

(19)



(11)

**EP 3 371 852 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**21.01.2026 Bulletin 2026/04**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**H01Q 3/14 (2006.01) H01Q 15/08 (2006.01)**  
**H01Q 19/06 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **16790405.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**H01Q 19/067; H01Q 3/14; H01Q 15/08**

(22) Date de dépôt: **04.11.2016**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/EP2016/076678**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2017/077038 (11.05.2017 Gazette 2017/19)**

**(54) ANTENNE COMPACTE À FAISCEAU ORIENTABLE**

KOMPAKTE ANTENNE MIT EINEM AUSRICHTBAREN STRAHL

COMPACT ANTENNA HAVING A DIRECTABLE BEAM

(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**

(30) Priorité: **06.11.2015 FR 1502346**

(43) Date de publication de la demande:  
**12.09.2018 Bulletin 2018/37**

(73) Titulaire: **THALES**  
**92190 Meudon (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **CZARNY, Romain**  
**91767 Palaiseau Cedex (FR)**

- **LEE-BOUHOURS, Mane-Si Laure**  
**91767 Palaiseau Cedex (FR)**
- **DIALLO, Alpha Ousmane**  
**91767 Palaiseau Cedex (FR)**
- **LOISEAUX, Brigitte**  
**91767 Palaiseau Cedex (FR)**

(74) Mandataire: **Atout PI Laplace**  
**Immeuble Up On**  
**25 Boulevard Romain Rolland**  
**CS 40072**  
**75685 Paris Cedex 14 (FR)**

(56) Documents cités:  
**EP-A1- 0 179 687 EP-A1- 2 573 872**  
**WO-A1-2014/128015**

**EP 3 371 852 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** Le domaine de l'invention est celui des antennes à faisceau orientable.

**[0002]** L'invention s'applique au traitement d'un faisceau hyperfréquence, correspondant à des fréquences comprises entre 300 MHz et 300 GHz, de longueur d'ondes typiques de 1 mm à 1m. De telles fréquences sont utilisées notamment dans le domaine :

- des télécommunications par satellite à partir de plateformes mobiles,
- des liaisons de données reconfigurables pour communications à haut-débit, ou
- des radars peu coûteux à ondes millimétriques.

**[0003]** Plusieurs applications nécessitent de pouvoir commander la direction dans laquelle le faisceau est émis et/ou reçu. Cette propriété est dénommée le pointage.

**[0004]** Pour le pointage l'antenne doit être configurée pour émettre /recevoir une onde dans une direction de l'espace donnée. Par exemple aujourd'hui, dans le domaine des télécommunications, on est de plus en plus amené à devoir rediriger une antenne, suite à la remise à jour de la couverture du territoire. Par exemple, chaque retrait d'antenne est suivi d'un repositionnement des antennes avoisinantes. Par ailleurs, la couverture du territoire est en changement perpétuel car on cherche sans cesse à améliorer la couverture tout en optimisant les coûts donc en minimisant le nombre d'antennes. Il arrive également que certaines antennes soient supprimées ou déplacées, ce qui donne lieu à une réorientation des antennes avoisinantes. Il est donc important de disposer d'antennes intelligentes et télécommandées, intelligentes pour leur capacité à s'orienter pour couvrir des zones différentes dans l'espace et télécommandées pour leur capacité à être commandables à distance à partir d'un central.

**[0005]** Pour le « tracking » ou poursuite, l'antenne doit être configurée pour suivre une cible telle qu'un satellite.

**[0006]** Pour le balayage, le faisceau doit éclairer une partie définie de l'espace ou de la scène pour l'analyser.

**[0007]** En outre, on cherche de plus en plus à obtenir des antennes à faisceau orientable, compactes, de masse et d'encombrement réduits, faciles à utiliser et à intégrer dans une plateforme, et à coût réduit.

**[0008]** Différentes techniques connues permettent de réaliser une antenne à faisceau orientable, mais présentent certains inconvénients.

**[0009]** L'antenne parabolique de type Cassegrain est handicapée par des effets d'ombrage dus à la position de la source (plus spécifiquement par le réflecteur secondaire) devant le réflecteur. Aussi pour préserver une bonne efficacité, un grand rapport diamètre sur longueur d'onde est requis. A basse fréquence, cette antenne ne peut alors pas être intégrée dans un petit volume.

**[0010]** De plus, les solutions mécaniques traditionnelles pour orienter l'antenne utilisent un mécanisme de cardan à 2 axes. Ce système de pointage nécessite un débattement mécanique important puisque le volume occupé par l'antenne varie en fonction de son orientation. Par ailleurs, pour éviter des parties mobiles à rayonnement RF actif, les signaux d'émission et de réception doivent traverser des joints tournants microondes qui dégradent les performances et peuvent être chers et encombrants lorsque de hauts niveaux de puissance (plusieurs dizaines de Watts) sont requis.

**[0011]** Pour se débarrasser des parties mobiles, une solution connue consiste à utiliser une antenne active : son profil reste plat quelle que soit la direction d'orientation, ce qui procure un avantage majeur lors de l'intégration dans un carénage. L'orientation est commandée électriquement. Mais cette antenne présente des inconvénients en termes de prix, de consommation électrique (même en position « off »), de complexité, de gestion de température d'échauffement et de maintien de puissance.

**[0012]** Une solution pour réaliser un système de déflexion RF est d'utiliser deux composants diffractifs pouvant effectuer une rotation autour d'un même axe, combinés à une lentille et une source RF. Un tel système est décrit dans la demande de brevet WO 2014/128015. Ces composants diffractifs et la lentille présentent chacun une pluralité de microstructures MS sub-longueurs d'onde périodiques formées dans un matériau diélectrique selon une configuration de balayage de Risley. Comme montré figure 1, la structure du composant diffractif C1 peut être fabriquée sur une face du composant, la structure de la lentille L étant réalisée sur son autre face. Le pointage du faisceau émis par la source est assuré par des rotations indépendantes autour d'un même axe du double composant lentille-réseau diffractif L+C1 et du composant diffractif C2. L'avantage d'un tel système de déflexion est d'être compact avec une source d'alimentation S fixe et des capacités mécaniques d'orientation tout en assurant une haute efficacité. Par exemple pour une application à 30 GHz (bande Ka), en utilisant un matériau diélectrique d'indice de réfraction de 1.5 (constante diélectrique 2.25), l'épaisseur du composant diffractif est d'environ 30 mm. L'épaisseur totale du système de déflexion est donc d'environ 100 mm. Pour une source située dans le plan focal objet de la lentille, soit à environ 200 mm de celle-ci, l'épaisseur totale de l'antenne agile est environ 300 mm. Mais cette épaisseur peut néanmoins être encore trop importante pour certaines applications embarquées sur plateformes mobiles.

**[0013]** En outre certaines zones situées en particulier autour et en direction de l'axe de rotation z des composants sont difficiles à pointer de manière dynamique, notamment rapidement. En effet, de la même manière que pour les systèmes de

pointage à cardans commandés en azimut et en élévation, dans cette direction, le système de pointage de l'antenne présente une zone singulière (« keyhole » en anglais) qui nécessite l'emploi de vitesses de rotation très élevées (voire infinies) des prismes au passage d'un objet pointé à proximité de l'axe de rotation.

**[0014]** Une autre solution basée sur un concept similaire à celui d'une paire de prismes diélectriques placés devant une antenne primaire, utilise une technologie de surface à décalage de phase (ou PSS acronyme de l'expression anglo-saxonne « Phase Shifting Surface »), décrite dans la publication « Using Rotatable Planar Phase Shifting Surfaces to Steer a High Gain Beam » de N. Gagnon et A. Petosa, 2013. Les auteurs utilisent une plaque à zone de Fresnel corrigée en phase par un décalage de phase de type PSS pour générer un faisceau hors d'axe, et une plaque avec une seule progression linéaire de phase. Une surface à décalage de phase telle que décrite dans la publication de N. Gagnon et A. Petosa « Thin Microwave Quasi-Transparent Phase-Shifting Surface », 2010, est une fine structure autoportée qui introduit un décalage de phase dans une onde électromagnétique se propageant à travers cette surface. On montre figures 2 la configuration d'une portion de PSS à trois couches de métallisation, faite de pièces élémentaires carrées conductrices, avec :

- fig 2a une vue en coupe (dans un plan yz) montrant les trois couches conductrices 1, 3, 5 d'épaisseur totale h, séparées par deux couches diélectriques 2, 4, de permittivité  $\epsilon_r$ , les côtés des pièces conductrices étant a1 pour les couches externes 1 et 5 et a2 pour la couche interne 3, et
- fig 2b une vue de dessus (dans un plan xy) montrant des cellules carrées (de côté s) de la première couche conductrice 1 avec pour chacune, une pièce conductrice carrée de côté a1 placée sur une couche diélectrique 2.

**[0015]** Le décalage de phase entre l'onde incidente et l'onde transmise, et la transmission sont commandés en ajustant les paramètres géométriques a1 et a2. Cela permet d'obtenir une résonance dans la structure et donc une transmission maximale pour un décalage de phase souhaité. Les meilleurs paramètres permettent d'obtenir des décalages de phase entre 0 et 360°. Cette solution présente néanmoins des inconvénients :

- On ne peut obtenir une transmission totale pour tous les décalages de phase et certaines configurations ne permettent d'atteindre au mieux que -2.2 dB (60%) de transmission. Ces valeurs, obtenues par le calcul, sont par ailleurs optimistes puisque qu'elles ne considèrent pas les pertes métalliques et diélectriques.
- Ces pertes métalliques et diélectriques sont accentuées pour une telle configuration de cellules résonantes. Pour contrer cet effet, des circuits PCB (acronyme de l'expression anglo-saxonne Printed Circuit Board) à faibles pertes sont requis mais ils sont coûteux en particulier avec une implémentation multicouche.
- De plus cette configuration restreint l'utilisation du concept à des fréquences inférieures à environ 30GHz car les pertes métalliques et diélectriques augmentent fortement au-delà de ces fréquences.
- Par ailleurs, sous forte incidence (pour des angles de pointages supérieurs à 30°) ce type de cellule peut avoir des coefficients de transmission très différents (en phase et en amplitude) pour les composantes de la lumière polarisée dans le plan sagittal (polarisation s ou TE) ou dans le plan perpendiculaire (polarisation p ou TM) par rapport à la surface à décalage de phase. Il en résulte une forte dépolarisation du faisceau lorsque ce dernier est pointé dans des plans ne présentant pas de symétries particulières avec la disposition des composants de l'antenne.
- Enfin, en raison de la configuration de cellules résonantes, la largeur de bande de fonctionnement est réduite à cause du fonctionnement hors résonance et en raison de la mise en forme du faisceau qui est commandée en termes de phase et non en termes de véritable compensation de retard. Une largeur de bande de 7.4% (définie à 1 dB du gain maximal), a été obtenue pour des antennes lentilles basées sur ce concept ce qui peut s'avérer insuffisant, pour certaines applications (communications notamment).

