

(51) Int Cl.:
H01Q 15/14 (2006.01)

(22) Date de dépôt: 18.02.2011

- **Depeyre, Serge**
31700, BLAGNAC (FR)
- **Belloeil, Victorien**
31570, BOURG SAINT BERNARD (FR)
- **Lepeltier, Philippe**
31320, CASTANET (FR)
- **Taisant, Jean-Philippe**
31400, TOULOUSE (FR)

(71) Demandeurs:

- **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)
- **Centre National d'Etudes Spatiales**
75039 Paris Cedex 01 (FR)

(74) Mandataire: **Nguyen, Dominique et al**
Marks & Clerk France
Immeuble Visium
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
• **Schreider, Ludovic**
31470, FONSORBES (FR)

(54) **Membrane réfléchissante déformable pour réflecteur reconfigurable, réflecteur d'antenne reconfigurable et antenne comportant une telle membrane**

(57) La membrane réfléchissante déformable (5) comporte, en épaisseur, une superposition alternée de couches en élastomère conducteur (10) et d'au moins deux couches de renfort (11), chaque couche de renfort

étant découpée en patchs élémentaires espacés les uns des autres et répartis périodiquement dans le plan de la membrane.

Application notamment au domaine spatial.



Description

[0001] La présente invention concerne une membrane réfléchissante déformable pour réflecteur reconfigurable, un réflecteur reconfigurable comportant une telle membrane et une antenne comportant un tel réflecteur. Elle s'applique à tout réflecteur d'antenne dont on souhaite pouvoir modifier la forme du faisceau en service et plus particulièrement au domaine des applications spatiales telles que les télécommunications par satellite.

[0002] Une méthode classique pour obtenir un faisceau à contour formé consiste à utiliser une source multiple éclairant, selon une loi d'illumination adaptée, un système de réflecteur excentré simple ou double, voire une source multiple en rayonnement direct. Les éléments rayonnants de la source sont excités avec des signaux dont les phases et les amplitudes sont optimisées, au moyen d'un réseau de formation de faisceaux BFN (en anglais : Beam Forming Network) comportant une pluralité de guides d'ondes. Cependant ce type d'antenne, dite antenne réseau, est très complexe et présente des pertes d'énergie radio-électrique et une masse importante pénalisante pour une implantation sur un satellite.

Pour obtenir un diagramme de rayonnement ayant un contour prédéfini, il est également connu d'utiliser une source unique associée à un système de réflecteur(s) simple ou double à surface formée, c'est-à-dire ayant une géométrie spécifique définissant au sol une zone ayant un contour non circulaire, par exemple un pays ou un groupe de pays. Les variations de chemin optique entre la source et différents points du réflecteur permettent de générer des faisceaux ayant un diagramme de phase et d'amplitude correspondant aux caractéristiques du diagramme de rayonnement souhaité.

[0003] En raison de l'allongement de la durée de vie des satellites, il devient nécessaire de pouvoir modifier, en orbite, la forme des faisceaux et donc le contour de la zone au sol, sans changer le réflecteur afin de compenser des variations de position orbitale ou de répondre à de nouvelles contraintes de service. Pour reconfigurer en orbite une antenne réseau, il est connu d'utiliser des BFNs mettant en oeuvre un contrôle dynamique des lois de phase et/ou d'amplitude permettent ainsi de modifier la loi d'illumination dans le cas d'une source multiple devant un système de réflecteurs ou directement le diagramme rayonné dans le cas d'une source multiple en rayonnement direct. Pour reconfigurer en orbite une antenne à réflecteur, il est également connu d'employer un ou plusieurs réflecteurs dont les surfaces réfléchissantes sont déformables afin de pouvoir modifier le diagramme de rayonnement.

[0004] Il est connu notamment du document FR 2 678 111, de réaliser une antenne à réflecteur reconfigurable en utilisant une surface réfléchissante formée d'un tricot ou d'un tissu en maille (en anglais : mesh). L'inconvénient de ces tissus en maille est le manque de raideur, ce qui nécessite d'associer le tissu en maille à une structure rigide porteuse qui peut-être par exemple constituée

d'une grille de fils raides orthogonaux, la grille étant fixée sur sa périphérie. Cependant, pour que le réflecteur de l'antenne ne crée pas de parasites dans la bande de réception Rx, tels que notamment des produits d'intermodulation d'ordre 3 qui sont les parasites les plus critiques en bande Ku, il est nécessaire que le tissu en maille soit très tendu. Or il est très difficile, voire impossible de maîtriser une tension de tissu homogène lorsque la surface du réflecteur n'est pas plane mais déformée pour élaborer la couverture au sol souhaitée.

