



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
27.03.2013 Bulletin 2013/13

(51) Int Cl.:
H01Q 15/08 (2006.01) H01Q 19/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12186157.9**

(22) Date de dépôt: **26.09.2012**

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

- **Loiseaux, Brigitte**
91767 PALAISEAU CEDEX (FR)
- **Allaëys, Jean-François**
92704 COLOMBES CEDEX (FR)
- **Czarny, Romain**
91767 PALAISEAU CEDEX (FR)
- **Ganne, Jean-Pierre**
91767 PALAISEAU CEDEX (FR)

(30) Priorité: **26.09.2011 FR 1102910**

(71) Demandeur: **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)

(74) Mandataire: **Blot, Philippe Robert Emile**
Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(72) Inventeurs:
• **Lee-Bouhours, Mane-Si Laure**
91767 PALAISEAU CEDEX (FR)

(54) **Antenne lentille comprenant un composant diélectrique diffractif apte à mettre en forme un front d'onde hyperfréquence .**

(57) Une antenne lentille comportant au moins un composant diélectrique diffractif apte à mettre en forme un front d'onde hyperfréquence ayant une longueur d'onde comprise dans une plage de 1 millimètre à 50 centimètres, ledit composant diélectrique diffractif comportant une pluralité de microstructures principales (62) formées dans un matériau substrat d'indice de réfraction substrat de manière à former un matériau artificiel d'indice de réfraction effectif, chaque microstructure principale ayant

une taille inférieure à une longueur d'onde cible prise dans ladite plage de longueurs d'onde, lesdites microstructures principales étant agencées par zones, de manière à faire varier un taux de remplissage surfacique, l'indice de réfraction effectif étant fonction dudit taux de remplissage surfacique, l'agencement étant tel que l'indice de réfraction effectif varie à l'intérieur d'une dite zone dudit composant diélectrique diffractif de manière quasiment monotone entre une valeur minimale et une valeur maximale inférieure ou égale à l'indice de réfraction substrat.

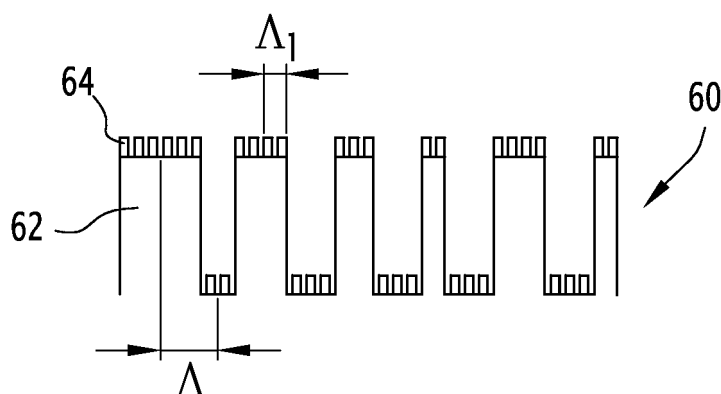


FIG. 7

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne lentille comprenant un composant diélectrique diffractif apte à mettre en forme un front d'onde hyperfréquence.

[0002] L'invention trouve une application particulière dans le domaine des télécommunications Hertziennes, s'étendant de manière connue d'environ 400MHz à 300GHz et correspondant à des ondes de longueurs d'ondes respectives centimétriques et millimétriques.

[0003] Dans ce domaine il est courant d'avoir des antennes grandes devant la longueur d'onde afin de réaliser des émissions de grande puissance et grande directivité, et d'obtenir un grand gain d'antenne.

[0004] Un des problèmes posés par ce type d'antenne est son encombrement et son poids. En effet, dans de nombreuses applications, à la fois pour des raisons esthétiques et pour des raisons de coût, il est préférable d'avoir des antennes à faible encombrement.

[0005] Une famille d'antennes permettant de répondre au besoin de réduire l'encombrement est la famille des antennes lentilles, dans lesquelles une source radiofréquence est placée au foyer d'une lentille diélectrique.

[0006] Afin de rendre une telle antenne plus compacte, une solution connue est de réduire le ratio distance focale/diamètre (F/D) de la lentille, en ayant ainsi une optique à forte ouverture numérique. Typiquement, le ratio F/D est inférieur à 0,5 pour la bande de fréquence de 30GHz à 50GHz connue sous le nom de bande Q, correspondant respectivement à une plage de longueur d'onde de 6mm (correspondant à 50GHz) à 10mm (correspondant à 30GHz).

[0007] On peut utiliser des lentilles épaisses réfractives, mais dans ce cas le faible ratio F/D induit une très grande courbure sur les bords, ce qui rend leur fabrication complexe pour maintenir un bon rendement. De plus, ces lentilles sont épaisses, donc leur encombrement et leur poids ne sont pas satisfaisants.

[0008] Alternativement, il est connu d'utiliser des lentilles diffractives, également appelées lentilles de Fresnel, dont l'épaisseur est faible et reste constante même lorsque le ratio F/D décroît. Comme illustré sur la figure 1, afin d'obtenir la même focalisation qu'une lentille réfractive épaisse 10, une lentille de Fresnel 12 comprend plusieurs zones annulaires concentriques 14, 16, également appelées zones de Fresnel, disposées dans un même plan. Les inconvénients connus des lentilles de Fresnel sont une plus faible efficacité de diffraction et des pertes dues à un effet d'ombrage de la découpe en zones. Il a été montré que l'effet d'ombrage était particulièrement important pour des fortes ouvertures numériques correspondant à des faibles valeurs F/D. En effet, d'une part, lors de la fabrication d'une telle lentille de Fresnel, il est délicat de maîtriser simultanément des zones continûment variables et des discontinuités à transition abrupte (correspondant à des parois verticales de bord de zone). Il en résulte que les lentilles fabriquées présentent une forme arrondie au niveau des discontinuités. Cette forme arrondie fait chuter significativement l'efficacité de diffraction, notamment quand la taille d'une zone de Fresnel n'est pas grande devant la longueur d'onde. De façon générale plus une optique est ouverte (F/D petit) plus la taille des zones de Fresnel est petite.

[0009] D'autre part, même pour une lentille idéale sans arrondi au niveau des discontinuités, on observe pour chaque discontinuité une zone d'ombrage dans laquelle les rayons incidents sont déviés par le bord de la zone de Fresnel adjacente et ne participent pas à la diffraction.

[0010] Une application des lentilles de Fresnel pour l'utilisation dans le domaine hyperfréquence a été proposée par A. Petosa, A. Ittipiboon et S. Thirakoune dans l'article 'Investigation on arrays of perforated dielectric Fresnel lenses', publié dans IEE Proc. on Microwave Antenna Propagation, Vol. 153, N°3, Juin 2006. Il y est décrit la fabrication de lentilles de Fresnel par perforation de trous de diamètres variables dans un matériau diélectrique initialement homogène pour obtenir quatre niveaux de permittivité, la permittivité étant égale au carré de l'indice de réfraction effectif.

[0011] Dans cette solution, la lentille est formée de quatre zones concentriques chacune percée de trous de diamètre constant, espacées par des zones de matériau diélectrique dépourvues de trous, formant ainsi quatre zones de Fresnel séparées. Les trous sont de diamètre petit par rapport à une longueur d'onde cible, correspondant à une fréquence de 30GHz. Un matériau diélectrique de fort indice de réfraction $n=2,4$ a été utilisé pour faciliter la fabrication des trous. Les résultats expérimentaux ont montré que l'amélioration escomptée n'a pas été atteinte par cette lentille diélectrique perforée, à cause notamment des pertes par réflexions passant de 4% par interface à une valeur située entre 0% et 17% (avec le matériau d'indice $n=2,4$), puisque l'indice effectif synthétisé prend quatre valeurs entre 1 et 2,4. De fait, cette solution a apporté un gain plus faible qu'une lentille de Fresnel classique à quatre niveaux d'indice de réfraction fabriquée dans un matériau de plus bas indice, comme le plexiglas d'indice $n=1,61$, comme mentionné dans A. Petosa, A. Ittipiboon, « Design and performance of a perforated dielectric Fresnel lens », IEE Proceedings of Microwave Antennas Propagation, 2003, 150, (5), pp. 309-314. La solution proposée par Petosa et al. montre donc des performances insatisfaisantes.