**[0016]** En conséquence, il demeure à ce jour un besoin pour une antenne à faisceau orientable donnant simultanément satisfaction à l'ensemble des exigences précitées, notamment en termes de masse et d'encombrement réduits, de facilité d'utilisation et d'intégration dans une plateforme, et de coût réduit.

**[0017]** L'approche selon l'invention est basée sur l'utilisation d'un ou deux composants diélectriques à microstructures disposées selon un agencement déterminé par un calcul holographique.

**[0018]** Plus précisément l'invention a pour objet une antenne à faisceau orientable hyperfréquence ayant une longueur d'onde comprise entre 1 mm et 1 m qui comporte :

- un premier composant diélectrique à microstructures sub-longueur d'onde formées sur une face d'un substrat diélectrique,
- un deuxième composant diélectrique diffractif à microstructures sub-longueur d'onde formées sur une face d'un substrat diélectrique, configuré pour défléchir un faisceau hyperfréquence incident.

**[0019]** Elle est principalement caractérisée en ce que les microstructures du premier composant diélectrique sont

implantées selon un agencement non périodique pour former un composant holographique non résonant à double fonction qui est configuré pour collimater en mode émission et/ou focaliser en mode réception et pour défléchir un faisceau hyperfréquence incident, en ce que ce composant holographique non résonant est associé à un premier mécanisme de rotation autour d'un premier axe de rotation, et en ce que le deuxième composant diélectrique diffractif est associé à un

deuxième mécanisme de rotation autour d'un deuxième axe de rotation.

[0020] Cette configuration d'antenne permet d'obtenir une bonne compacité, un poids faible et une bonne efficacité.

[0021] Contrairement à une antenne parabolique de type Cassegrain qui est pénalisée par des effets d'ombrage dus à la position de la source devant le réflecteur, l'antenne selon l'invention opère en transmission, ce qui permet d'obtenir une bonne efficacité et un faible niveau des lobes secondaires malgré un petit diamètre d'antenne.

[0022] De plus, l'antenne selon l'invention est sans parties mobiles à rayonnement RF actif : toute l'électronique peut donc être intégrée au plus près de la source pour une intégration plus simple, plus efficace et moins chère.

[0023] Comme une antenne réseau active, le profil de l'antenne selon l'invention reste plat quelle que soit la direction d'orientation, ce qui procure un avantage déterminant lors de l'intégration dans le carénage.

[0024] Contrairement à l'antenne PSS, l'antenne selon l'invention qui est basée sur des composants diélectriques, ne nécessite pas d'implantation de métal ; elle ne génère donc pas de pertes métalliques. En outre cette configuration non résonante permet un fonctionnement à bande plus large. Par exemple, on a mesuré avec une telle antenne une largeur de bande (définie à 1 dB du gain maximal) à une valeur aussi haute que 18%, ce qui est 240% plus large qu'avec une structure à lentilles PSS.

[0025] Tous ces avantages conduisent à une intégration plus simple sur un système et sur une plateforme, et ceci à coût réduit, en particulier pour de petites antennes compactes fonctionnant sur des plateformes mobiles (camion, train, aéronef, ...) à de hautes fréquences comprises entre 300 MHz et 300 GHz.

[0026] Selon une caractéristique de l'invention, les microstructures du premier et/ou du deuxième composant sont formées sur une surface 3D ; lorsque les microstructures du deuxième composant diffractif sont formées sur une surface 3D, elles sont implémentées selon un agencement non périodique.

[0027] Selon une autre caractéristique de l'invention, les microstructures du composant holographique sont formées dans un volume qui s'appuie sur ladite face du composant holographique, et implantées selon un agencement tridimensionnel non périodique. De même pour les microstructures du deuxième composant.

[0028] Le faisceau en sortie du composant holographique en mode émission ou en entrée du composant holographique en mode réception, peut être une onde plane avec un angle d'incidence correspondant à l'angle d'orientation.

[0029] Le premier mécanisme de rotation est éventuellement associé à un premier mécanisme de translation du composant holographique dans un plan perpendiculaire au premier axe de rotation.

[0030] L'antenne comporte des moyens d'émission et/ou de réception qui peuvent être associés à un mécanisme de translation (désigné deuxième mécanisme de translation) dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du premier mécanisme de rotation.

[0031] Les microstructures du composant holographique et/ou du deuxième composant diffractif sont avantageusement implantées à partir d'un maillage délimité par des lignes iso-phase et des lignes à gradient de phase.

[0032] Le maillage utilisé pour les microstructures du composant holographique peut être différent du maillage utilisé pour les microstructures du deuxième composant diffractif.

[0033] Les microstructures sont éventuellement constituées de microstructures primaires et de microstructures secondaires permettant de réaliser une couche d'adaptation d'impédance (couche antireflet) pour les faibles et les forts angles de pointage et permettant donc de ne pas dépolariiser l'onde traversant le composant.

[0034] L'antenne à faisceau orientable comporte de préférence un carénage dans un matériau micro-onde absorbant, avec éventuellement des microstructures sub-longueur d'onde, disposées à l'intérieur du carénage.

[0035] L'invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'une antenne à faisceau orientable, telle que décrite, qui comporte les étapes suivantes :

- fabrication de moyens d'émission et/ou de réception,
- fabrication du composant holographique et du deuxième composant diffractif dans un matériau diélectrique,
- fabrication des mécanismes de déplacement du composant holographique et du deuxième composant diffractif,

caractérisé en ce qu'il comporte une étape de fabrication d'un carénage dans un matériau absorbant.

[0036] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 déjà décrite représente schématiquement vu en coupe un exemple de système de déflexion RF selon l'état de la technique, basé sur un double composant à microstructures périodiques avec une lentille sur une face et un premier réseau diffractif sur l'autre face, et un deuxième réseau diffractif périodique, les figures 2 déjà décrites représentent schématiquement vue en coupe (fig 2a) et vue de dessus (fig 2b) une portion

de plaque métallique à 3 couches de métallisation, d'un exemple d'antenne de type PSS, les figures 3 représentent schématiquement vus en coupe des composants diélectriques non périodiques d'un exemple d'antenne selon l'invention, avec une seule couche de microstructures (fig 3a) et un détail de microstructures à microstructures primaires et microstructures secondaires (fig 3b),

la figure 4 représente la phase d'un exemple de lentille diffractive hors d'axe holographique selon l'invention, les figures 5a et 5b représentent respectivement l'amplitude et la phase d'un faisceau en sortie d'un exemple de lentille diffractive hors d'axe holographique selon l'invention, en fonction de X et Y en mm, avec le gain correspondant en fonction des angles  $\theta$  et  $\varphi$  en degrés (fig 5c), et le diagramme de gain en champ lointain correspondant, en fonction de  $\theta$  (et pour  $\varphi = 0^\circ$ ) en degrés (fig 5d),

la figure 6a représente schématiquement vu de dessus un premier exemple d'implémentation de microstructures sub-longueur d'onde à section constante sur leur hauteur selon un maillage cartésien carré détaillé à une échelle plus grande figure 6b, et vu en perspective (fig 6c),

la figure 7a représente schématiquement vu de dessus un autre exemple d'implémentation de microstructures sub-longueur d'onde selon un maillage à lignes iso-phase et lignes à gradient de phase, détaillé à une échelle plus grande figure 7b,

la figure 8 illustre vu en perspective un exemple de mécanisme de rotation du deuxième composant holographique et de mécanisme de rotation et de translation du premier composant holographique, avec un récepteur et une source fixes,

la figure 9 montre plusieurs courbes du diagramme de gain (en dBi) dans le plan zOx en fonction de  $\theta$  (et pour  $\varphi = 0^\circ$ ) en degrés, pour différents décalages en translation (selon l'axe x) du premier composant holographique, avec un cornet source fixe,

les figures 10 illustrent l'augmentation de la surface visible d'une antenne pour des incidences rasantes, entre une antenne à composants holographiques plans (à surface 2D) (fig 10a), et une antenne à composants holographiques à surface 3D (fig 10b), vues en coupe, et des courbes de surfaces apparentes  $S_a$  exprimées en  $\text{dBm}^2$  en fonction de l'angle de vue pour différentes surfaces sphériques de diamètre D et hauteur H et de surface apparente de  $1\text{m}^2$  à angle de vue nul (fig 10c),

la figure 11a illustre schématiquement la génération de rayons parasites, la figure 11b représente schématiquement vu en coupe un exemple de structure interne du carénage à microstructures en forme de piliers droits, la figure 11c un autre exemple de structure interne du carénage à microstructures en forme de pyramides droites et inclinées.

**[0037]** D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont repérés par les mêmes références.

**[0038]** L'antenne selon l'invention comporte deux composants diélectriques : un réseau diffractif et un composant à double fonction de lentille et de réseau diffractif, ces deux composants diélectriques étant aptes à effectuer chacun une rotation autour d'un axe de rotation.

**[0039]** Comme montré figures 3a et 3b, l'antenne comporte en un seul composant diélectrique non résonant et sur une même face de celui-ci, la lentille et le premier réseau diffractif combinant ainsi sur cette même face les fonctions de collimation de la lentille et de déflexion du réseau diffractif (en mode émission, et les fonctions de déflexion du réseau diffractif et de focalisation de la lentille en mode réception). Ceci permet de diminuer le nombre de composants en passant de trois composants diélectriques (la lentille, le premier et le deuxième réseau diffractif), à deux composants diélectriques (une lentille diffractive hors d'axe et le deuxième réseau diffractif) et donc de réduire la complexité et le poids de l'antenne notamment en diminuant le nombre de mécanismes de rotation associés à ces composants. Cela permet aussi de diminuer l'épaisseur totale des trois composants d'environ 33%. Il en résulte une absorption diélectrique réduite et par conséquent une efficacité accrue : à 42 GHz pour un matériau de permittivité de 2,6 et avec un facteur de dissipation de  $5 \cdot 10^{-3}$ , l'amélioration de l'efficacité est de 0,4 dB (soit 10%), par exemple.

**[0040]** Selon un premier mode de réalisation, ce composant à double fonction, désigné lentille diffractive hors d'axe ou premier composant holographique CH, comporte des microstructures MS sub-longueur d'onde montrées figure 3a, formées sur une seule face de celui-ci, et implantées selon un agencement non périodique déterminé par un calcul d'interférences sur ladite face, entre le faisceau incident sur cette face et le faisceau de sortie souhaité. La description est faite en considérant le mode émission de l'antenne, le faisceau incident étant alors le faisceau émis par la source ; mais bien sûr le mode réception existe tout aussi bien, le faisceau de sortie étant alors orienté vers les moyens de réception. La phase d'un exemple de premier composant holographique ainsi calculée est montrée figure 4.

