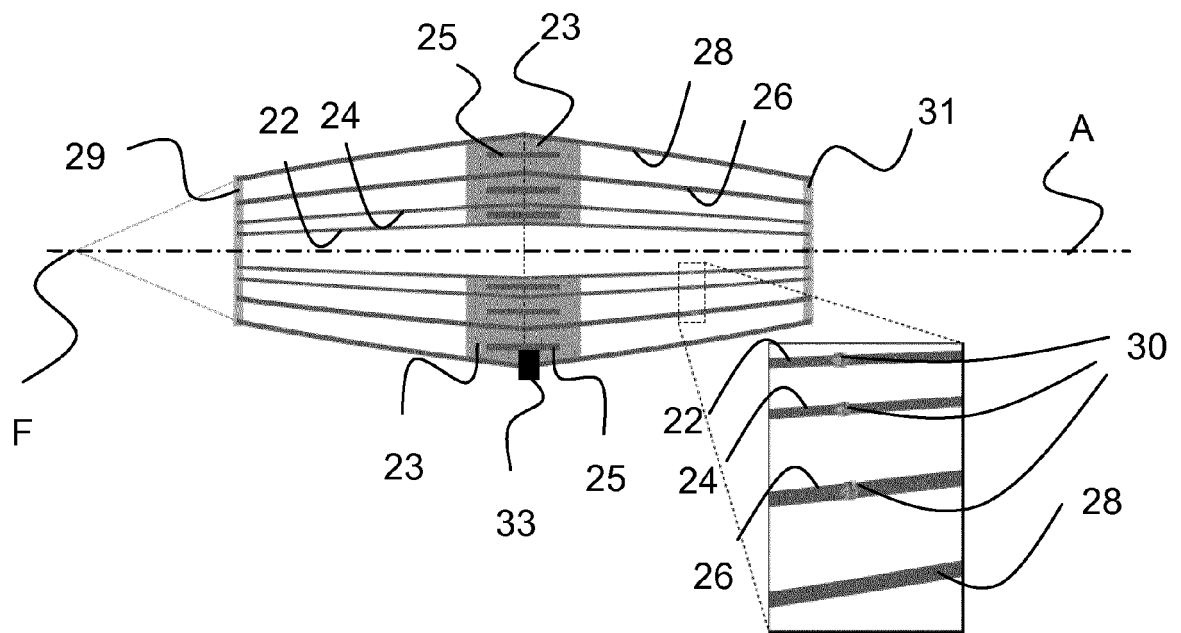


Fig. 3

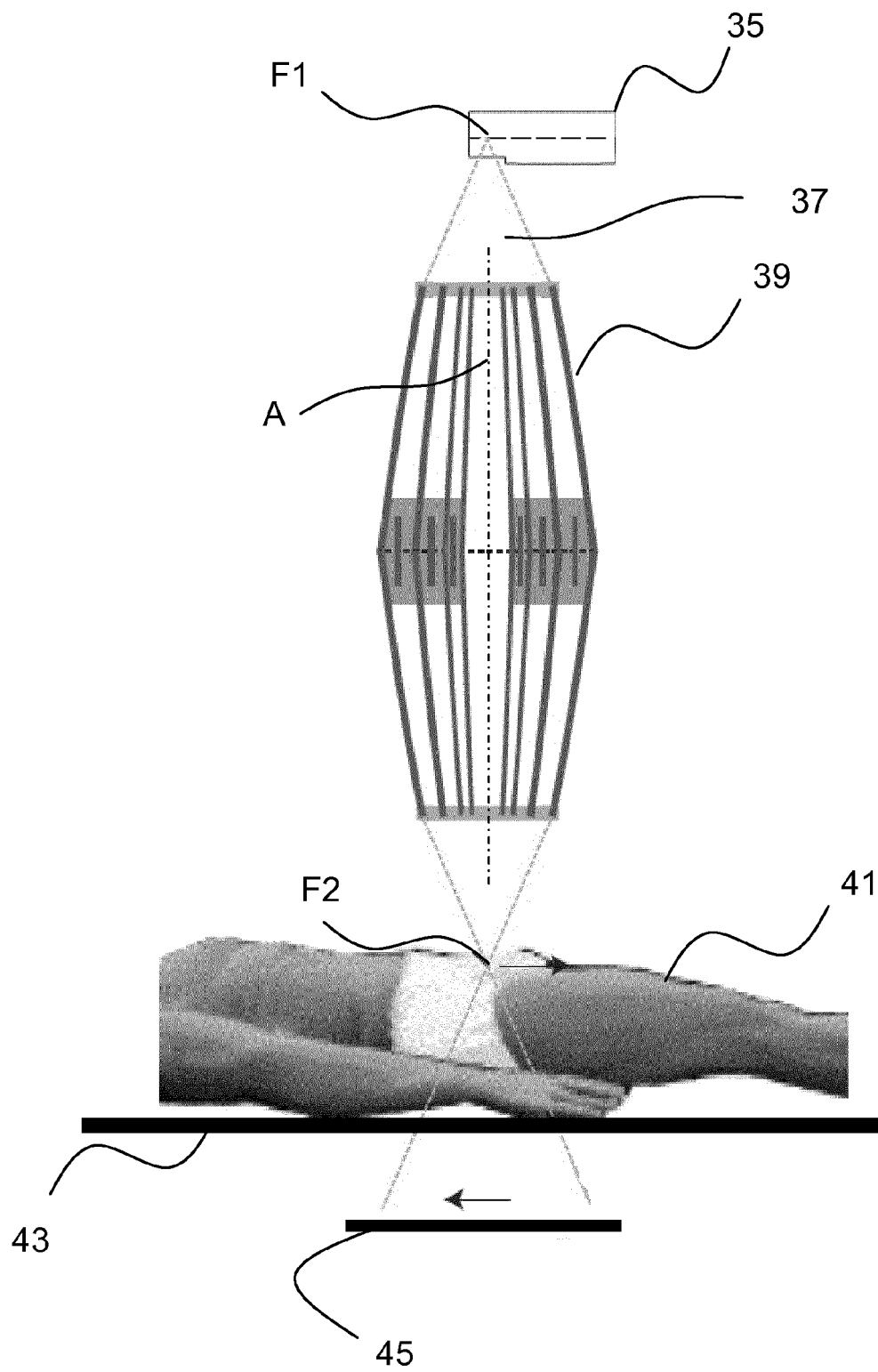


Fig. 4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 13 18 7291

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	WO 2009/059982 A1 (BEYRARD NORBERT [FR]) 14 mai 2009 (2009-05-14) * page 12, ligne 9-20 *	1	INV. G21K1/06
A	WO 2008/125680 A1 (INST ANGEWANDTE PHOTONIK E V [DE]; BAYER SCHERING PHARMA AG [DE]; CHAR) 23 octobre 2008 (2008-10-23) * page 11, ligne 24 - page 12, ligne 28 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G21K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 16 décembre 2013	Examineur Krauss, Jan
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 13 18 7291

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.

16-12-2013

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2009059982 A1	14-05-2009	AT 541514 T	15-02-2012
		EP 2205158 A1	14-07-2010
		FR 2923638 A1	15-05-2009
		WO 2009059982 A1	14-05-2009

WO 2008125680 A1	23-10-2008	CL 10642008 A1	24-10-2008
		DE 102007018102 A1	02-01-2009
		PE 01342009 A1	08-05-2009
		TW 200920437 A	16-05-2009
		UY 31025 A1	28-11-2008
		WO 2008125680 A1	23-10-2008

EPO FORM P0460

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

- WO 2009059982 A [0002]