[0012] Il est donc souhaitable de remédier aux inconvénients de l'état de la technique, et de proposer une solution permettant d'obtenir un bon rendement en ayant de faibles pertes par réflexion et un faible encombrement dans le domaine hyperfréquences.

[0013] A cet effet, selon un premier aspect, l'invention propose une antenne lentille comportant au moins un composant diélectrique diffractif apte à mettre en forme un front d'onde hyperfréquence ayant une longueur d'onde comprise dans

une plage de 1 millimètre à 50 centimètres, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte une pluralité de microstructures principales formées dans un matériau substrat d'indice de réfraction substrat de manière à former un matériau artificiel d'indice de réfraction effectif, chaque microstructure principale ayant une taille inférieure à une longueur d'onde cible prise dans ladite plage de longueurs d'onde, lesdites microstructures principales étant agencées par zones, de manière à faire varier un taux de remplissage surfacique, l'indice de réfraction effectif étant fonction dudit taux de remplissage surfacique, l'agencement étant tel que l'indice de réfraction effectif varie à l'intérieur d'une dite zone dudit composant diélectrique diffractif de manière quasi-monotone entre une valeur minimale et une valeur maximale inférieure ou égale à l'indice de réfraction substrat.

[0014] Avantageusement, une antenne lentille selon l'invention a un bon rendement et présente un faible encombrement. En effet, un composant diélectrique diffractif avec un agencement de microstructures principales de taille inférieure à la longueur d'onde cible, appelées microstructures sub-longueur d'onde, permet la synthèse, pour une zone du composant, d'une variation quasi-monotone quasiment continue de l'indice de réfraction effectif avec un grand nombre de motifs de microstructures sub-longueur d'onde. Cela permet d'améliorer l'efficacité de diffraction et d'éviter les pertes par effet d'ombrage. De plus, la solution proposée par l'invention permet de maximiser les effets de guidage et donc de maximiser l'efficacité du composant diélectrique, ce qui permet l'obtention d'antennes lentilles efficaces dans le domaine des hyperfréquences.

[0015] L'antenne lentille selon l'invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous :

- la densité de microstructures principales par unité de surface varie dans une zone dudit composant diélectrique, la taille de chaque microstructure principale étant fixée ;
- la taille desdites microstructures principales est variable pour une zone dudit composant diélectrique ;
- lesdites microstructures principales sont à section carrée ou circulaire, de largeur égale à K fois la longueur d'onde cible prise dans ladite plage de longueurs d'onde, K étant compris entre 1/50 et 1/1,5 ;
- lesdites microstructures principales sont des piliers formés en saillie sur ledit matériau substrat et/ou des trous formés dans ledit matériau substrat ;
- lesdites microstructures principales étant des piliers formés en saillie sur ledit matériau substrat, le composant diélectrique diffractif comporte en outre, en plus desdites microstructures principales, au moins une couche comportant des microstructures secondaires de taille inférieure à la taille desdites microstructures principales, lesdites microstructures secondaires étant adaptées à diminuer les réflexions d'onde hyperfréquence incidente ;
- ledit composant diélectrique diffractif comporte plusieurs couches de microstructures secondaires empilées, chaque couche de microstructures secondaires comprenant des piliers formés en saillie sur lesdites microstructures principales ou secondaires de la couche précédant ladite couche de microstructures secondaires ;
- lesdites microstructures principales sont positionnées sur une première face dudit composant diélectrique diffractif, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte une couche de microstructures secondaires positionnée sur une deuxième face dudit composant diélectrique diffractif, opposée à ladite première face ;
- lesdites microstructures principales et/ou lesdites microstructures secondaires ont une forme conique ;
- lesdites microstructures principales étant positionnées sur une première face dudit composant diélectrique diffractif, ledit composant diélectrique diffractif comporte une couche non diffractive de microstructures sub-longueur d'onde, réalisant une fonction de phase associée, sur une deuxième face dudit composant diélectrique diffractif, opposée à ladite première face ;
- ledit composant diélectrique diffractif comporte en outre une lame diélectrique neutre de protection d'épaisseur fonction de ladite longueur d'onde cible, et
- ledit composant diélectrique diffractif est une matrice rectangulaire de dits composants diélectriques diffractifs de section carrée ou rectangulaire.

[0016] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées, parmi lesquelles :

- la figure 1, déjà décrite, est une vue en coupe mettant en correspondance des lentilles classiques, à savoir une lentille réfractive et une lentille diffractive de Fresnel à profil en échelle ;
- la figure 2 est une vue en coupe de différentes réalisations d'un composant diélectrique diffractif de type réseau à échelle ;
- la figure 3 est une vue de dessus de différentes réalisations d'un composant diffractif de type réseau à échelle selon l'invention ;
- la figure 4 est un graphe représentant l'indice effectif du composant diélectrique diffractif composé de piliers périodiques en fonction du taux de remplissage surfacique, sur un substrat d'indice 2,54 ;
- la figure 5 est un graphe représentant l'indice effectif du composant diélectrique diffractif composé de trous périodiques en fonction du taux de remplissage surfacique, sur un substrat d'indice 2,54 ;

- la figure 6 est un graphe représentant les indices effectifs respectifs du composant diélectrique diffractif composé de piliers ou de trous périodiques de taille fixée en fonction du taux de remplissage surfacique, sur un substrat d'indice 2,54 ;
- la figure 7 est une vue de coupe d'un composant diélectrique diffractif selon un premier mode de réalisation avec adaptation d'impédance ;
- la figure 8 est une vue de coupe d'un composant diélectrique diffractif selon un deuxième mode de réalisation avec adaptation d'impédance ;
- la figure 9 est une vue de coupe d'un composant diélectrique diffractif selon un troisième mode de réalisation avec adaptation d'impédance ;
- la figure 10 est une vue de coupe d'un composant diélectrique diffractif selon un quatrième mode de réalisation avec adaptation d'impédance ;
- la figure 11 est une vue du dessus d'une matrice de composants diélectriques diffractifs à microstructures sub-longueur d'onde ;
- la figure 12 est un schéma représentant le défléchissement d'ondes par une lentille hors d'axe ;
- la figure 13 est un schéma représentant la génération de deux faisceaux d'ondes, et
- la figure 14 est un schéma représentant la génération de deux faisceaux d'ondes à partir de multiples sources d'ondes.

[0017] L'invention sera décrite plus particulièrement dans l'application de lentilles diélectriques diffractives ou composants diélectriques diffractifs pour antenne lentille dans le domaine hyperfréquence dans une plage de 30 GHz à 50 GHz (connue sous le nom de bande Q), qui est une plage particulière du domaine hyperfréquence. Une telle antenne lentille est composée d'une source d'ondes électromagnétiques hyperfréquence et d'une lentille, qui est un composant diélectrique diffractif et qui collecte et remet en forme l'onde générée par la source, ce qui résulte en un front d'onde modifié. La source se situe au niveau du foyer de ce composant, ou plus généralement à proximité du foyer de ce composant..

[0018] Afin d'illustrer la réalisation d'un matériau artificiel à variation monotone d'indice effectif ou quasi gradient d'indice, diverses réalisations d'un réseau en échellette fonctionnant en transmission sont décrites en référence à la figure 2.

[0019] Le composant 20 de la figure 2 est un composant diffractif dit réseau en échellette, réalisé dans un matériau substrat 21 et composé de deux échelons 22 de période A, chaque échelon correspondant à une zone du composant. C'est un composant diélectrique diffractif classique, réalisé dans un matériau substrat d'indice de réfraction substrat donné, dans lequel la variation monotone d'indice de réfraction est obtenue par la variation de hauteur entre la hauteur h1 et la hauteur h2 de chaque échelon 22.