**[0041]** On rappelle que les microstructures sont qualifiées de sub-longueur d'onde lorsque la condition suivante pour les cellules (ou mailles) où elles sont implantées, est remplie :

$$(\text{Distance entre les centres de cellules adjacentes}) < \lambda_0/n$$

avec  $\lambda_0$  la longueur d'onde cible choisie dans la plage de longueurs d'onde correspondant aux ondes hyperfréquences, soit une longueur d'onde typiquement comprise entre 1 mm et 1 m, et  $n$  l'indice de réfraction du matériau diélectrique dans lequel les microstructures sont formées.

**[0042]** Dans le cas où ce premier composant holographique est à face plane (surface 2D) comme montré sur les figures 3, 8 et 10a, il s'agit d'un calcul d'interférences sur cette face plane entre le faisceau incident émis par la source et le faisceau de sortie qui, dans le cas d'une antenne à faisceau orientable, est une onde plane avec un angle d'incidence (angle de sortie en mode émission/ angle d'incidence en mode réception) correspondant à l'angle d'orientation du faisceau. La hauteur et la taille de chaque microstructure de CH sont déterminées expérimentalement ou calculées de manière à faire correspondre le retard de phase modulo  $2\pi$  introduit localement par chaque microstructure, au conjugué de la phase de l'hologramme en ce même point. On peut voir figures 5, un exemple d'amplitude (fig 5a) et de phase (fig 5b) du faisceau en sortie d'un premier composant holographique circulaire de 150 mm de diamètre fonctionnant à 42 GHz et placé à 75 mm de la source ; on obtient une déflexion de  $29^\circ$  comme montré figures 5c et 5d avec l'angle  $\theta$ .

**[0043]** L'implémentation des microstructures sub-longueur d'onde sur une face du deuxième réseau diffractif C2 (ou deuxième composant diffractif) peut également être déterminée par un calcul d'interférences sur cette face entre le faisceau transmis par la lentille diffractive hors d'axe (premier composant holographique CH) et le faisceau de sortie souhaité, mais pas nécessairement. En effet les microstructures de C2 peuvent être déterminées comme décrit dans le brevet FR 3 002 697. Lorsque l'implémentation des microstructures est déterminée par le calcul d'interférences, ce deuxième composant est désigné deuxième composant holographique ; ce calcul est applicable indépendamment du calcul d'interférences appliqué au premier composant holographique.

**[0044]** L'implémentation sub-longueur d'onde des microstructures de l'un et/ou l'autre composant diélectrique est réalisée à partir d'un maillage géométrique M généralement à base cartésienne, c'est-à-dire à base rectangulaire voire carrée, comme montré dans les exemples des figures 6a, 6b et 6c. Un maillage hexagonal, voire circulaire peut aussi être envisagé. Les maillages du premier (CH) et du deuxième composant (C2) peuvent être identiques mais pas nécessairement. Au sein de ce maillage, la base d'une microstructure ne peut bien sûr dépasser une maille (ou cellule) du maillage, mais peut ne l'occuper que partiellement. Comme on peut le voir dans l'exemple de la figure 6a, certaines mailles sont vides, d'autres entièrement occupées par la base de la microstructure et pour d'autres enfin, la base de la microstructure n'occupe que partiellement la maille correspondante, selon l'implémentation déterminée. On désigne par taux de remplissage le rapport entre la surface de la microstructure à sa base et la surface de la cellule.

**[0045]** Cette implémentation simple à réaliser provoque cependant une erreur de phase due à la résolution de l'échantillonnage et donc à une réduction de l'efficacité d'ouverture de l'antenne. Pour résoudre ce problème on choisit une base de maillage dans un système de coordonnées adapté pour ajuster la phase au mieux. Selon l'invention on réalise une structure géométrique sub-longueur d'onde à partir d'un maillage M qui coïncide avec des lignes iso-phases dans une direction et avec des lignes à gradient de phase dans des directions respectivement perpendiculaires aux lignes iso-phases, comme illustré figures 7a, 7b.

**[0046]** La poursuite et les capacités d'orientation du faisceau sont obtenues grâce à des moyens de rotation de la lentille diffractive hors d'axe CH et du composant diffractif C2 l'un par rapport à l'autre. Dans le cas où les composants CH et C2 ont été calculés pour défléchir les faisceaux avec un même angle, une rotation commune des deux composants permet une orientation en azimut alors qu'une contre-rotation de l'un par rapport à l'autre permet une orientation en élévation. Le zénith constitue alors un point singulier qui ne peut être pointé que si les angles de déflexion des deux composants sont égaux. Dans le cas d'une poursuite azimutale, cela impose de très fortes accélérations sur les deux composants, ce qui est très difficile à réaliser. Dit autrement la poursuite azimutale ne peut être effectuée qu'à une vitesse quasi nulle.

**[0047]** Pour surmonter cette difficulté, le mécanisme de rotation de CH est associé à un mécanisme de translation selon 2 axes, comme montré figure 8. Sur cette figure c'est le mécanisme de rotation (symbolisé par une flèche circulaire pointillée) du premier composant holographique CH qui est complété par un mécanisme de translation à 2 axes dans un plan perpendiculaire au premier axe de rotation ; le deuxième composant C2 n'est équipé que d'un mécanisme de rotation (symbolisé par une flèche circulaire à trait plein). Cela permet de maintenir fixes le récepteur R et la source S de l'antenne, tout en permettant une orientation du faisceau selon 2 axes supplémentaires sans point singulier, et une agilité de poursuite près du zénith. Les premier et deuxième axes de rotation ne sont alors plus superposés. Les mécanismes d'orientation du composant CH et du composant C2 peuvent être indépendants.

**[0048]** La source ou plus généralement les moyens d'émission et/ou réception peuvent eux-mêmes être associés à un mécanisme de translation (désigné deuxième mécanisme de translation) dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du premier mécanisme de rotation.

**[0049]** En outre ces capacités d'orientation supplémentaires peuvent être utilisées pour générer un signal d'erreur utilisé pour asservir la poursuite.

**[0050]** Cette capacité d'orientation a été calculée pour un premier composant holographique circulaire de 150 mm de diamètre placé à 75 mm au-dessus d'un cornet source à 42 GHz, conçu pour orienter le faisceau avec un angle de  $28,5^\circ$ . Comme on peut le voir figure 9, une translation de ce composant comprise entre -10 et 10 mm, induit une déflexion supplémentaire comprise entre  $-7,75^\circ$  et  $+8,5^\circ$  avec une réduction de gain de -1 dB dans le pire cas.

**[0051]** Afin d'améliorer l'efficacité d'orientation pour des angles à faible élévation (angle  $\theta$  élevé), les microstructures du premier et/ou du deuxième composant peuvent être formées sur une surface non plane c'est-à-dire sur une surface 3D prédéterminée pour chacun des deux composants, telle qu'une surface à symétrie de révolution comme un cône, une sphère ou n'importe quelle surface 3D arbitraire. Le choix de la surface 3D se fait par exemple en fonction du compromis performance au zénith/angles rasants recherché, ou en fonction d'un encombrement recherché. Une surface 3D permet en effet d'augmenter la surface  $S_a$  apparente de l'antenne et donc le gain pour des incidences rasantes comme illustré figures 10 qui montrent une augmentation de la surface visible (exprimée en  $\text{dBm}^2$ )  $S_a$  en fonction de l'angle de vue  $\theta$  pour différentes surfaces 3D sphériques de diamètre  $D$  et de hauteur  $H$  et de surface apparente de  $1\text{m}^2$  à angle de vue nul. La configuration  $H=0 \times D$  correspond à une surface circulaire plate (figure 10a), la surface  $H=0.5 \times D$  correspond à une surface hémisphérique, et la surface  $H=0.25 \times D$  (figure 10b) à une configuration intermédiaire. Comme on peut le voir sur les courbes de la figure 10c, à  $70^\circ$  d'incidence, une surface hémisphérique ( $H=0.5 D$ ) par rapport à une surface circulaire plate ( $H=0.0 D$ ) permet de passer d'une surface apparente de  $-4,7\text{dBm}^2$  à une surface apparente de  $-1,8\text{dBm}^2$  soit une augmentation de cette dernière de 2.9 dB (soit près de 95% d'augmentation).

**[0052]** Dans ce cas (= lorsque la face du deuxième composant est une surface 3D), l'implémentation des microstructures sub-longueur d'onde du deuxième composant C2 est nécessairement déterminée par le calcul d'interférences indiqué précédemment ; dit autrement le deuxième composant est nécessairement un composant holographique.

**[0053]** Les microstructures sont toutes formées dans un matériau diélectrique selon des formes déterminées a priori, soit en saillie sous forme de piliers, soit en creux sous forme de trous. Une combinaison de trous et de piliers est également possible. Les microstructures sont de forme quelconque, préférentiellement avec des axes de symétrie pour les rendre indépendantes de la polarisation du faisceau incident en incidence normale, ce qui permet un comportement du système de déflexion selon l'invention peu sensible à la polarisation.

**[0054]** Les microstructures ont une section carrée, hexagonale ou circulaire, ou une combinaison de différentes géométries, ou une section conforme à des lignes iso-phases et des lignes à gradient de phase. Elles peuvent être de section constante sur leur hauteur ou variable comme dans le cas d'une structure pyramidale, conique, etc. La hauteur des microstructures MS est généralement identique au sein d'un même composant (comme illustré figure 3a), mais pas nécessairement ; elle peut aussi être identique d'un composant à l'autre mais pas nécessairement. Elles peuvent être perpendiculaires à la surface du composant ou inclinées, par exemple à  $30^\circ$ . On peut également avoir une inclinaison variable sur un même composant. L'inclinaison est déterminée expérimentalement, typiquement en fonction de la direction d'inflexion ou d'incidence du faisceau.

**[0055]** Selon une généralisation du mode de réalisation précédent, et toujours pour réaliser la fonction de collimation et de déflexion du faisceau, le premier composant holographique CH, comporte des superpositions de couches de microstructures MS sub-longueur d'onde, formées dans le volume de celui-ci, et implantées selon un agencement tridimensionnel non périodique déterminé par un calcul d'interférences sur ledit volume, entre le faisceau émis par la source incident dans ce volume et le faisceau de sortie souhaité. Ce volume s'appuie bien sûr sur la face du composant CH sur laquelle sont formées les microstructures ; ce volume est délimité notamment par cette face. Le calcul de l'interférence volumique peut être réalisé expérimentalement par ajustements successifs ou par calcul par exemple en transformant le volume de CH en un empilement de  $K$  surfaces 2D ou 3D parallèles entre elles (avec  $K$  un entier typiquement compris entre 2 et 100) sur chacune desquelles une figure d'interférences surfacique est calculée. L'empilement de couches de microstructures est obtenu par exemple en faisant correspondre pour chaque point de calcul du volume, une microstructure de hauteur réduite d'un facteur  $K$  et dont la section permet de générer un retard de phase local correspondant au conjugué de la phase de l'hologramme en ce même point réduite d'un facteur  $K$ .