[0005] Il est également connu d'utiliser une surface réfléchissante comportant une membrane à la fois flexible comme un tricot et stable dimensionnellement en utilisant des fibres de carbone liées par un silicone. Cependant ce type de membrane présente une raideur élevée ce qui a pour conséquence une difficulté à réaliser une surface déformée quelconque non-développable (on entend par surface développable, une surface qui peut être créée à partir d'une surface plane, tel qu'un cylindre ou un cône par exemple). Selon le profil de la surface à réaliser, la raideur de la membrane peut en particulier provoquer des plis. En outre, cette membrane crée des niveaux importants de produits d'intermodulation d'ordre 3 non conformes aux exigences usuelles en bande Ku.

[0006] Un autre type de surface réfléchissante connu consiste à utiliser une grille de fils raides orthogonaux dont les bords sont libres, la grille étant maintenue et contrainte à une forme prédéterminée seulement par des points de contrôle. Un modèle a été construit en utilisant des fils constitués de cordes de piano de diamètre 0,3mm et une distance entre chaque corde de 10mm pour un diamètre de réflecteur de 30cm. Neuf points de contrôle ont permis de déformer la surface. Cependant la réflectivité radiofréquence de cette surface réfléchissante est insuffisante en bande Ku et les contacts entre chaque fil de la grille sont des sources potentielles de produits d'intermodulation inacceptables.

[0007] Le but de l'invention est de remédier aux inconvénients des surfaces réfléchissantes déformables connues et de réaliser une membrane réfléchissante déformable à réflectivité radiofréquence élevée présentant une zone élastique élevée permettant des déformations importantes dans des directions multiples dans le plan et hors du plan de la surface de la membrane, présentant une raideur de flexion et un faible coefficient de dilatation thermique permettant une stabilité dimensionnelle de la membrane sur une gamme de température compatible d'une application spatiale, et une bonne homogénéité électrique ou des contacts électriques isolés les uns des autres pour ne pas créer des niveaux importants de produits d'intermodulation.

[0008] Pour cela, l'invention concerne une membrane réfléchissante déformable pour réflecteur reconfigurable, caractérisée en ce qu'elle comporte en épaisseur, une superposition alternée de couches en élastomère conducteur et d'au moins deux couches de renfort discontinues, chaque couche de renfort étant découpée en patchs élémentaires espacés les uns des autres et ré-

partis périodiquement dans le plan de la membrane.

[0009] Avantageusement, les patchs de renfort élémentaires sont disposés en quinconce d'une couche à l'autre.

[0010] Préférentiellement, le nombre de couches de renfort est pair.

[0011] Dans le cas où le nombre de couches de renfort est impair, la répartition des patchs de renfort dans les différentes couches de renfort présente une symétrie miroir par rapport au plan de la couche de renfort située au centre de la membrane.

[0012] Avantageusement, la couche de renfort est réalisée dans un matériau à faible coefficient de dilatation thermique tels que des fibres en alliage de fer et de nickel, par exemple en Invar, ou des fibres de carbone. Les constituants de la couche de renfort peuvent aussi être des fibres en inox ou en tungstène ou tout autre matériau ayant des propriétés identiques

[0013] Avantageusement, l'élastomère conducteur est un élastomère chargé de particules métalliques et a une conductivité électrique comprise entre $2 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{cm}$ et $5 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{cm}$.

[0014] Avantageusement, l'élastomère conducteur peut comporter 30% de silicone et 70% de particules métalliques.

[0015] L'invention concerne aussi un réflecteur d'antenne reconfigurable et une antenne comportant une telle membrane réfléchissante déformable.

[0016] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figure 1 : un schéma en coupe d'un exemple de portion de membrane réfléchissante déformable, selon l'invention ;
- figures 2a et 2b : deux schémas, respectivement en perspective et en coupe transversale, de la disposition, en quinconce, des patchs de quatre couches de renfort différentes dans l'épaisseur de la membrane, selon l'invention ;
- figures 3a et 3b : deux schémas de la répartition des patchs de renfort dans le plan du renfort pour deux couches de renfort différentes, selon l'invention ;
- figure 4a : un premier exemple d'antenne Grégorienne à double réflecteur avec une membrane réfléchissante déformable montée sur le réflecteur principal, selon l'invention ;
- figures 4b et 4c : deux vues d'ensemble et de détail d'un deuxième exemple d'antenne Grégorienne à double réflecteur avec une membrane réfléchissante déformable montée sur le sous-réflecteur, selon l'invention.