[0020] Par la suite, l'indice de réfraction sera appelé simplement indice.

[0021] Un réseau en échellette permet de réaliser une fonction de phase ou décalage de phase $\Delta\Phi(\lambda_0, x, y)$, $\Delta\Phi$ étant le retard de phase introduit par le composant diélectrique aux coordonnées (x,y) du composant, qui dépend l'indice n et de la hauteur du composant :

$$\Delta\Phi(\lambda_0, x, y) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n(x, y) - n_0) h(x, y) \quad (\text{Eq1}),$$

où λ_0 , la longueur d'onde cible dans le domaine considéré et n_0 l'indice le plus faible atteint, et $h(x, y)$ est la fonction donnant la hauteur du composant en un point spatial de coordonnées (x,y) dans un repère spatial. Sur un réseau en échellette dans de l'air, la fonction de phase est obtenue par la variation de la hauteur, en gardant $n(x, y) = n$, l'indice de réfraction du matériau. La fonction de phase ou décalage de phase devient :

$$\Delta\Phi(\lambda_0, x, y) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n - 1) h(x, y).$$

[0022] La hauteur maximale $h = (h_2 - h_1)$ est calculée, en fonction de la variation d'indice $n - n_0$, pour obtenir un déphasage

de 2π . $h(x, y) = \frac{\lambda_0}{(n - 1)}$, pour un réseau échellette gravé dans du Rexolite ($n = 1,59$)

entouré d'air ($n_0 = 1$). A titre d'indication la hauteur d'un réseau dans du verre est égale à 12,3mm à $\lambda_0 = 7,14$ mm.

[0023] Le composant 23 de la figure 2 est réalisé dans un matériau substrat 24 et comprend deux zones ou échelons 25 de hauteur constante, correspondant aux échelons 22 du composant 20, à variation monotone croissante d'indice par zone, ou gradient d'indice, entre la valeur minimale 1, qui est l'indice du vide, et n , n étant supérieur à 1, la variation étant schématiquement représentée par une flèche. Le déphasage dans ce cas devient :

$$\Delta\Phi(\lambda_0, x, y) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n(x, y) - n_0) h.$$

[0024] En pratique, un tel gradient d'indice à hauteur constante à cette échelle est très difficile à obtenir dans le domaine des radio/hyperfréquences, Cela nécessite l'utilisation de techniques complexes de combinaison et d'incorporation de matériaux (par exemple tissu de verre et teflon PTFE).

[0025] Une alternative pour l'obtention d'une variation monotone de l'indice ou gradient d'indice selon l'invention est représentée par le composant 26 de la figure 2. Le composant 26 est formé par un substrat 27 comprenant des microstructures sub-longueur d'onde 28, qui sont dans cet exemple des piliers. Les microstructures sub-longueur d'onde peuvent être des trous ou des piliers, ces microstructures ayant pour effet de faire varier localement la quantité de matériau diélectrique. Les microstructures du composant 26 sont agencées dans des zones, qui sont des zones de période Λ dans le cas d'un réseau, ou des zones de Fresnel dans le cas d'une lentille, ou des zones quelconques dans le cas d'un composant non périodique. A l'intérieur d'une zone, l'indice de réfraction effectif varie de manière quasi-monotone, entre une valeur minimale et une valeur maximale inférieure ou égale à l'indice de réfraction du substrat 27.

[0026] Avantageusement, l'efficacité de diffraction est améliorée, car l'utilisation des microstructures sub-longueur d'onde évite l'effet d'ombrage obtenu avec la réalisation en échelle 20, et donc permet d'augmenter le rendement du composant diélectrique 26 par rapport au rendement du composant en échelle 20. Les piliers 28 qui sont à section carrée, circulaire ou hexagonale par exemple, ont des largeurs variables, la largeur maximale étant égale à d qui est inférieure à λ_0 , la longueur d'onde cible dans le domaine hyperfréquence considéré. Les piliers sont agencés dans une structure périodique de période Λ_s qui est la distance entre les centres de deux piliers consécutifs dans l'exemple de la figure 2. En variante, la structure d'agencement est pseudo-périodique, avec des distances proches de Λ_s , typiquement comprises environ entre $0.75\Lambda_s$ et $1.25\Lambda_s$ pour induire un peu de désordre ce qui permettrait dans certains cas de lisser ou réduire les ordres de diffractions non désirés. Les microstructures sont agencées par zones selon un maillage qui est carré, rectangulaire ou hexagonal par exemple.

[0027] Lorsque la période Λ_s est inférieure à la longueur d'onde à λ_0 , le composant diélectrique se comporte comme un matériau artificiel dont l'indice effectif varie localement par zone de manière monotone, formant un matériau à quasi gradient d'indice effectif. Cet agencement des microstructures permet de synthétiser un grand nombre d'indices effectifs différents N , avec $N > 4$, typiquement $N = 8$, les N indices effectifs variant de façon progressive par petits pas.

[0028] De préférence,

$$\Lambda_s \leq \frac{\lambda_0}{\max(n_s, n_{inc}) + n_{inc} \times \sin(\theta)} \quad (\text{Eq2}),$$

où n_s est l'indice de réfraction du matériau diélectrique substrat, n_{inc} est l'indice de réfraction du milieu incident (généralement le milieu incident est l'air, $n_{inc} = 1$), et θ est l'angle d'incidence du faisceau d'ondes sur le composant diélectrique. Si la période Λ_s est choisie supérieure à la valeur donnée par la formule de Eq2, le composant diélectrique n'a plus la propriété de matériau artificiel à quasi gradient d'indice souhaitée.

[0029] Dans le cas d'une lentille diffractive ou d'un réseau, la hauteur h du composant est calculée pour obtenir un multiple de déphasage de 2π , généralement simplement 2π , ce qui induit :

$$h = \frac{\lambda_0}{(n_{\max} - n_{\min})},$$

où n_{\max} et n_{\min} sont les indices effectifs maximum et minimum, l'indice effectif maximum étant inférieur ou égal à l'indice du substrat.

[0030] L'indice effectif dépend de la géométrie de la microstructure sub-longueur d'onde.

[0031] Pour les microstructures en forme de piliers, on définit un taux de remplissage surfacique qui est égal à la

surface occupée par les piliers contenus dans une unité de surface divisée par cette même unité de surface. Une unité de surface est définie comme la surface du carré de côté Λ_s . L'indice effectif est quasiment proportionnel au taux de remplissage surfacique.

[0032] Pour les microstructures en forme de trous, le taux de remplissage surfacique est égal à la surface de matériau diélectrique substrat restante par unité de surface divisée par cette même unité de surface.

[0033] D'une manière générale, le taux de remplissage surfacique représente la surface de matériau substrat composant le matériau artificiel par unité de surface.

[0034] Le composant 29 de la figure 2 représente une alternative de réalisation de variation d'indice dans un matériau diélectrique substrat 30 selon l'invention, permettant d'obtenir une variation d'indice effectif similaire à celle obtenue avec le composant 26 : un ensemble de piliers 31 de largeur donnée d_1 , qui est d'un ordre de grandeur inférieur à celui de la longueur d'onde cible λ_0 , $d_1 \ll \lambda_0$, qui sont agencés selon une densité variable par unité de surface. De façon pratique on choisira $d_1 < \Lambda_s/2$, avec typiquement $d_1 = \Lambda_s/5$. La variation de la densité permet également de faire varier le taux de remplissage surfacique, et donc l'indice effectif du composant 29.

[0035] Il est également envisageable de combiner les microstructures de taille variable et leur agencement de densité variable dans un même composant diélectrique diffractif.

[0036] Alternativement, un composant diélectrique à gradient d'indice est construit à base de microstructures de type trous sur le même principe, en perçant dans le matériau diélectrique des trous de diamètre ou de taille fixe, et en faisant varier le nombre de trous par unité de surface.