**[0056]** Un autre mode pour obtenir la distribution de microstructures 3D consiste à partir du calcul d'interférences obtenu sur la face du composant CH entre le faisceau incident émis par la source et le faisceau de sortie, à projeter la section de chacune des microstructures dans le volume du composant en suivant les courbes résultant de l'intersection entre les plans isophase de l'hologramme volumique et les plans contenant les gradients de phase. La hauteur et la section de chaque microstructure de CH sont calculées de manière à faire correspondre le retard de phase (modulo  $2\pi$ ) introduit par chaque microstructure au conjugué de la phase de l'hologramme calculé à la surface de CH.

**[0057]** Dit autrement, ce calcul d'interférences sur ledit volume peut-être effectué :

- de manière discrète pour différentes valeurs de  $z$  (dimension de l'empilement) ; il s'agit en quelque sorte d'une itération pour plusieurs surfaces d'implémentation considérées à différentes valeurs de  $z$ , du calcul d'interférences 2D précédemment décrit pour une seule surface d'implémentation. La hauteur et la section des microstructures est alors à déterminer sur chacune de ces surfaces comme indiqué précédemment, ou
- de manière continue sur  $z$ , la hauteur et la section des microstructures étant alors déterminée par le calcul lui-même.

**[0058]** Dans le cas où C2 est un composant holographique, ce mode de réalisation peut également s'appliquer pour réaliser la fonction de déflexion de C2.

**[0059]** Selon un deuxième mode de réalisation, les microstructures du composant CH et/ou C2 sont constituées de

microstructures primaires MSp, et de microstructures secondaires MSs disposées selon une deuxième couche sur la première couche des microstructures primaires, comme on peut voir figure 3b. Leur disposition sur les microstructures primaires et leur forme sont déterminées par des moyens connus (algorithmes d'optimisation paramétrique) pour maximiser et équilibrer les transmissions de la structure pour les deux polarisations TE et TM et pour différents angles d'incidence du faisceau, c'est-à-dire pour réaliser la fonction d'adaptation d'impédance.

**[0060]** Les microstructures secondaires sont préférentiellement des piliers ou des trous ou une combinaison des deux, et ont préférentiellement des sections telles que des carrés, des hexagones ou des cercles. Elles peuvent aussi être situées entre les piliers des microstructures primaires comme montré sur la figure 3b. Elles peuvent être de section constante ou variable sur leur hauteur comme dans le cas d'une structure pyramidale, conique, etc. Elles peuvent être perpendiculaires à la surface du composant ou inclinées, par exemple à 30°. Cet ajout d'une couche de microstructures secondaires (une sur CH et/ou C2) permet d'adapter l'impédance afin d'obtenir des niveaux de transmission proches quelle que soit la polarisation incidente, sous forte et sous faible incidence afin de ne pas dépolariiser l'onde incidence. L'utilisation de microstructures secondaires permet :

- d'ajuster plus finement la valeur de l'indice effectif souhaitée de manière à réduire l'énergie diffractée par le système dans les ordres parasites autres que celui du faisceau principal,
- de réaliser une couche d'adaptation d'impédance (couche antireflet), et
- de ne pas dépolariiser l'onde émise par la source, ce qui n'est pas le cas des PSS.

**[0061]** La partie émise par la source et non collectée (« spillover » en anglais) par les dispositifs CH et C2 peut venir perturber le diagramme de rayonnement de l'antenne. En effet, le composant holographique est maintenu mécaniquement devant la source, à l'aide d'un carénage métallique ou diélectrique. Dans les deux cas, ces solutions conduisent à la création de rayonnements parasites, soit par réflexion sur ces éléments mécaniques, soit par transmission au travers de cette structure, soit les 2, comme illustré figure 11a.

**[0062]** Une des solutions évidentes, mais sous optimale, consiste à tapisser l'intérieur du carénage avec des matériaux absorbants. Cependant, compte tenu de la diversité des angles d'incidence à couvrir, la maîtrise des réflexions à la surface de l'absorbant est délicate sur l'ensemble des surfaces à couvrir.

**[0063]** L'antenne comporte de préférence un carénage sous forme de tube absorbant hyperfréquence, permettant de maintenir les composants diélectriques CH et C2 en face du cornet source S, fait de matériaux absorbants aux hyperfréquences (par exemple des matériaux organiques chargés avec des matériaux absorbants tel que des métaux, des matériaux magnétiques, du carbone, ou des matériaux semi-conducteurs faiblement dopés) soit en doublage du matériau structurel qui constitue le carénage, soit directement. La structure externe du carénage est typiquement lisse alors que la structure interne du tube est déterminée pour amortir les réflexions hyperfréquences qui apparaissent à l'intérieur du tube lors de l'émission et de la réception d'un signal. Cette structuration peut se faire de deux manières :

- Soit à l'aide d'une couche comportant des microstructures sub-longueur d'onde pour que la structure soit localement adaptée en hauteur et en épaisseur pour présenter l'indice effectif équivalent (tel que présenté dans le brevet FR 2 980 648) qui permet de réaliser une couche antireflet adaptée localement à l'incidence et à la fréquence de l'onde incidente comme montré figure 11b.
- Soit en utilisant une structuration tridimensionnelle de type pyramidal par exemple, (cf. article de W. H. Southwell "Pyramid-array surface-relief structures producing antireflection index matching on optical surfaces", J. Opt. Soc. A., Vol 8, No 3, March 1991) à l'interface en orientant, par exemple, les microstructures sub-longueur d'onde en fonction de l'incidence du faisceau comme montré figure 11c. Cette orientation n'est pas indispensable, on peut conserver une orientation normale à la surface du carénage.

En fonction de la longueur d'onde de fonctionnement du dispositif, la taille des microstructures est donc différente. La réalisation de ces surfaces structurées peut se faire par usinage, par fabrication additive, ou par gravure chimique.

**[0064]** La fabrication d'une antenne selon l'invention comporte les étapes suivantes :

- fabrication des moyens d'émission (la source) et/ou de réception,
- fabrication du premier composant holographique et du deuxième composant (éventuellement holographique) dans un substrat diélectrique, éventuellement au cours d'une même étape,
- fabrication éventuelle du carénage,
- fabrication des mécanismes de déplacement (rotation et éventuellement translation) du premier composant holographique et du deuxième composant (éventuellement holographique),
- assemblage de tous ces éléments.

**[0065]** La fabrication de ces composants et/ou du carénage à microstructures sub-longueur d'onde peut être réalisée

par des procédés classiques de moulage ou d'usinage, en utilisant des machines à coût prohibitif particulièrement difficile à amortir pour un petit nombre de composants à fabriquer. Comme matériaux diélectriques que l'on peut utiliser, on peut citer : le polyamide (PA), l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), le polypropylène (PP), le polyéthylène haute densité (HDPE), le polytétrafluoroéthylène (PTFE), le polyétherimide (PEI ou ULTEM), le polyétheréthercétone (PEEK), le polycarbonate (PC), les copolymères de cyclooléfines (COC et COP), le Polystyrène (PE ou Rexolite), le polyphénylen sulfide (PPS et PPSF). On peut également citer des matériaux céramique, par exemple l'Alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), le nitrure d'aluminium (AlN), Zircone ( $\text{ZrO}_2$ ), le titanate de Barium ( $\text{BaTiO}_3$ ), le dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ), la silice, mais également tous les matériaux composites à base organique et chargés avec des matériaux diélectriques organiques ou inorganiques (de type céramique). Ils peuvent aussi être fabriqués par gravure chimique ou gravure laser.

**[0066]** Dans le cas où les microstructures sont formées dans le corps d'un substrat, les piliers et/ou les trous sont réalisés directement dans le substrat par exemple par ces méthodes de fabrication classiques. Mais pour obtenir des microstructures à sections comprises entre 500  $\mu\text{m}$  et 2 mm avec un rapport largeur de la section/hauteur pouvant atteindre 20, un moule coûterait entre 50 keuros et 100 keuros.

**[0067]** Les composants diélectriques et/ou le carénage sont avantageusement fabriqués en utilisant des procédés de fabrication additive caractérisée par une haute flexibilité, une production à grande échelle et une fabrication à bas coût. Parmi ces procédés de fabrication additive, on peut citer l'impression 3D par modelage par dépôt de fil en fusion (ou FDM acronyme de l'expression anglo-saxonne Fused Deposition Modeling), la stéréo lithographie (SLA), ou le frittage laser sélectif (ou SLS acronyme de l'expression anglo-saxonne Selective Laser Sintering) : les diélectriques mis en œuvre sont compatibles d'une absorption minimale du signal (estimée à - 1 dB par composant) et de la précision mécanique requise.

**[0068]** Ils peuvent également être fabriqués par une combinaison de ces procédés de fabrication.

**[0069]** 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. Antenne à faisceau orientable hyperfréquence ayant une longueur d'onde comprise entre 1 mm et 1m, orientable qui comporte :

- un premier mécanisme de rotation autour d'un premier axe de rotation,
- un deuxième mécanisme de rotation autour d'un deuxième axe de rotation,
- un premier composant diélectrique à microstructures sub-longueur d'onde formées sur une face d'un premier substrat diélectrique,
- un deuxième composant diélectrique diffractif (C2) à microstructures sub-longueur d'onde formées sur une face d'un deuxième substrat diélectrique, configuré pour défléchir un faisceau hyperfréquence incident,

**caractérisée en ce que** les microstructures du premier composant diélectrique sont implantées selon un agencement non périodique déterminé par un calcul d'interférences entre le faisceau hyperfréquence incident et le faisceau de sortie souhaité, pour former un composant holographique (CH) non résonant à double fonction qui est configuré pour collimater et/ou focaliser et pour défléchir un faisceau hyperfréquence incident, **en ce que** ce composant holographique non résonant est associé au premier mécanisme de rotation, et **en ce que** le deuxième composant diélectrique diffractif (C2) est associé au deuxième mécanisme de rotation.

2. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** les microstructures du composant holographique (CH) sont formées sur une première surface non plane du premier substrat diélectrique.

3. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les microstructures du composant holographique (CH) sont implantées selon un agencement tridimensionnel non périodique, par empilement de surfaces planes ou non planes, dans un volume qui s'appuie sur ladite face du composant holographique.

4. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les microstructures du deuxième composant diffractif (C2) sont formées sur une deuxième surface non plane du deuxième substrat diélectrique, et implantées selon un agencement non périodique.

5. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications 1 ou 3, **caractérisée en ce que** les

microstructures du deuxième composant diffractif (C2) sont implantées selon un agencement tridimensionnel non périodique, dans un volume qui s'appuie sur ladite face du deuxième composant diffractif.

6. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'antenne comprend un premier mécanisme de translation du composant holographique (CH) dans un plan perpendiculaire au premier axe de rotation, ledit premier mécanisme de translation étant associé au premier mécanisme de rotation.

7. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comporte des moyens d'émission (S) et/ou de réception associés à un mécanisme de translation dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du premier mécanisme de rotation.

8. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les microstructures du composant holographique et/ou du deuxième composant diffractif sont implantées à partir d'un maillage (M) délimité par des lignes iso-phase et des lignes à gradient de phase.

9. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** le maillage pour former les microstructures du composant holographique (CH) est différent du maillage pour former les microstructures du deuxième composant diffractif (C2).

10. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les microstructures du composant holographique et/ou du deuxième composant diffractif sont constituées de microstructures primaires (MSp) et de microstructures secondaires (MSs).

11. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un carénage dans un matériau micro-onde absorbant, soit en doublage d'un matériau structurel qui constitue le carénage, soit directement.

12. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** le carénage comporte des microstructures sub-longueur d'onde.

13. Antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** les microstructures du carénage sont à l'intérieur du carénage.

14. Procédé de fabrication d'une antenne à faisceau hyperfréquence orientable, selon l'une des revendications précédentes, qui comporte les étapes suivantes :

- fabrication de moyens d'émission (S) et/ou de réception,
- fabrication du composant holographique (CH) dans un premier substrat diélectrique,
- fabrication du deuxième composant diffractif (C2) dans un deuxième substrat diélectrique,
- fabrication des mécanismes de déplacement du composant holographique et du deuxième composant diffractif,

**caractérisé en ce qu'il** comporte une étape de fabrication d'un carénage dans un matériau absorbant.

15. Procédé de fabrication d'une antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le composant holographique (CH) et le deuxième composant diffractif (C2) sont fabriqués ensemble.

16. Procédé de fabrication d'une antenne à faisceau hyperfréquence orientable selon l'une des revendications 14 ou 15, **caractérisé en ce que** le composant holographique (CH) et le deuxième composant diffractif (C2) sont réalisés par fabrication additive et/ou moulage et/ou usinage et/ou gravure chimique et/ou gravure laser.

## Patentansprüche

1. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl, der eine ausrichtbare Wellenlänge aufweist, die zwischen 1 mm und 1m umfasst ist, die umfasst:

- einen ersten Drehmechanismus um eine erste Drehachse,
- einen zweiten Drehmechanismus um eine zweite Drehachse,
- eine erste dielektrische Komponente mit Subwellenlängen-Mikrostrukturen, die auf einer Seite eines ersten dielektrischen Substrats gebildet sind,
- eine zweite diffraktive dielektrische Komponente (C2) mit Subwellenlängen-Mikrostrukturen, die auf einer Seite eines zweiten dielektrischen Substrats gebildet sind, der konfiguriert ist, um einen einfallenden Höchstfrequenz-Strahl abzulenken,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturen der ersten dielektrischen Komponente gemäß einer durch eine Berechnung von Störungen zwischen dem einfallenden Höchstfrequenz-Strahl und dem gewünschten Ausgangsstrahl bestimmten nicht periodischen Anordnung eingesetzt sind, um eine nicht resonante holografische Komponente (CH) mit Doppelfunktion zu bilden, die konfiguriert ist, einen einfallenden Höchstfrequenzstrahl zu kollimieren und/oder zu fokussieren und ihn abzulenken, dadurch dass die nicht resonante holografische Komponente dem ersten Drehmechanismus zugeordnet ist, und dadurch, dass die zweite diffraktive dielektrische Komponente (C2) dem zweiten Drehmechanismus zugeordnet ist.

2. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturen der holografischen Komponente (CH) auf einer ersten nicht planaren Oberfläche des ersten dielektrischen Substrats gebildet sind.
3. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturen der holografischen Komponente (CH) gemäß einer nicht periodischen dreidimensionalen Anordnung, durch Stapeln von planaren oder nicht planaren Oberflächen in einem Volumen eingesetzt sind, das an der Seite der holografischen Komponente anliegt.
4. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturen der zweiten diffraktiven Komponente (C2) auf einer zweiten nicht planaren Oberfläche des zweiten dielektrischen Substrats gebildet und gemäß einer nicht periodischen Anordnung eingesetzt sind.
5. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der Ansprüche 1 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturen der zweiten diffraktiven Komponente (C2) gemäß einer nicht periodischen dreidimensionalen Anordnung in einem Volumen eingesetzt sind, das an der Seite der zweiten diffraktiven Komponente anliegt.
6. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Antenne einen ersten Vorschubmechanismus der holografischen Komponente (CH) in einer zur ersten Drehachse senkrechten Ebene umfasst, wobei der erste Vorschubmechanismus dem ersten Drehmechanismus zugeordnet ist.
7. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel zum Senden (S) und/oder Empfangen umfasst, die einem Vorschubmechanismus in einer zur Drehachse des ersten Drehmechanismus senkrechten Ebene zugeordnet ist.
8. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturen der holografischen Komponente und/oder der zweiten diffraktiven Komponente aus einem Netz (M) eingesetzt sind, das von Iso-Phasenlinien und Phasengradientenlinien begrenzt ist.
9. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich das Netz zum Bilden der Mikrostrukturen der holografischen Komponente (CH) vom Netz zum Bilden der Mikrostrukturen der zweiten diffraktiven Komponente (C2) unterscheidet.
10. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturen der holografischen Komponente und/oder der zweiten diffraktiven Komponente aus primären Mikrostrukturen (M<sub>Sp</sub>) und aus sekundären Mikrostrukturen (MSs) bestehen.
11. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Verkleidung aus einem absorbierenden Mikrowellenwerkstoff umfasst, entweder als Fütterung eines Strukturwerkstoffs, aus dem die Verkleidung besteht, oder direkt.

12. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verkleidung Subwellenlängen-Mikrostrukturen umfasst.
13. Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Mikrostrukturen der Verkleidung im Inneren der Verkleidung befinden.
14. Verfahren zur Herstellung einer Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der vorstehenden Ansprüche, die die folgenden Schritte umfasst:
  - Herstellen von Mitteln zum Senden (S) und/oder Empfangen,
  - Herstellen der holografischen Komponente (CH) in einem ersten dielektrischen Substrat,
  - Herstellen der zweiten diffraktiven Komponente (C2) in einem zweiten dielektrischen Substrat,
  - Herstellen der Verschiebemechanismen der holografischen Komponente und der zweiten diffraktiven Komponente, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Schritt zum Herstellen einer Verkleidung aus einem absorbierenden Werkstoff umfasst.
15. Verfahren zur Herstellung einer Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die holografische Komponente (CH) und die zweite diffraktive Komponente (C2) gemeinsam hergestellt werden.
16. Verfahren zur Herstellung einer Antenne mit ausrichtbarem Höchstfrequenz-Strahl nach einem der Ansprüche 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die holografische Komponente (CH) und die zweite diffraktive Komponente (C2) durch additive Herstellung und/oder Formguss und/oder Bearbeiten und/oder chemische Gravur und/oder Lasergravur realisiert werden.

## Claims

1. Antenna having a directable hyperfrequency beam having a wavelength of between 1mm and 1m, directable which comprises:
  - a first mechanism for rotation about a first axis of rotation,
  - a second mechanism for rotation about a second axis of rotation,
  - a first dielectric component having subwavelength microstructures formed on a surface of a first dielectric substrate,
  - a second diffractive dielectric component (C2) having subwavelength microstructures formed on a surface of a second dielectric substrate, configured to deflect an incident hyperfrequency beam,

**characterised in that** the microstructures of the first dielectric component are implanted in a non-periodic arrangement determined by an interference calculation between the incident hyperfrequency beam and the desired output beam, to form a non-resonant, dual-function holographic component (CH) which is configured for collimating and/or focussing and for deflecting an incident hyperfrequency beam, **in that** this non-resonant holographic component is associated with the first mechanism for rotation, and **in that** the second diffractive dielectric component (C2) is associated with the second mechanism for rotation.
2. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to the preceding claim, **characterised in that** the microstructures of the holographic component (CH) are formed on a first non-planar surface of the first dielectric substrate.
3. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to claim 1, **characterised in that** the microstructures of the holographic component (CH) are implanted in a non-periodic three-dimensional arrangement, by stacking planar or non-planar surfaces, in a volume which bears on said face of the holographic component.
4. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the microstructures of the second diffractive component (C2) are formed on a second non-planar surface of the second dielectric substrate, and implanted in a non-periodic arrangement.
5. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to any one of claims 1 or 3, **characterised in that** the

microstructures of the second diffractive component (C2) are implanted in a non-periodic three-dimensional arrangement, in a volume which bears on said face of the second diffractive component.

6. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the antenna comprises a first translation mechanism of the holographic component (CH) in a plane perpendicular to the first axis of rotation, said first translation mechanism being associated with the first mechanism for rotation.

7. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to any one of the preceding claims, **characterised in that** it comprises transmission (S) and/or reception means, associated with a translation mechanism in a plane perpendicular to the axis of rotation of the first mechanism for rotation.

8. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the microstructures of the holographic component and/or of the second diffractive component are implanted from a mesh (M) delimited by isophase lines and phase gradient lines.

9. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to the preceding claim, **characterised in that** the mesh for forming the microstructures of the holographic component (CH) is different from the mesh for forming the microstructures of the second diffractive component (C2).

10. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the microstructures of the holographic component and/or of the second diffractive component are constituted from primary microstructures (MSp) and from secondary microstructures (MSs).

11. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to any one of the preceding claims, **characterised in that** it comprises a fairing made of an absorbent microwave material, either in the lining of a structural material which constitutes the fairing, or directly.

12. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to the preceding claim, **characterised in that** the fairing comprises subwavelength microstructures.

13. Antenna having a directable hyperfrequency beam according to the preceding claim, **characterised in that** the microstructures of the fairing are inside the fairing.

14. Method for manufacturing an antenna having a directable hyperfrequency beam, according to any one of the preceding claims, which comprises the following steps:

- manufacturing the transmission (S) and/or reception means,
- manufacturing the holographic component (CH) in a first dielectric substrate,
- manufacturing the second diffractive component (C2) in a second dielectric substrate,
- manufacturing the mechanisms for moving the holographic component and the second diffractive component, **characterised in that** it comprises a step of manufacturing a fairing made of an absorbent material.

15. Method for manufacturing an antenna having a directable hyperfrequency according to the preceding claim, **characterised in that** the holographic component (CH) and the second diffractive component (C2) are manufactured together.

16. Method for manufacturing an antenna having a directable hyperfrequency according to claims 14 or 15, **characterised in that** the holographic component (CH) and the second diffractive component (C2) are made by additive manufacture and/or moulding and/or machining and/or chemical etching and/or laser etching.