[0017] La portion de membrane 5 représentée sur la figure 1 comporte en épaisseur suivant l'axe Z, une superposition alternée de couches d'élastomère conduc-

teur 10 et de couches de renfort 11, les couches de renfort étant non homogènes dans le plan XY de la couche. Les couches de renfort 11 sont discontinues et constituées de patchs élémentaires 13 espacés les uns des autres et répartis périodiquement dans le plan de la membrane. Les patchs 13 peuvent être, par exemple, constitués de grilles de fils discontinus, les grilles de fils formant des tissus comportant des fils 12 raides à module d'Young élevé supérieur à 100Gpa et à zone élastique très courte par exemple de l'ordre de 0,2% d'élongation (on rappelle que le pourcentage d'élongation d'un matériau élastique correspond au rapport entre sa capacité d'étirement et sa longueur). Les fils 12 sont préférentiellement réalisés dans un matériau à faible coefficient de dilatation thermique inférieur à 10ppm/°C, tel que par exemple des fibres de carbone ou des fibres en alliage de fer et de nickel tel que l'Invar (marque déposée) ou le Kovar (marque déposée) et le diamètre des fils 12 est par exemple compris entre 50 et 200 micromètres. Les fibres pourraient également être réalisées dans un autre type de matériau tel que l'inox ou le tungstène. Le nombre de couches de renfort 11 comportant les patchs 13 discontinus est supérieur ou égal à deux, les patchs 13 étant disposés en quinconce d'une couche de renfort à l'autre comme représenté sur les figures 2a et 2b, de manière que les patchs 13 des différentes couches de renfort 11 se chevauchent et que les discontinuités 14 de chaque couche de renfort 11 ne soient pas placées les unes au-dessous des autres. Les zones de chevauchement D des patchs 13 permettent d'avoir une membrane 5 ayant une raideur homogène. Des actuateurs 4 régulièrement fixés sur la face inférieure 16 de la membrane 5 permettent de faire varier sa forme localement et d'obtenir, lorsque la membrane 5 est montée en réflecteur d'antenne, un diagramme de rayonnement conforme à ce qu'il est souhaité. La membrane 5 peut être montée par exemple comme le réflecteur d'une antenne à réflecteur unique ou comme le réflecteur principal 40 d'une antenne Grégorienne telle que représentée par exemple sur la figure 4a ou sur le sous-réflecteur 41 d'une antenne Grégorienne comportant un réflecteur principal et un sous-réflecteur telle que représentée sur les vues d'ensemble et de détail des figures 4b et 4c.

[0018] L'élastomère conducteur 10 est un élastomère chargé de particules métalliques. Les particules métalliques sont noyées dans un liant, par exemple du silicone, formant la base de l'élastomère. Ce type de matériau a un comportement élastique et une grande capacité de déformation de l'ordre de plusieurs dizaines de pour cent d'élongation. La réflectivité radiofréquence de l'élastomère dépend de son taux de charges. Par exemple, pour avoir une réflectivité satisfaisante en bande Ku, il est nécessaire que la conductivité électrique de la membrane soit comprise entre $2 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{cm}$ et $5 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{cm}$. Le pourcentage de particules métalliques introduit dans l'élastomère est donc déterminé pour respecter ces valeurs de conductivité électrique de la membrane.

[0019] En particulier, à titre d'exemple non limitatif, un

élastomère de silicone comportant 70% de charges métalliques et 30% de base élastomère, a une réflectivité satisfaisante en bande Ku sur une gamme de températures qui dépend de la base d'élastomère utilisée. Par exemple, l'élastomère conducteur, connu sous la marque déposée GT1000, constitué d'une base de 30% de silicone chargée de 70% de particules de cuivre argenté comporte une réflectivité mesurée égale à -0,18dB à 14,5GHz et une capacité à l'allongement supérieure à 70% sur la gamme de température comprise entre -50°C et +125°C. Les particules métalliques qui chargent l'élastomère sont isolées les unes des autres par l'élastomère, tel que par exemple du silicone, ce qui permet d'avoir un comportement satisfaisant vis-à-vis des produits d'intermodulation d'ordres 3, 5 et 7 en bande Ku qui sont de l'ordre de -160 à -180 dBc pour deux porteuses de 100Watts. Il est également possible d'utiliser d'autres types d'élastomère conducteur, tel que par exemple l'élastomère conducteur connu sous le nom de CV2 2646 qui comporte une base constituée d'un copolymère de silicone chargé de particules métalliques, qui est stable dans une gamme de températures comprises entre -115°C et +250°C et qui présente une capacité à l'allongement de 75%.