[0037] La figure 3 illustre une vue du dessus de diverses réalisations de composants diélectriques diffractifs à réseaux en échellette selon l'invention.

[0038] Une première vue du dessus 32 illustre un premier mode de réalisation d'un composant diélectrique diffractif 26, avec deux zones ou échelons, comprenant des microstructures 33 à section carrée de taille variable, et agencées selon un maillage carré.

[0039] Une deuxième vue du dessus 34 illustre un deuxième mode de réalisation d'un composant diélectrique diffractif 26, avec deux zones ou échelons, comprenant des microstructures 35 à section circulaire et de diamètre variable, agencées selon un maillage hexagonal.

[0040] Enfin la vue 36 illustre un mode de réalisation d'un composant diélectrique diffractif 29, avec deux zones ou échelons, comprenant des microstructures 37 de section carrée de taille constante, agencées avec une densité surfacique variable.

[0041] Tous les types de microstructures - trous ou piliers, de section ronde, carrée ou selon une autre forme géométrique - sont adaptés à la réalisation des composants diélectriques diffractifs pour des ondes hyperfréquence, de longueur d'onde micro-onde, car les dimensions des microstructures, calculées à partir de la longueur d'onde cible, sont supérieures à 1 mm, et donc ne nécessitent pas de technologie de fabrication très coûteuse.

[0042] Dans le mode de réalisation préféré de l'invention, le composant diélectrique diffractif est réalisé avec des microstructures de type piliers, qui ont l'avantage d'optimiser le guidage d'onde et donc d'augmenter l'efficacité de diffraction.

[0043] Dans une variante, trous et piliers sont associés dans un même composant.

[0044] De façon non restrictive, ces microstructures sont, selon un mode de réalisation, des microstructures de section carrée, ronde, ovale, hexagonale, de largeur égale sur la profondeur, c'est-à-dire à flanc droit ou quasi-droit dans l'épaisseur du composant.

[0045] Selon un mode de réalisation alternatif, les microstructures sont en forme de cônes, c'est-à-dire ayant des flancs qui ne sont pas droits dans l'épaisseur du substrat, par exemple avec un diamètre plus faible côté air et plus large côté substrat.

[0046] Les figures 4 à 6 fournissent plusieurs exemples de dimensionnement de microstructure pour obtenir divers indices effectifs.

[0047] La figure 4 est un graphe représentant l'indice effectif du composant diélectrique composé de microstructures piliers périodiques en fonction du taux de remplissage surfacique.

[0048] En abscisse est représenté le taux de remplissage surfacique, qui varie entre 0 et 1, et en ordonnée l'indice effectif du matériau artificiel obtenu, qui varie entre 1 et 2,6.

[0049] Le graphe correspond à des piliers de période $\Lambda_s = 2,4\text{mm}$, fabriqués dans un matériau diélectrique substrat d'indice substrat $n_s = 2,54$. La longueur d'onde cible λ_0 est de 7,14mm, correspondant à une fréquence d'environ 42 GHz. La période Λ_s est dans cet exemple égale à $0,336 \times \lambda_0$. Ce choix correspond à une ouverture de $f/1.4$. Pour une ouverture de $f/0.25$, on calcule la valeur de Λ_s en utilisant la formule Eq2 avec $\theta = 63^\circ$, qui est l'angle d'incidence correspondant à l'ouverture $f/0.25$.

[0050] Comme illustré sur la figure 4, l'indice effectif est quasi proportionnel au taux de remplissage surfacique. En particulier, cinq points du graphe notés P_1 à P_5 ont été distingués.

[0051] En regard de chacun des points P_1 à P_5 , le taux de remplissage surfacique des piliers est représenté schématiquement par une vue du dessus de chaque pilier à section carrée 38 centré par unité de surface 40. La zone 38

représente le matériau diélectrique composant le pilier, la zone 42 correspond à l'air (zone laissée vide autour des piliers).

[0052] Le côté d de la section carrée de chaque pilier varie entre une valeur de $d=1,28\text{mm}$, qui correspond à $0,179 \times \lambda_0$ pour le point P_1 à $d=2,3\text{mm}$, qui correspond à $0,322 \times \lambda_0$ pour le point P_5 . Si on suppose l'utilisation de piliers de largeur variant entre 0 et la taille de P_4 , l'excursion d'indice obtenue est égale à ~ 1 , entraînant une hauteur du composant de $h=7,1\text{ mm}$ environ.

[0053] Le graphe de la figure 5 est similaire à celui de la figure 4 pour un composant diélectrique composé de trous périodiques.

[0054] Similairement au graphe de la figure 4, en abscisse est représenté le taux de remplissage surfacique, qui varie entre 0 et 1, et en ordonnée l'indice effectif du matériau obtenu, qui varie entre 1 et 2,6.

[0055] Le graphe de la figure 5 correspond à des trous de période $\Lambda_s=2,4\text{mm}$, fabriqués dans un matériau diélectrique d'indice initial $n_s=2,54$, pour une longueur d'onde cible $\lambda_0=7,14\text{mm}$, correspondant à une fréquence d'environ 42 GHz.

[0056] Le taux de remplissage surfacique est donné ici par la surface occupée par le matériau diélectrique, soit la surface 44 moins la zone de trou 46 de section carrée de côté d . Naturellement, le côté d est inversement proportionnel dans ce cas au taux de remplissage surfacique.

[0057] Comme illustré sur la figure 5, l'indice effectif obtenu est quasi proportionnel au taux de remplissage surfacique. En regard de chacun des points Q_1 à Q_5 , le taux de remplissage surfacique est représenté schématiquement par une vue du dessus des trous 46 par unité de surface 44. Si on suppose l'utilisation de trous de taille variant entre 0 et celle de Q_2 , l'excursion d'indice obtenue est égale à ~ 1 , entraînant une hauteur du composant de $h=7,2\text{mm}$ environ.

[0058] La figure 6 est un graphe représentant l'indice effectif du composant diélectrique composé de piliers et de trous périodiques de taille constante et de densité par unité de surface variable, en fonction du taux de remplissage surfacique.

[0059] Comme dans les figures précédentes, en abscisse est représenté le taux de remplissage surfacique, qui varie entre 0 et 1, et en ordonnée l'indice effectif du matériau obtenu, qui varie entre 1 et 2,6.

[0060] Dans ce mode de réalisation, les conditions ont été conservées : indice de réfraction du matériau diélectrique substrat $n_s=2,54$ et longueur d'onde cible $\lambda_0=7,14\text{mm}$.

[0061] La taille d du côté de la section carrée de chacune des microstructures (trou ou pilier) est constante et égale à $0,2\text{mm}$, et c'est la densité de matériau par unité de surface qui varie. Pour ce mode de réalisation, l'avantage de la facilité de fabrication subsiste également, la fabrication des microstructures étant aisée du fait de leur taille constante. La période macroscopique d'une cellule élémentaire est de $\Lambda_s=2,4\text{mm}$, donc chaque unité de surface carrée 48 correspond à $2,4\text{mm}^2$.

[0062] La courbe 50 correspond à des microstructures en forme de piliers, et la courbe 52 correspond à de microstructures en forme de trous.

[0063] Dans les carrés 48, les zones hachurées correspondent au matériau diélectrique et les zones sans remplissage correspondent à l'air.

[0064] Dans une variante, on combine les deux géométries, à savoir piliers et trous, afin de pouvoir utiliser l'intégralité de l'excursion d'indice et de diminuer la hauteur des structures. Par exemple en utilisant une combinaison de trous et de piliers dont les tailles varient entre 0 et celle de P_4 pour les piliers et 0 et celle de Q_2 pour les trous, l'excursion d'indice devient égale à 1,54, entraînant une hauteur de $4,6\text{mm}$ environ. Ainsi, la combinaison piliers et trous permet de diminuer encore l'encombrement du composant diélectrique diffractif.