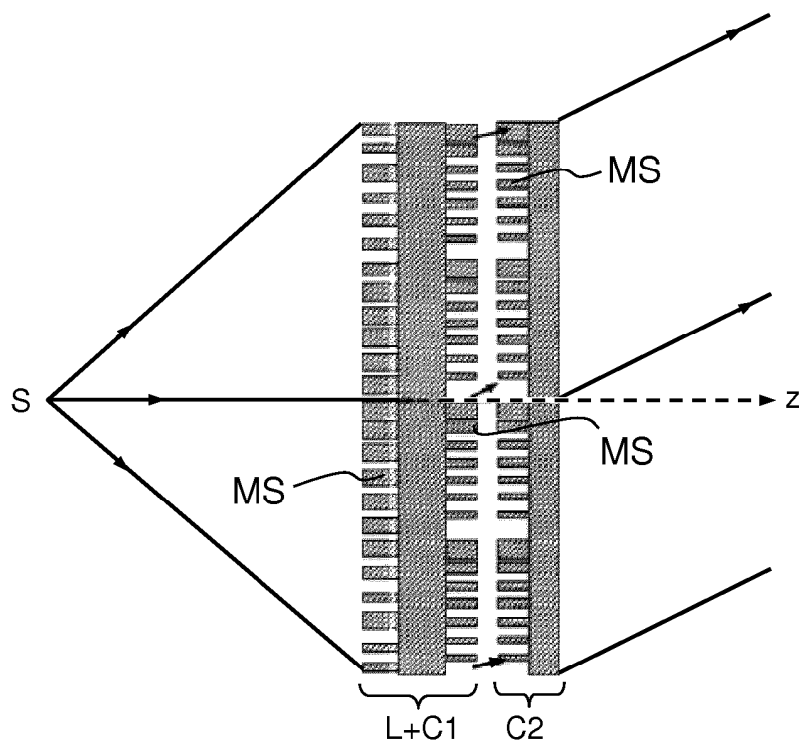


FIG.1

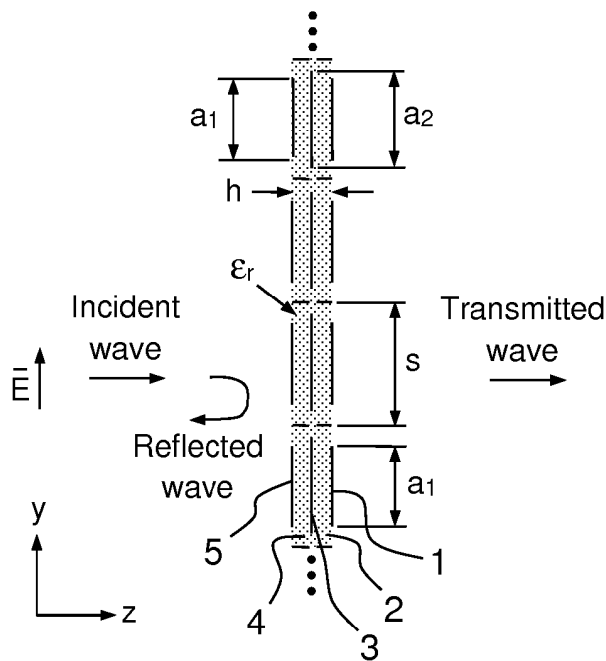


FIG.2a

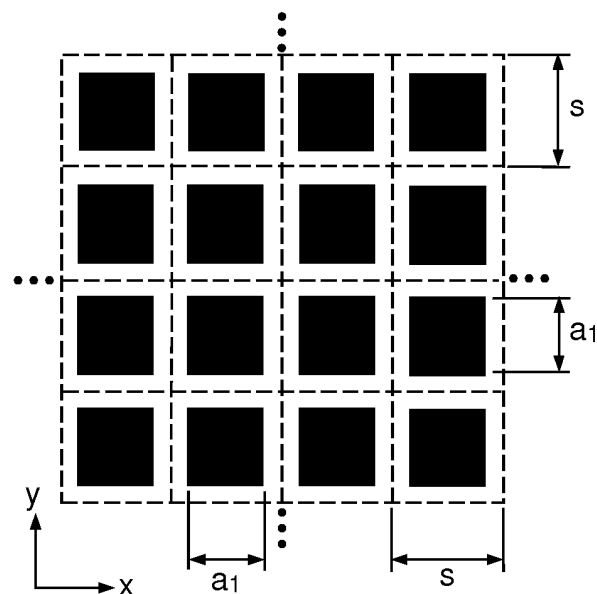


FIG.2b

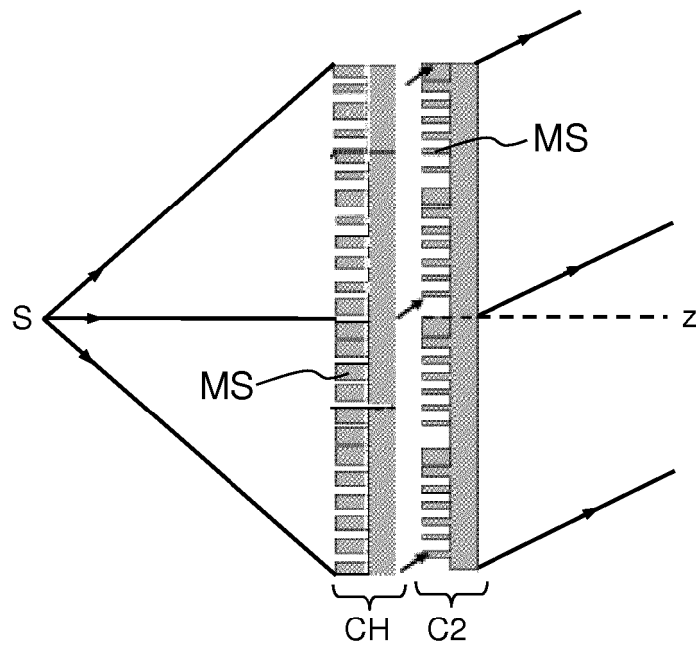


FIG.3a

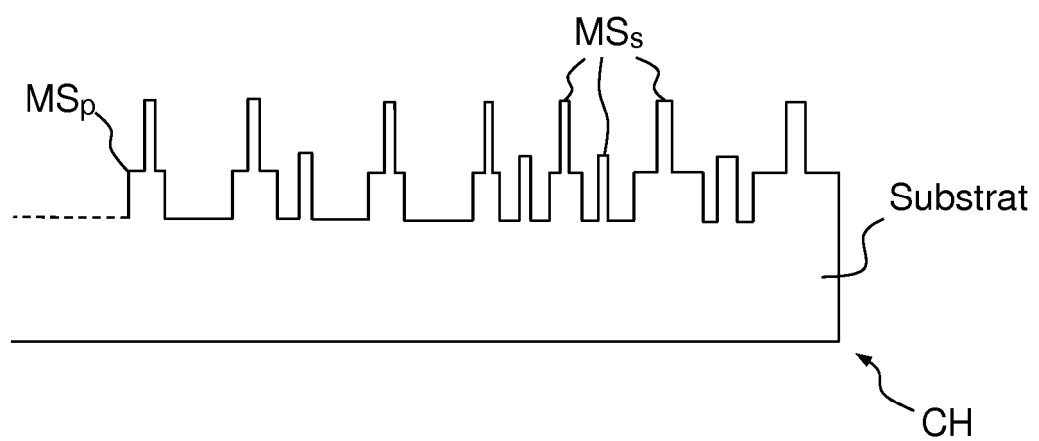


FIG.3b

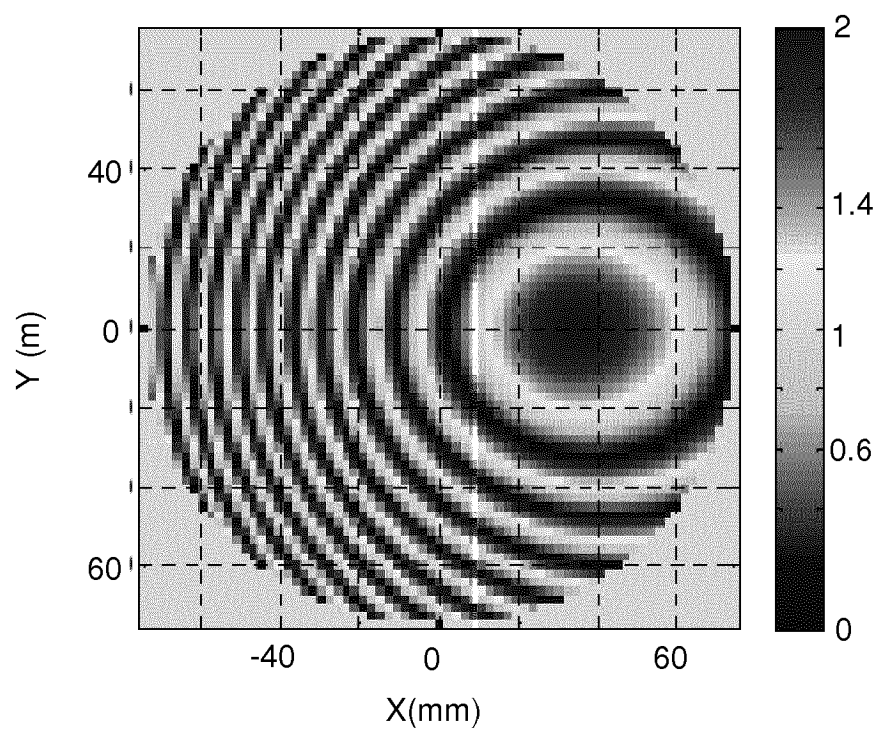


FIG.4

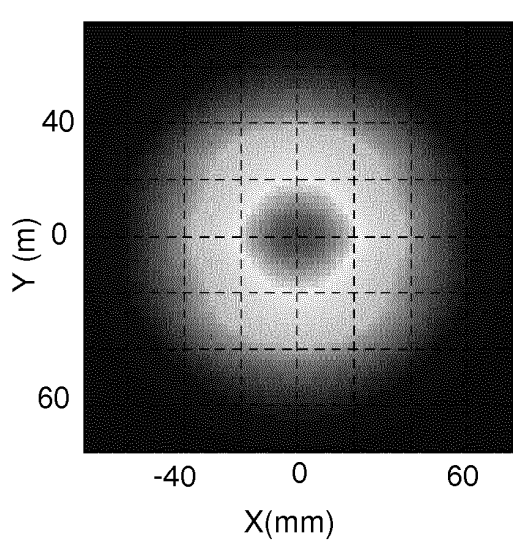


FIG.5a

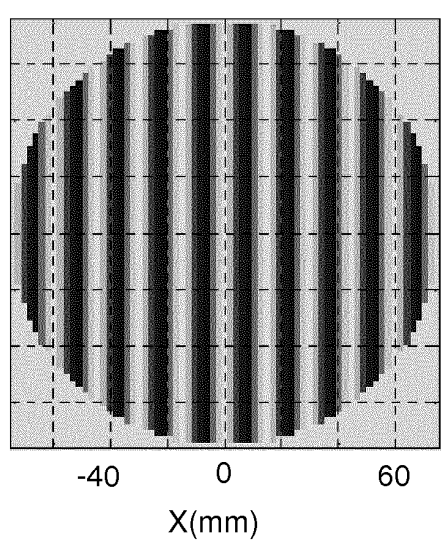


FIG.5b

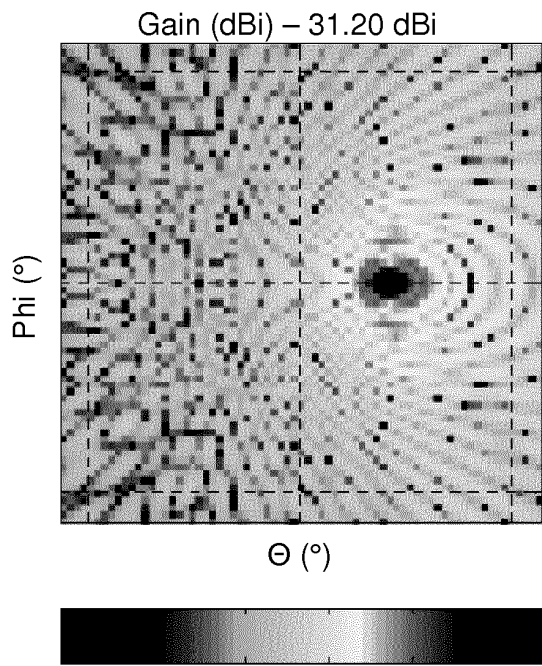
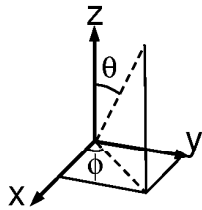