[0020] Les inconvénients des élastomères chargés sont un coefficient de dilatation thermique CTE élevé, de l'ordre de 150ppm/°C et un manque de raideur de flexion. Il est possible de diminuer le coefficient de dilatation thermique et d'augmenter la raideur des élastomères chargés en augmentant le taux de charge, mais c'est au détriment de ses capacités de déformations.

[0021] L'incorporation de couches de renfort discontinues 11 dans l'élastomère chargé 10 permet d'assurer un renfort mécanique de l'élastomère chargé et de stabiliser dimensionnellement la membrane 5. Pour autoriser de grandes déformations de la membrane 5 dans des directions hors de son plan, la couche de renfort est découpée sous forme de patches qui sont répartis de manière périodique dans le plan XY de la membrane 5 comme représenté sur les figures 3a et 3b. Pour minimiser les discontinuités de raideur entre les zones qui comportent un patch 13 et les zones 14 situées entre deux patches, les patches 13 sont disposés en quinconce d'une couche à l'autre. Le nombre de couches de renfort dépend des dimensions et de la période des patches 13. Préférentiellement, pour avoir un comportement homogène de la membrane 5 dans le plan XY, le nombre de couches de renfort dans son épaisseur suivant l'axe Z est pair. Alternativement, lorsque le nombre de couches de renfort est impair, la répartition des patches 13 dans les différentes couches de renfort présente préférentiellement une symétrie miroir par rapport au plan de la couche de renfort située au centre de la membrane. De cette façon, la position des patches 13 de renfort est symétrique dans l'épaisseur de la membrane 5 qui présente alors un comportement identique sur ses deux faces inférieure 16 et supérieure 17.

[0022] La réalisation de la membrane 5 comporte une

première étape pendant laquelle est fabriquée une préforme constituée d'une membrane fine d'élastomère conducteur de l'ordre de 0,5mm d'épaisseur. La préforme est placée dans un moule ayant la forme de la surface de référence moyenne souhaitée pour le réflecteur. Dans une deuxième étape, des patches de renfort comportant par exemple des fils raides tissés, les fils pouvant être de préférence dans un matériau à faible CTE telles que des fibres de carbone ou des fibres d'Invar, ou dans un matériau tel que l'inox ou le tungstène, sont posés périodiquement sur toute la surface de la préforme en laissant une distance par exemple de quelques millimètres entre chaque patch. Les patches peuvent par exemple être des carrés de tissu de 6 à 7 cm de côté, ou toute autre forme et toute autre dimension. Dans une troisième étape, une nouvelle préforme d'élastomère conducteur est placée sur la première couche de patches, puis une deuxième couche de patches est posée, les patches de la deuxième couche étant disposés en quinconce par rapport aux patches de la première couche de patches, et ainsi de suite jusqu'à l'obtention du nombre de couches souhaitées, la dernière couche étant une couche d'élastomère conducteur.

[0023] En général, trois ou quatre couches de renfort dans l'épaisseur de la membrane sont suffisantes.

[0024] Les différentes couches placées dans le moule sont ensuite solidarisées par polymérisation de l'élastomère, soit à température ambiante, soit dans une étuve ou un four à une température de fusion du silicone utilisé, par exemple comprise entre 110° et 200°C, pendant une à deux heures, selon le type de silicone choisi. La membrane est ensuite démoulée et peut-être utilisée comme surface réfléchissante déformable d'un réflecteur.

[0025] La forme de la membrane peut alors être modifiée en service de façon connue en utilisant des actionneurs 4 fixés sur la surface inférieure 16 de la membrane 5 à des positions choisies. Les actionneurs 4 peuvent par exemple être de type piézoélectrique ou comporter des moteurs électriques d'entraînement rotatif couplés avec un système d'écrou associé à une vis sans fin, l'écrou étant fixé sur la membrane. Les actionneurs 4 poussent ou tirent sur la membrane 5 pour la déformer et lui donner la forme souhaitée. Il est également possible que les liaisons entre les actionneurs et la membrane soient rotulées ou souples pour minimiser les efforts radiaux induits dans les actionneurs. Certains actionneurs résistent mieux que d'autres aux efforts radiaux et en fonction des actionneurs utilisés, il peut être nécessaire d'utiliser des rotules. Dans le cas de l'utilisation de liaisons rotulées, la membrane pouvant bouger dans le plan, le coefficient de dilatation thermique des fils est moins critique et les fils peuvent être réalisés dans des matériaux autres que l'Invar et le carbone. Notamment, dans ce cas, les fils peuvent être réalisés dans des matériaux tels que l'inox ou le tungstène.