[0065] Dans une autre variante, afin de faciliter le procédé de fabrication, le composant diélectrique est composé de piliers de taille constante, et agencés de manière à faire varier leur densité pour obtenir un quasi gradient d'indice, avec un nombre de piliers variable par unité de surface. Dans le domaine hyperfréquence d'application, les longueurs d'ondes cibles se situent typiquement dans une plage de 1 mm à 75cm , et la taille de côté typique des microstructures piliers est $d=K \times \lambda_0$, avec K compris entre $1/50$ et $1/1,5$. De telles microstructures peuvent être fabriquées aisément par moulage, et donc produites en grand nombre.

[0066] En variante, les microstructures piliers agencées en zones sont positionnées sur les deux faces opposées du composant diélectrique, de manière à associer deux fonctions de phase, une de chaque côté du composant. Avantageusement, la hauteur des microstructures est alors répartie sur les deux faces opposées, impliquant des microstructures plus faciles à fabriquer. De plus, la deuxième face a un indice effectif qui varie entre un et l'indice du substrat, donc un indice effectif plus faible en moyenne, ce qui permet de réduire les pertes sur la deuxième interface.

[0067] Selon une autre variante, le composant diélectrique diffractif comporte, sur une première face dite face diffractive, des microstructures, par exemple de type piliers, agencées en zones, et sur la face opposée, qui est la première face rencontrée par le front d'onde résultant de la source et qui est une face non diffractive dans ce cas, une structuration avec des microstructures sub-longueur d'onde réalisant une fonction de phase sub-longueur d'onde, permettant une mise en forme du front d'ondes issu de la source. Ainsi, le traitement appliqué sur la face rencontrée en premier par le front d'onde permet de corriger le front d'onde, notamment pour le rendre parfaitement sphérique, avant d'atteindre la face diffractive. Sur la face non diffractive, les microstructures sub-longueur d'onde sont par exemple des piliers de tailles variables ou de taille fixe et de densité variable, réalisant une variation lente d'indice effectif. Les microstructures de la première face ne sont pas agencées en plusieurs zones à variation d'indice effectif comme pour la face diffractive.

[0068] Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, le composant diélectrique formé de microstructures piliers comprend également une adaptation d'impédance, de manière à réduire les pertes dues aux réflexions d'onde incidente aux interfaces entre l'air et le matériau diélectrique artificiel. En effet, de manière connue, pour un matériau diélectrique d'indice $n=2,4$, la perte par réflexion (ou par désadaptation) à chaque interface avec l'air d'indice $n=1$ est égale à 17%.

[0069] La diminution de ces pertes est connue sous le nom de traitement anti-reflets en optique et d'adaptation d'impédance dans le domaine des hyperfréquences.

[0070] Les figures 7 à 10 illustrent divers profils du composant diélectrique avec adaptation d'impédance.

[0071] Dans un premier mode de réalisation illustré sur la figure 7, le composant diélectrique 60 comprend sur une face, qui est la face diffractive, des microstructures principales agencées en zones, en forme de piliers 62, de tailles variables pour obtenir un gradient d'indice comme expliqué ci-dessus. Sur ces piliers et entre ces piliers sont intégrés en saillie de micropiliers 64, qui sont des microstructures sub-longueur d'onde secondaires, de période Λ_1 d'un ordre de grandeur inférieur à la période Λ_s des piliers 62, typiquement $\Lambda_s/10 \leq \Lambda_1 \leq \Lambda_s/2$ et de taille d_2 inférieure à la largeur du pilier 62 de plus petite section. De façon pratique, un exemple d'ordre de grandeur de d_2 est $d_2=d/3$. Les microstructures secondaires sont périodiques et ne sont pas agencées en plusieurs zones, comme les microstructures principales.

[0072] La période Λ_1 et la taille d_2 sont choisies par simulation de manière à diminuer localement l'indice du composant diélectrique au niveau de l'interface avec l'air.

[0073] Dans un deuxième mode de réalisation, illustré sur la figure 8, le composant diélectrique 70 comprend également sur une première face, la face diffractive, des microstructures principales, agencées en zones, en forme de piliers 72, de tailles variables pour obtenir un gradient d'indice comme expliqué ci-dessus.

[0074] Sur ces piliers 72 sont intégrés en saillie des microstructures sub-longueur d'onde secondaires, qui sont des micropiliers 74, de période d'un ordre de grandeur inférieur à la période λ_s des piliers 72. De plus, des micropiliers 76 sont également intégrés sur la deuxième face du composant diélectrique 70, qui est à l'opposé de la première face, permettant ainsi de réaliser une adaptation d'impédance sur les deux interfaces de la lentille et donc de réduire encore plus les pertes par réflexion. Lorsque la deuxième face ne comporte pas de microstructures sub-longueur d'onde principales, les micropiliers 76 ont une période Λ_1 comprise dans la plage plus large, telle que $\Lambda_s/10 \leq \Lambda_1 \leq \Lambda_s$.

[0075] Selon un troisième mode de réalisation, illustré à la figure 9, le composant diélectrique 78 est construit en ajoutant, par rapport au mode de réalisation de la figure 8, une lame diélectrique neutre 80 d'épaisseur e égale à $\lambda_0/2n'$ où λ_0 la longueur d'onde cible et n' est l'indice de réfraction de la lame. La lame diélectrique a un coefficient de transmission de 1 à la longueur d'onde λ_0 , en incidence normale. Avantagusement, les microstructures sub-longueur d'onde du composant diélectrique 78 sont mieux protégées par rapport à l'environnement extérieur, cette lame placée en sortie du composant diélectrique étant utilisable comme une lame protectrice contre les poussières et la pluie par exemple.

[0076] La lame diélectrique 80 est positionnable dans la partie où le faisceau est faiblement divergent, et donc pour un système très ouvert (F/D petit, $F/D \leq 1$ par exemple) derrière le composant diélectrique 78, c'est-à-dire sur le côté du composant diélectrique 78 qui n'est pas en regard de la source. Un exemple serait une lame de Rexolite de 2,25mm d'épaisseur pour garantir une transmission de la lame supérieure à 99,5% entre 40,5GHz et 43,5GHz.

[0077] Selon un quatrième mode de réalisation, illustré à la figure 10, le composant diélectrique 82 est formé d'un empilement de géométries de piliers sub-longueur d'onde en plusieurs couches. Sur une couche de microstructures principales 84, qui sont des piliers dans cet exemple de réalisation, sont ajoutées deux couches de microstructures sub-longueur d'onde secondaires, qui sont formées de micropiliers 86 et 88 de tailles respectives de plus en plus fines. Ainsi, la largeur des micropiliers 86 est inférieure à la largeur des piliers 84, et la largeur des micropiliers 88 est inférieure à la largeur des micropiliers 86. Ce mode de réalisation permet d'améliorer l'adaptation d'impédance, c'est-à-dire la réduction de pertes par réflexion, en permettant une adaptation d'indice progressive entre l'air et le matériau. De plus, un tel composant est plus aisé à fabriquer qu'un composant ayant une seule couche antireflet formée d'une pluralité de micropiliers très fins. L'exemple de la figure 10 comporte deux couches de microstructures secondaires, mais un nombre supérieur de couches est réalisé dans un mode alternatif.

[0078] Dans un autre mode de réalisation, une antenne lentille selon l'invention comprend un système diélectrique constitué d'une matrice, carrée ou plus généralement rectangulaire, de composants diélectriques diffractifs comprenant des microstructures sub-longueur d'onde tels que décrits ci-dessus. La figure 11 illustre un tel système diélectrique 90 formé d'une matrice carrée 2x2 de quatre composants 92, 94, 96 et 98.

[0079] Chacun des composants est formé de zones ou anneaux concentriques z_1 , z_2 , z_3 et z_4 , chaque zone étant composée de microstructures sub-longueur d'onde, par exemple des piliers, comme décrit ci-dessus. La matrice proposée a pour avantage de ne pas présenter de recouvrement d'un composant sur l'autre qui la compose, tout en assurant l'utilisation de l'ensemble de la zone utile (pas de zone morte dans la matrice) : l'ensemble du faisceau d'onde arrivant sur la matrice est transformé par la matrice, il n'y a pas de zone entre les composants de la matrice qui ne contribue pas à la collimation du faisceau.