FIG.5c

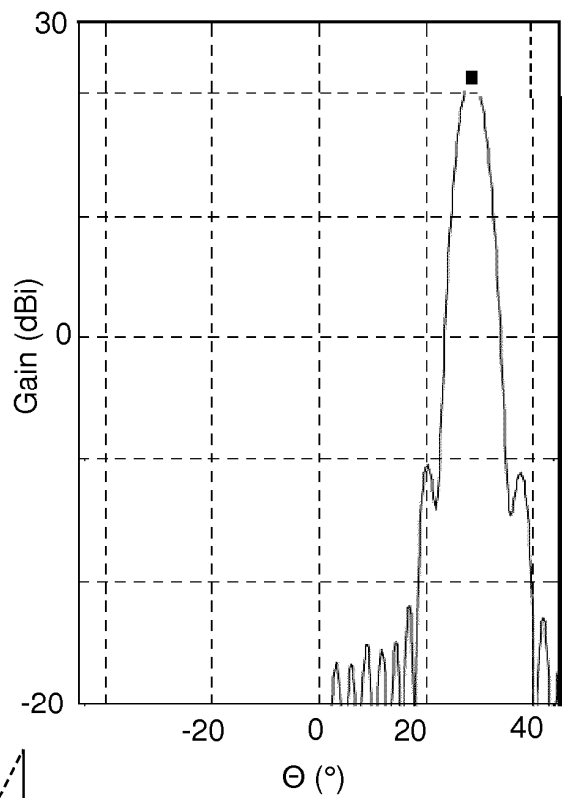
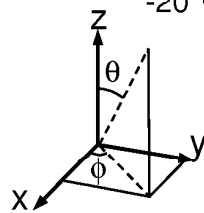