[0026] Les figures 4a, 4b, 4c montrent des exemples d'antennes Grégorienne comportant un réflecteur principal 40 et un sous-réflecteur 41. Une source 42 est pla-

cée devant le sous-réflecteur 41. La membrane 5 peut être utilisée comme surface réfléchissante du réflecteur principal 40 comme sur la figure 4a ou comme surface réfléchissante du sous-réflecteur 41 comme sur les figures 4b et 4c. La membrane peut également s'appliquer à une antenne à un seul réflecteur.

[0027] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec des modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

Revendications

1. Membrane réfléchissante déformable pour réflecteur reconfigurable, **caractérisée en ce qu'elle** comporte, en épaisseur, une superposition alternée de couches en élastomère conducteur (10) et d'au moins deux couches de renfort (11) discontinues, chaque couche de renfort (11) étant découpée en patchs (13) élémentaires espacés les uns des autres et répartis périodiquement dans le plan de la membrane (5).
2. Membrane réfléchissante déformable selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les patchs (13) élémentaires sont disposés en quinconce d'une couche à l'autre.
3. Membrane réfléchissante déformable selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** le nombre de couches de renfort (11) est pair.
4. Membrane réfléchissante déformable selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** le nombre de couches de renfort (11) est impair et **en ce que** la répartition des patchs (13) dans les différentes couches de renfort présente une symétrie miroir par rapport au plan de la couche de renfort située au centre de la membrane (5).
5. Membrane réfléchissante déformable selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les patchs (13) de la couche de renfort (11) sont constitués d'une grille de fils (12), les fils étant des fibres en alliage de fer et de nickel.
6. Membrane réfléchissante déformable selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** l'alliage de fer et de nickel est de l'Invar.
7. Membrane réfléchissante déformable selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les patchs (13) de la couche de renfort (11) sont constitués d'une grille de fils (12), les fils étant des fibres de carbone.
8. Membrane réfléchissante déformable selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les patchs (13) de la couche de renfort (11) sont constitués d'une grille de fils (12), les fils étant des fibres d'inox ou de tungsten.
9. Membrane réfléchissante déformable selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'élastomère conducteur (10) est un élastomère chargé de particules métalliques et a une conductivité électrique comprise entre $2 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{cm}$ et $5 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{cm}$.
10. Membrane réfléchissante déformable selon la revendication 9, **caractérisée en ce que** l'élastomère conducteur (10) comporte 30% de silicone et 70% de particules métalliques.
11. Réflecteur d'antenne reconfigurable **caractérisé en ce qu'il** comporte une membrane réfléchissante déformable (5) selon l'une des revendications précédentes.
12. Antenne **caractérisée en ce qu'elle** comporte un réflecteur (40, 41) selon la revendication 11.