[0080] L'agencement sous forme de matrice $p \times q$ permet de miniaturiser plus le système diélectrique, car pour obtenir une ouverture numérique donnée, la distance focale et donc le diamètre de chaque lentille de la matrice est divisé par

la dimension p de la matrice dans une direction et la dimension q de la matrice dans l'autre direction.

[0081] Les figures 12 à 14 illustrent d'autres fonctionnalités utiles pour les antennes dans le domaine hyperfréquence réalisables avec des systèmes diélectriques diffractifs tels que décrits ci-dessus. Ces fonctionnalités permettent par exemple de diriger le faisceau dans une direction voulue, ou de couvrir de multiples directions, et/ou pourraient être combinées à une matrice de sources pour réduire l'épaisseur de l'antenne, pour obtenir des liaisons point vers multipoints. La fonctionnalité point vers multipoints est implémentée dans un noeud d'un réseau capillaire par exemple.

[0082] La figure 12 illustre le défléchissement des ondes électromagnétiques hyperfréquence par l'utilisation d'un composant diélectrique qui est une lentille hors d'axe L formée de microstructures sub-longueur d'onde. Les ondes hyperfréquence proviennent de la source S. La lentille L défléchit les rayons de la source pour obtenir un unique faisceau F1.

[0083] La figure 13 illustre une lentille L' formée de microstructures sub-longueur d'onde permettant de générer deux faisceaux F1, F2 à partir d'une source unique S, avec des répartitions d'énergie identiques ou différentes.

[0084] La figure 14 illustre une réalisation avec une pluralité de sources dans un même plan, S1, S2, qui génèrent des faisceaux d'ondes vers un système diélectrique composé d'une matrice de composants diélectriques L1, L2, permettant d'obtenir deux faisceaux d'ondes F1, F2.

[0085] Ainsi, on comprendra que le terme mettre en forme un front d'onde inclut les divers types de mise en forme d'un front d'onde décrits ci-dessus en référence aux figures 12 à 14, tels que le défléchissement d'un faisceau d'ondes et la séparation d'un faisceau d'ondes en deux ou plusieurs faisceaux d'ondes.

[0086] Selon une variante non représentée dans les figures, plusieurs composants diélectriques diffractifs tels que décrits sont associés, par exemple les uns derrière les autres avec des couches d'air les séparant, dans une antenne lentille selon l'invention.

[0087] On note également que les composants diélectriques à microstructures sub-longueur d'onde sont également aptes à obtenir un meilleur rendement de focalisation en large bande (longueur d'onde nominale $\pm 20\%$) que les composants classiques à profil en échellette.

[0088] D'une manière générale, un des avantages des composants diélectriques selon l'invention est leur fabrication, qui peut être effectuée aisément pour des séries de composants et à bas coût, du fait de leur dimensionnement. Il est possible de fabriquer un moule utilisable pour une fabrication en série, et donc chaque composant diélectrique diffractif est fabriqué par moulage/démoulage, en une seule étape de fabrication.

[0089] Suivant le domaine de fréquence et la taille des antennes, il existe différents types de technologie de réalisation de lentille en fonction des matériaux.

[0090] Par exemple, les matériaux sont sélectionnés parmi les matériaux suivants, pour lesquels on indique la permittivité ϵ et l'indice de réfraction n : Rexolite 1422 ($\epsilon=2.53$, $n=1.59$), Plexiglas $\epsilon=n=1.6$, teflon (PTFE - $\epsilon=2.07$, $n=1.43$), Pyrex 7740 ($\epsilon=4.6$, $n=2.14$), Rogers RO3006 ($\epsilon=6.15$, $n=2.48$), Rogers R0301 0 ($\epsilon=10.2$, $n=3.19$), Alumine Al_2O_3 ($\epsilon=9.9$, $n=3.14$), Titanate de Barium SH110 ($\epsilon=110$, $n=10.5$).

[0091] Diverses techniques de fabrication sont envisageables, comme par exemple :

- l'usinage mécanique ;
- le moulage ;
- le frittage (ou le cofrittage à basse température, LTCC) : dans un matériau composite à base de céramique, on fabrique la forme de base, puis on presse et on cuit à haute température (e.g. 900°C), ce qui permet d'enlever le polymère de la forme de base ;
- les techniques d'empilement de céramique ou de circuits imprimés ;
- l'usinage laser.

[0092] Le point commun de ces modes de fabrication est la facilité de réalisation de composants diélectriques diffractifs à microstructures sub-longueur d'onde pour une antenne lentille en grand nombre et à faible coût de fabrication.

Revendications

1. Antenne lentille comportant au moins un composant diélectrique diffractif apte à mettre en forme un front d'onde hyperfréquence ayant une longueur d'onde comprise dans une plage de 1 millimètre à 50 centimètres, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte une pluralité de microstructures principales (28, 31, 62, 72) formées dans un matériau substrat d'indice de réfraction substrat (n_s) de manière à former un matériau artificiel d'indice de réfraction effectif (n), chaque microstructure principale ayant une taille (d) inférieure à une longueur d'onde cible (λ_0) prise dans ladite plage de longueurs d'onde, lesdites microstructures principales étant agencées par zones, de manière à faire varier un taux de remplissage surfacique, l'indice de réfraction effectif (n) étant fonction dudit taux de remplissage surfacique, l'agencement étant tel que l'indice de réfraction effectif (n) varie à l'intérieur

d'une dite zone dudit composant diélectrique diffractif de manière quasi-monotone entre une valeur minimale et une valeur maximale inférieure ou égale à l'indice de réfraction substrat (n_s).

- 5 2. Antenne lentille selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la densité de microstructures principales par unité de surface varie dans une zone dudit composant diélectrique, la taille (d_1) de chaque microstructure principale étant fixée.
- 10 3. Antenne lentille selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la taille (d) des dites microstructures principales est variable pour une zone dudit composant diélectrique.
- 15 4. Antenne lentille selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, **caractérisée en ce que** les dites microstructures principales sont à section carrée ou circulaire, de largeur égale à K fois la longueur d'onde cible (λ_0) prise dans ladite plage de longueurs d'onde, K étant compris entre 1/50 et 1/1,5.
- 20 5. Antenne lentille selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** les dites microstructures principales sont des piliers formés en saillie sur ledit matériau substrat et/ou des trous formés dans ledit matériau substrat.
- 25 6. Antenne lentille selon la revendication 5, les dites microstructures principales étant des piliers formés en saillie sur ledit matériau substrat, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte en outre, en plus des dites microstructures principales (62, 72, 84), au moins une couche comportant des microstructures secondaires (64, 74, 86, 88) de taille inférieure à la taille des dites microstructures principales, les dites microstructures secondaires étant adaptées à diminuer les réflexions d'onde hyperfréquence incidente.
- 30 7. Antenne lentille selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte plusieurs couches de microstructures secondaires empilées, chaque couche de microstructures secondaires comprenant des piliers (86, 88) formés en saillie sur les dites microstructures principales (84) ou secondaires (86) de la couche précédant ladite couche de microstructures secondaires.
- 35 8. Antenne lentille selon l'une des revendications 6 ou 7, dans laquelle les dites microstructures principales sont positionnées sur une première face dudit composant diélectrique diffractif, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte une couche de microstructures secondaires positionnée sur une deuxième face dudit composant diélectrique diffractif, opposée à ladite première face.
- 40 9. Antenne lentille selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, **caractérisée en ce que** les dites microstructures principales et/ou les dites microstructures secondaires ont une forme conique.
- 45 10. Antenne lentille selon l'une des revendications 7 ou 8, dans laquelle les dites microstructures principales sont positionnées sur une première face dudit composant diélectrique diffractif, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte une couche non diffractive de microstructures sub-longueur d'onde, réalisant une fonction de phase associée, sur une deuxième face dudit composant diélectrique diffractif, opposée à ladite première face.
- 50 11. Antenne lentille selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif comporte en outre une lame diélectrique neutre (80) de protection d'épaisseur fonction de ladite longueur d'onde cible.
- 55 12. Antenne lentille selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** ledit composant diélectrique diffractif est une matrice rectangulaire de dits composants diélectriques diffractifs de section carrée ou rectangulaire.