FIG.5d



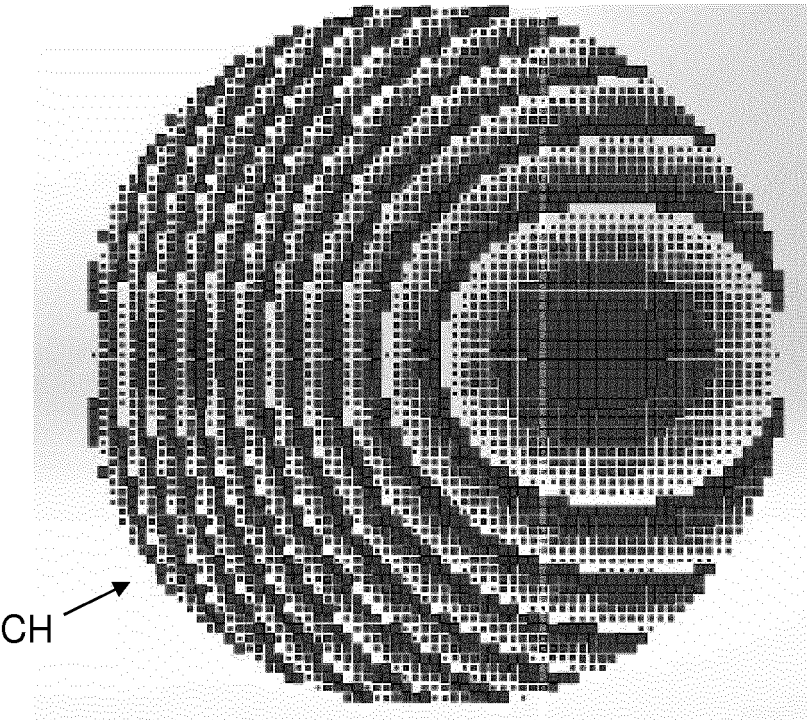


FIG. 6a

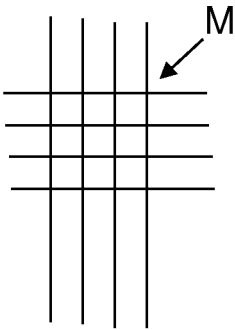


FIG. 6b

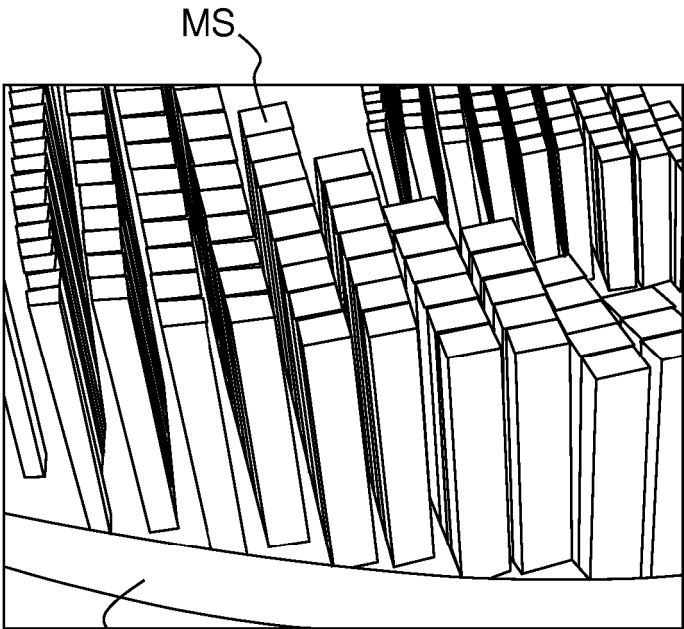


FIG. 6c

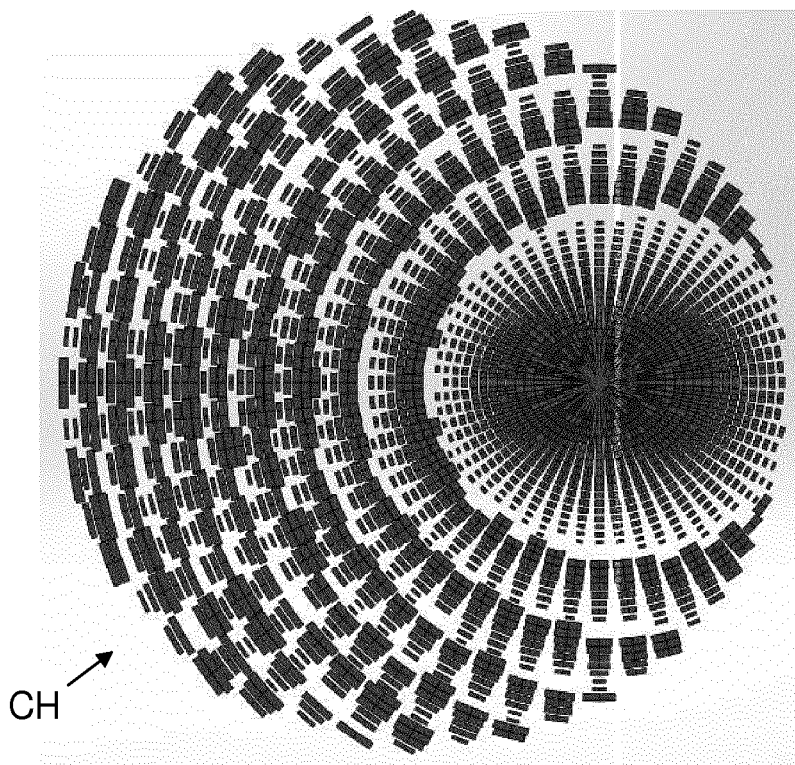


FIG.7a

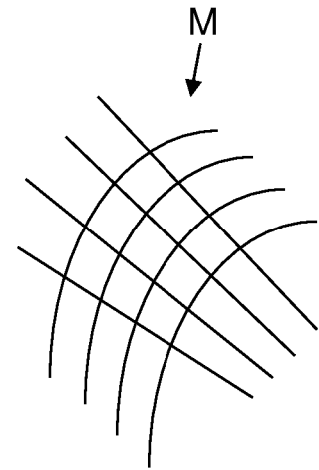


FIG.7b

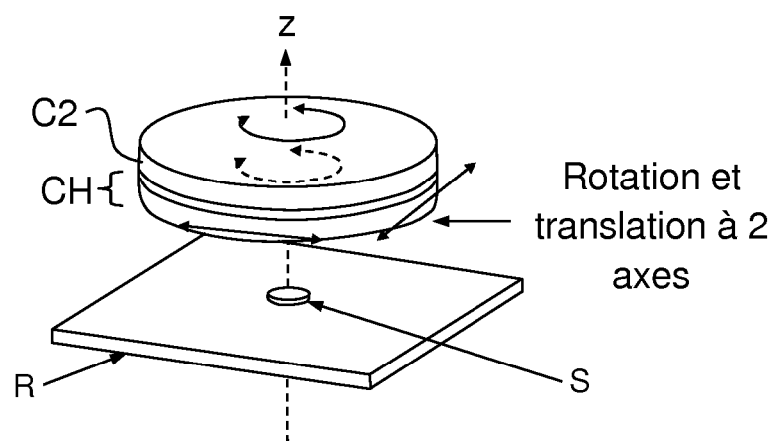


FIG.8

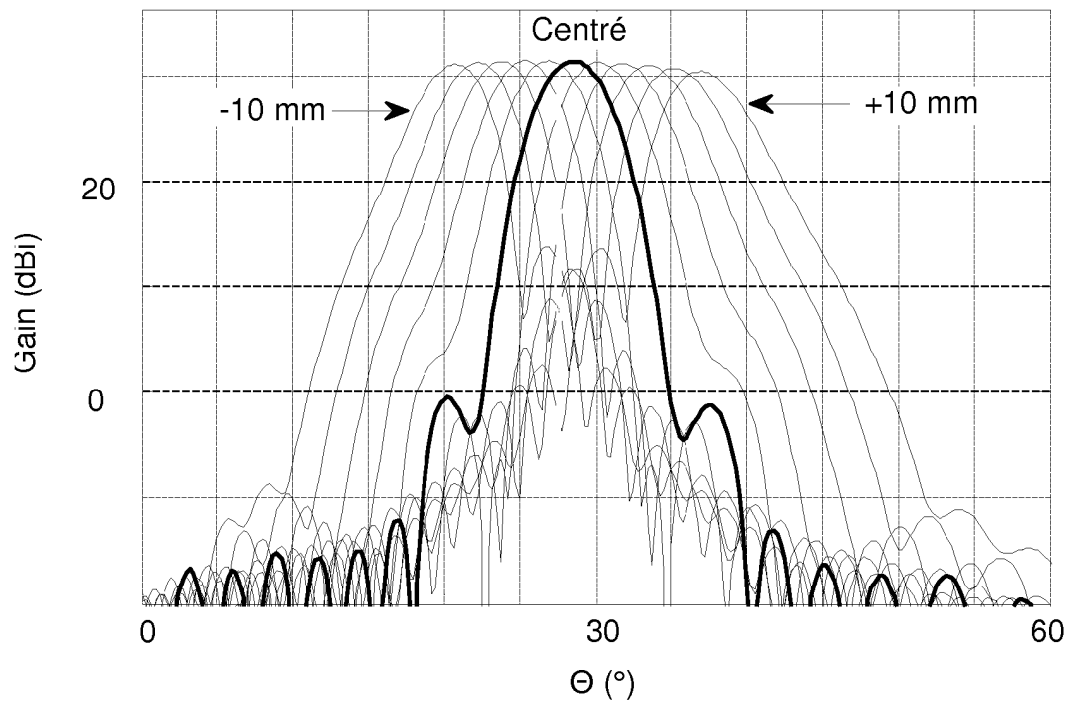


FIG.9

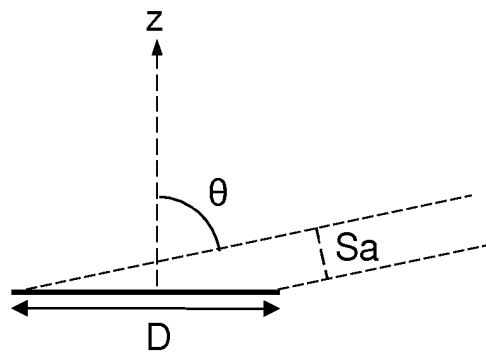


FIG.10a

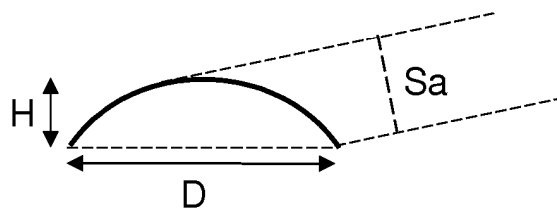


FIG.10b

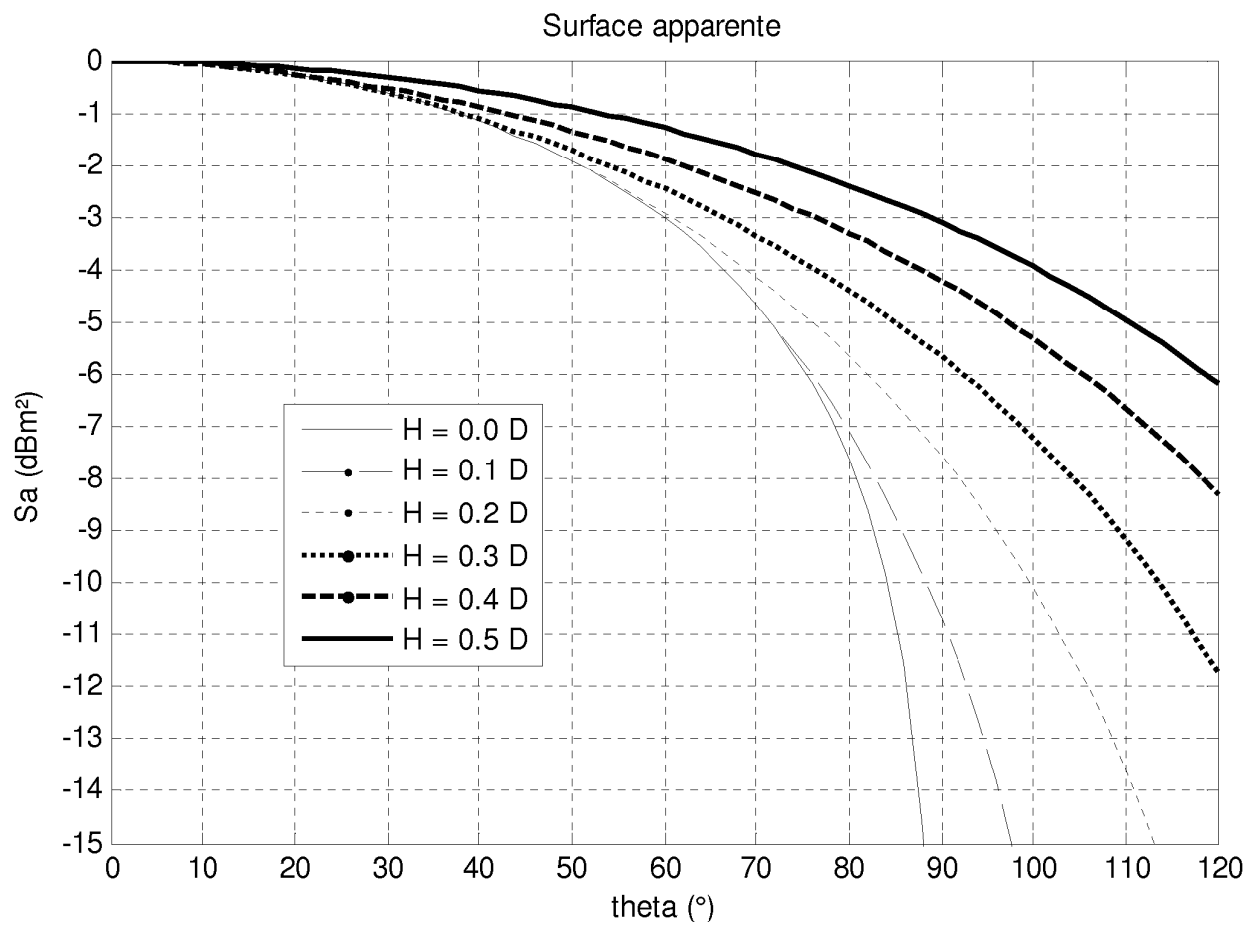
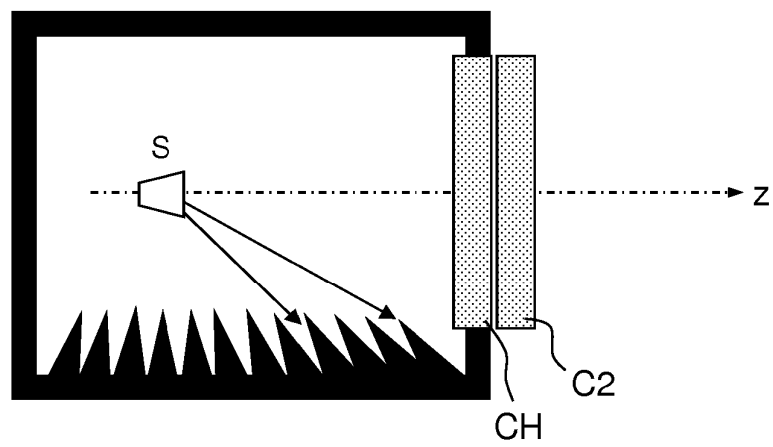
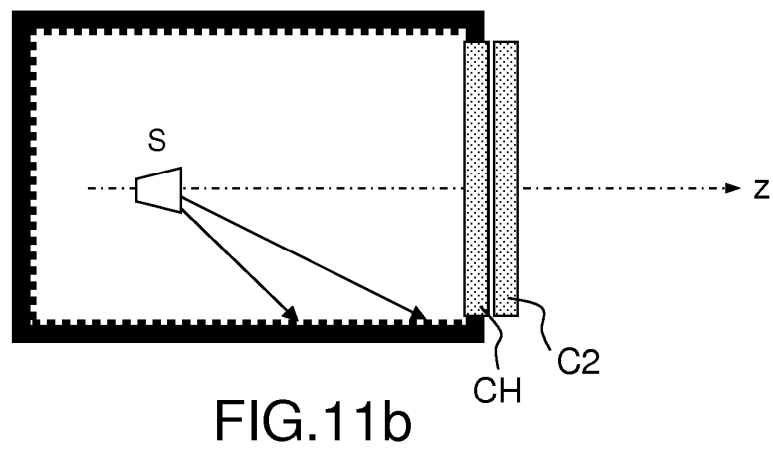
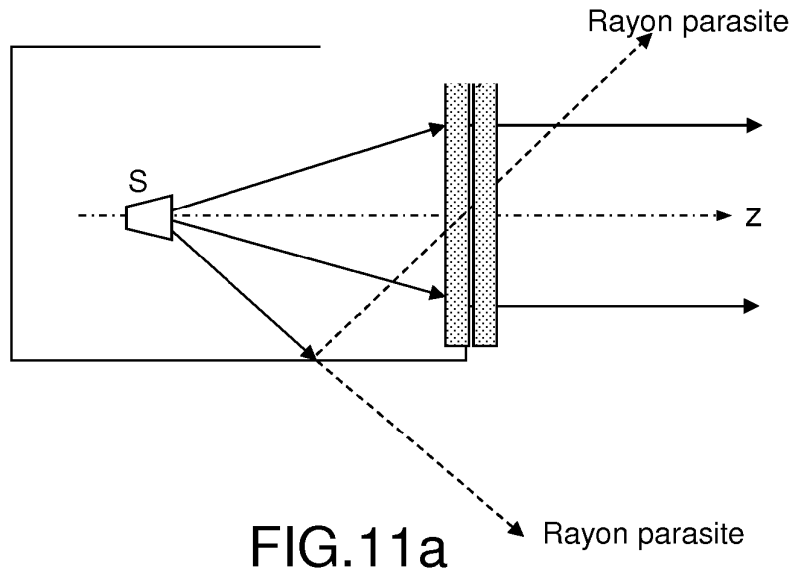


FIG.10c



## 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 2014128015 A [0012]
- FR 3002697 [0043]
- FR 2980648 [0063]

### Littérature non-brevet citée dans la description

- **DE N. GAGNON ; A. PETOSA.** *Using Rotatable Planar Phase Shifting Surfaces to Steer a High Gain Beam*, 2013 [0014]
- **W. H. SOUTHWELL.** Pyramid-array surface-relief structures producing antireflection index matching on optical surfaces. *J. Opt. Soc. A.*, March 1991, vol. 8 (3) [0063]