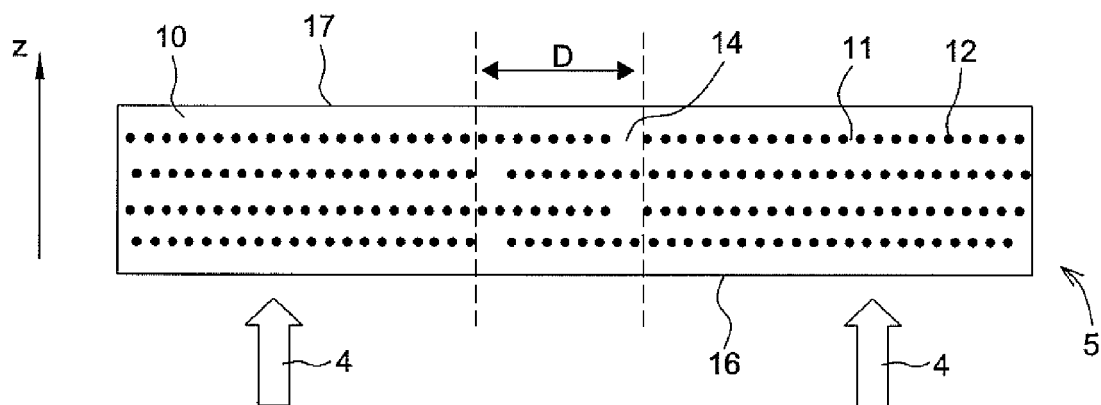


FIG.1

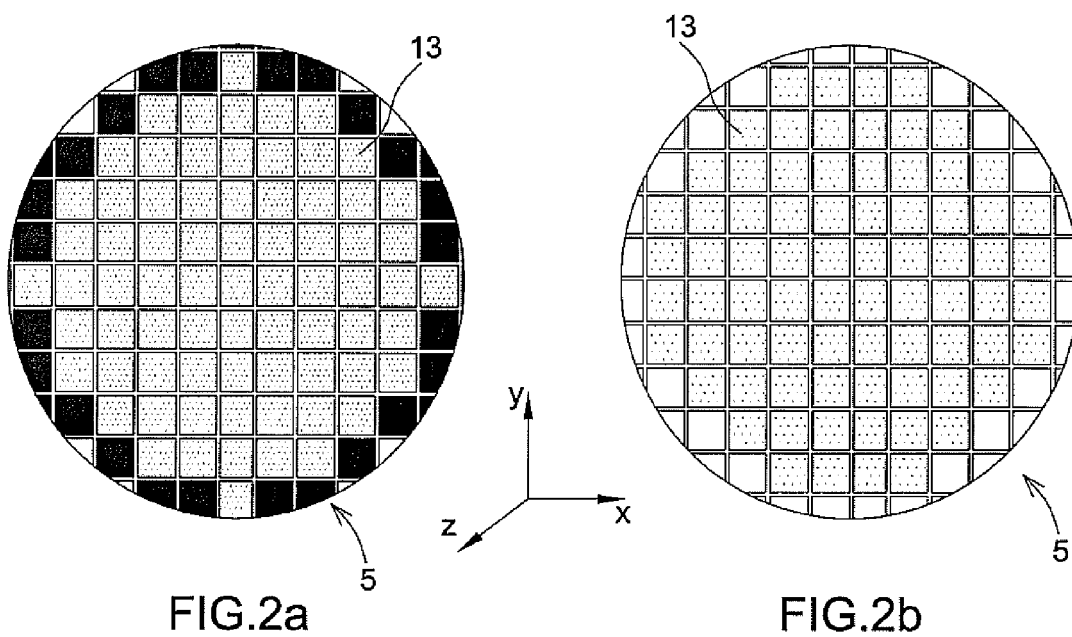


FIG.2a

FIG.2b

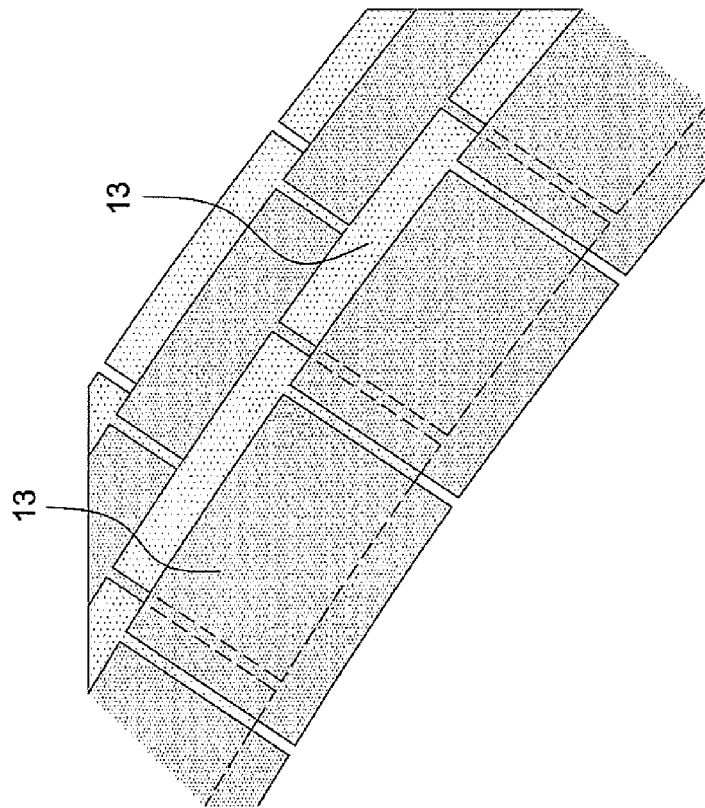


FIG. 3a

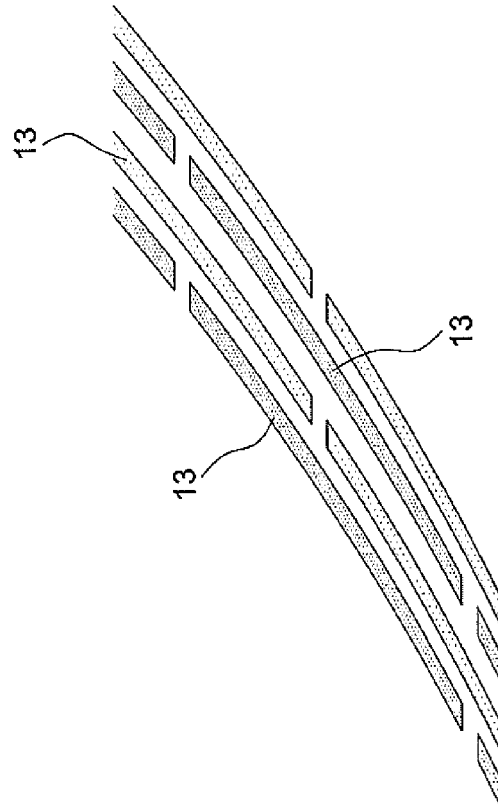


FIG. 3b

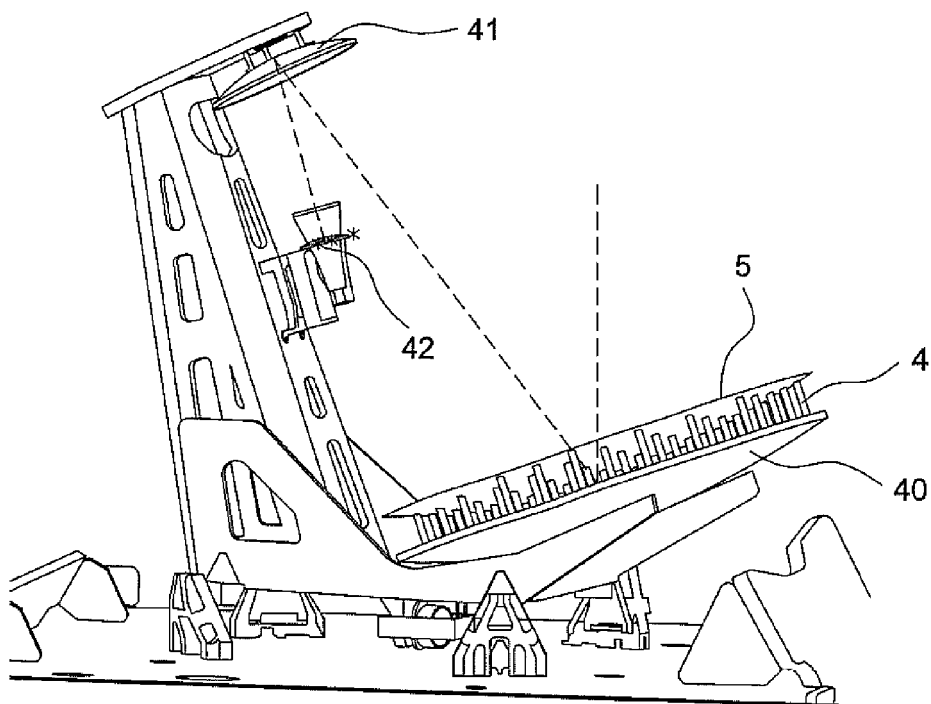


FIG. 4a

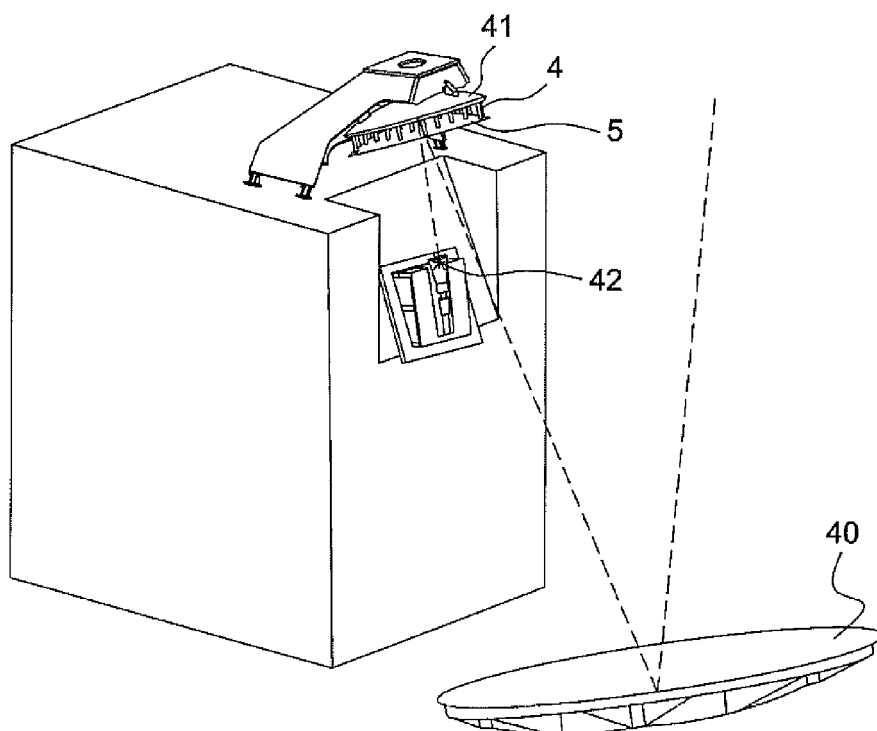


FIG. 4b

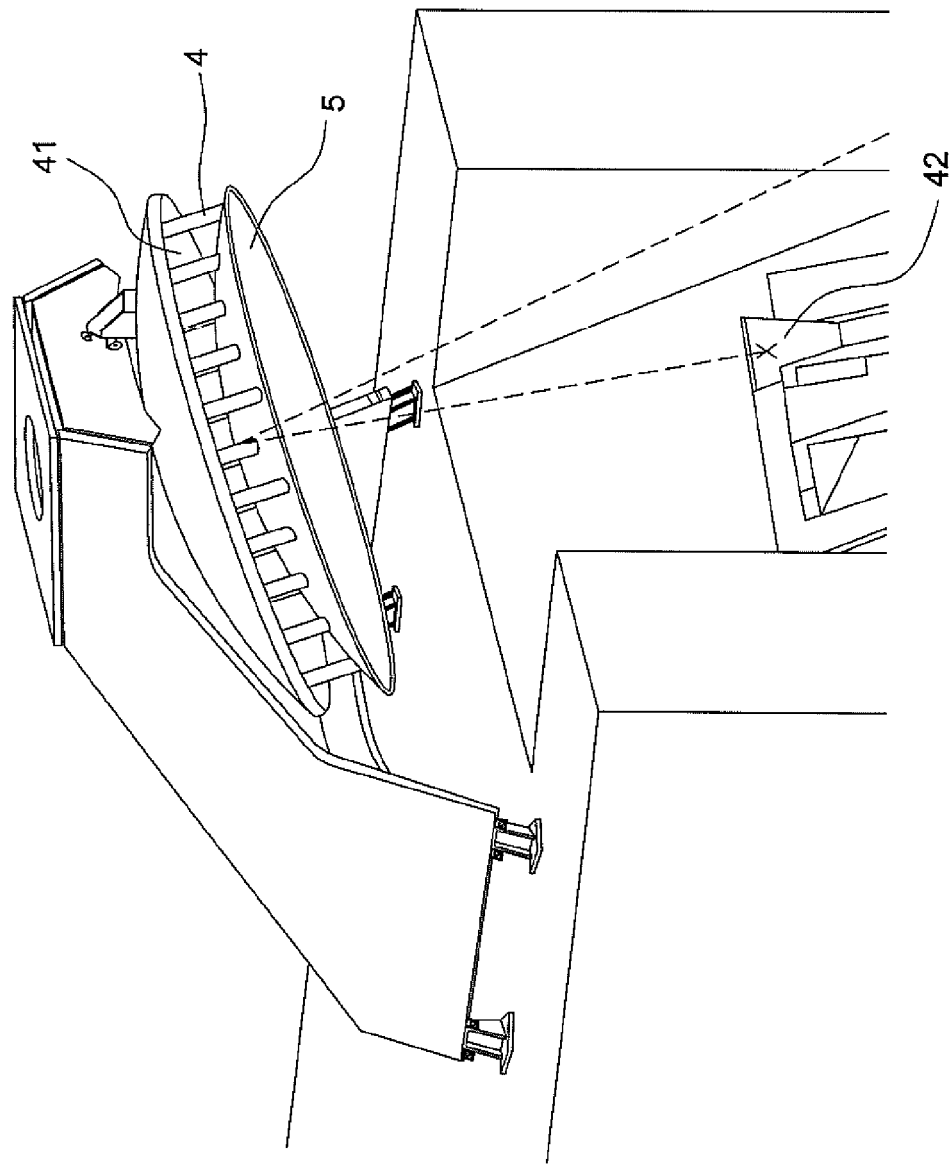


FIG. 4c



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 11 15 5056

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	EP 2 040 330 A1 (EUROP AGENCE SPATIALE [FR]) 25 mars 2009 (2009-03-25) * le document en entier *	1-12	INV. H01Q15/14
A	US 5 440 320 A (LACH OLIVIER [FR] ET AL) 8 août 1995 (1995-08-08) * le document en entier *	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 17 mai 2011	Examineur Moumen, Abderrahim
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			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04002)

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

EP 11 15 5056

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.

17-05-2011

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 2040330	A1	25-03-2009	AT	459109 T	15-03-2010

US 5440320	A	08-08-1995	AUCUN		

EPO FORM P0450

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

- FR 2678111 [0004]