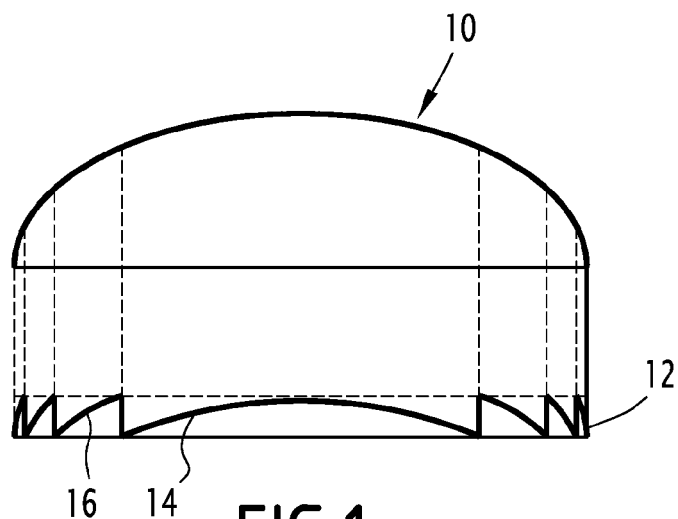
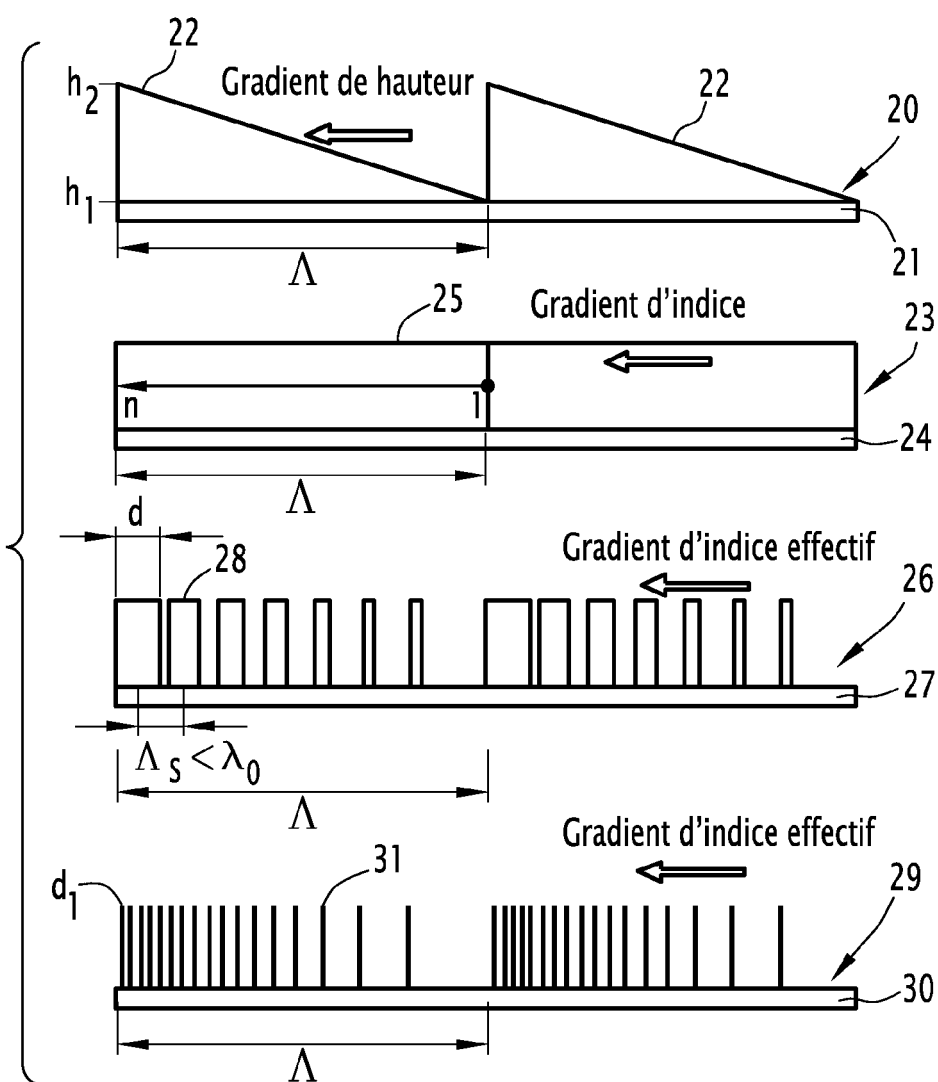


FIG.1

FIG.2



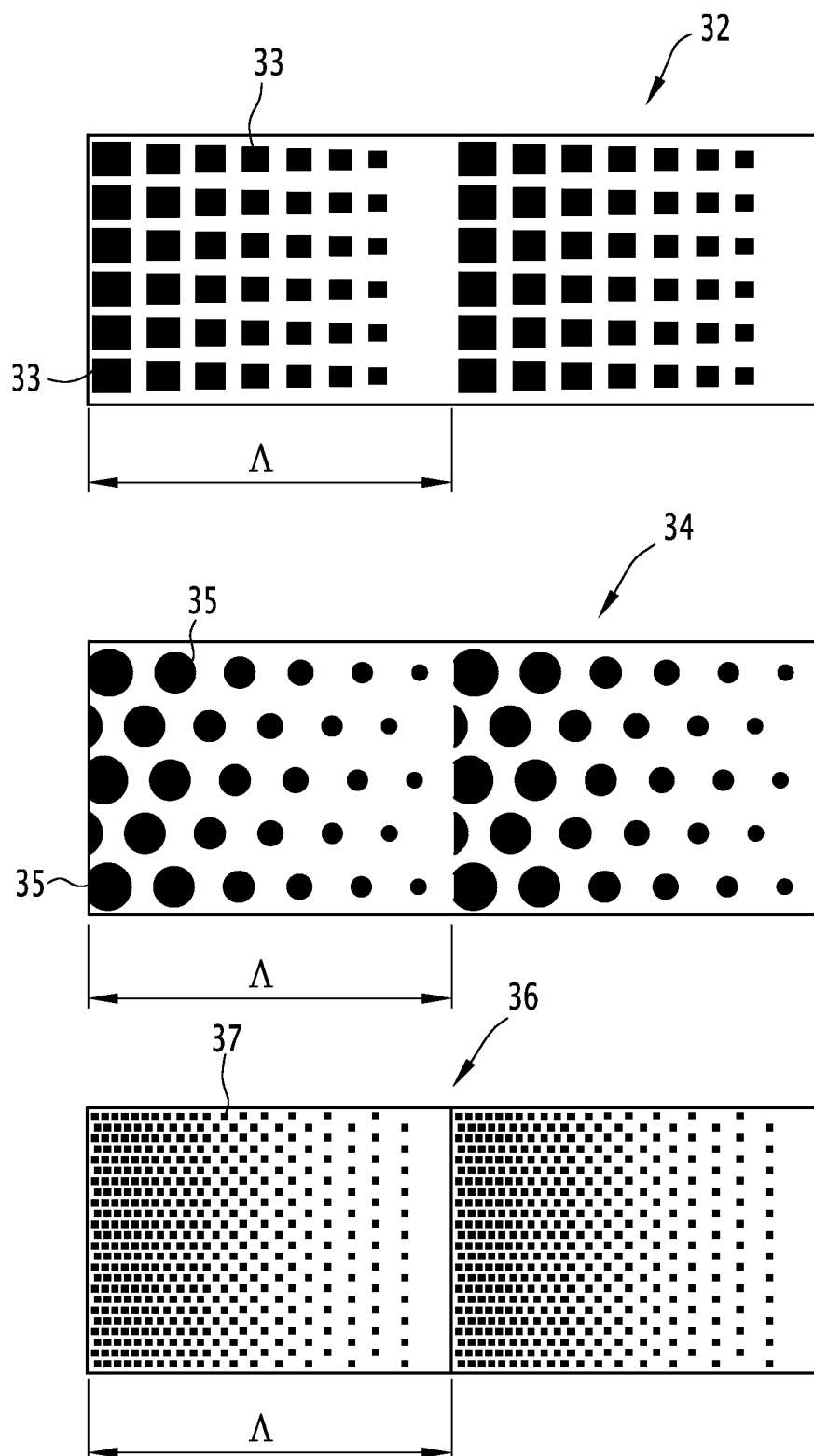
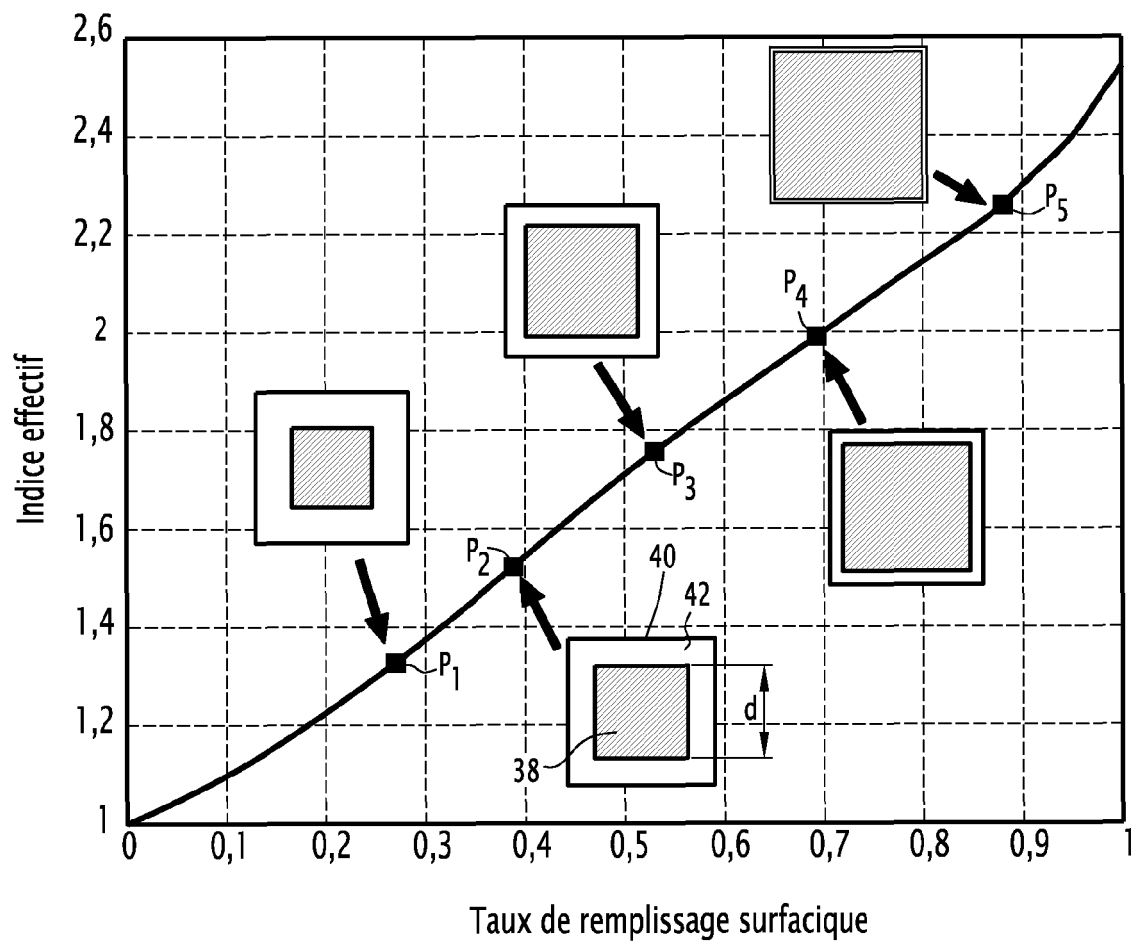
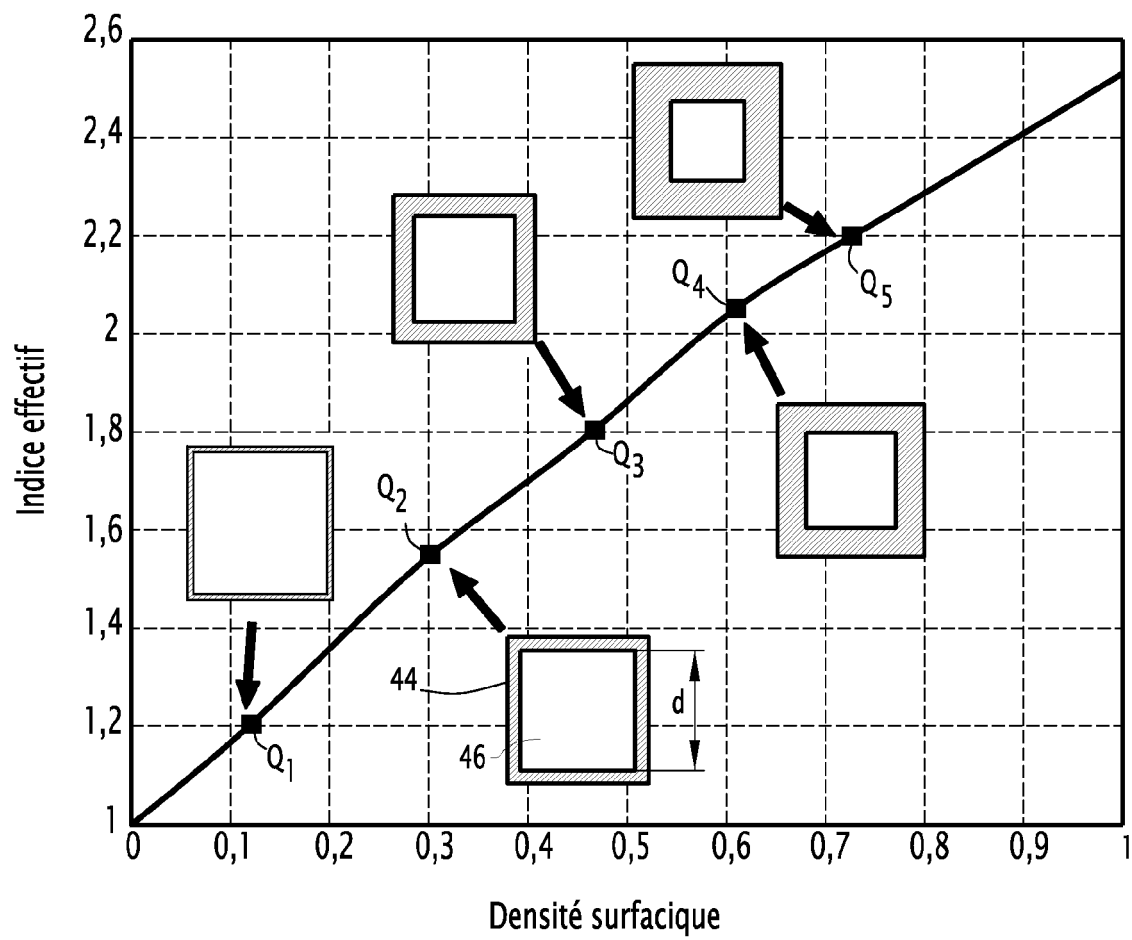
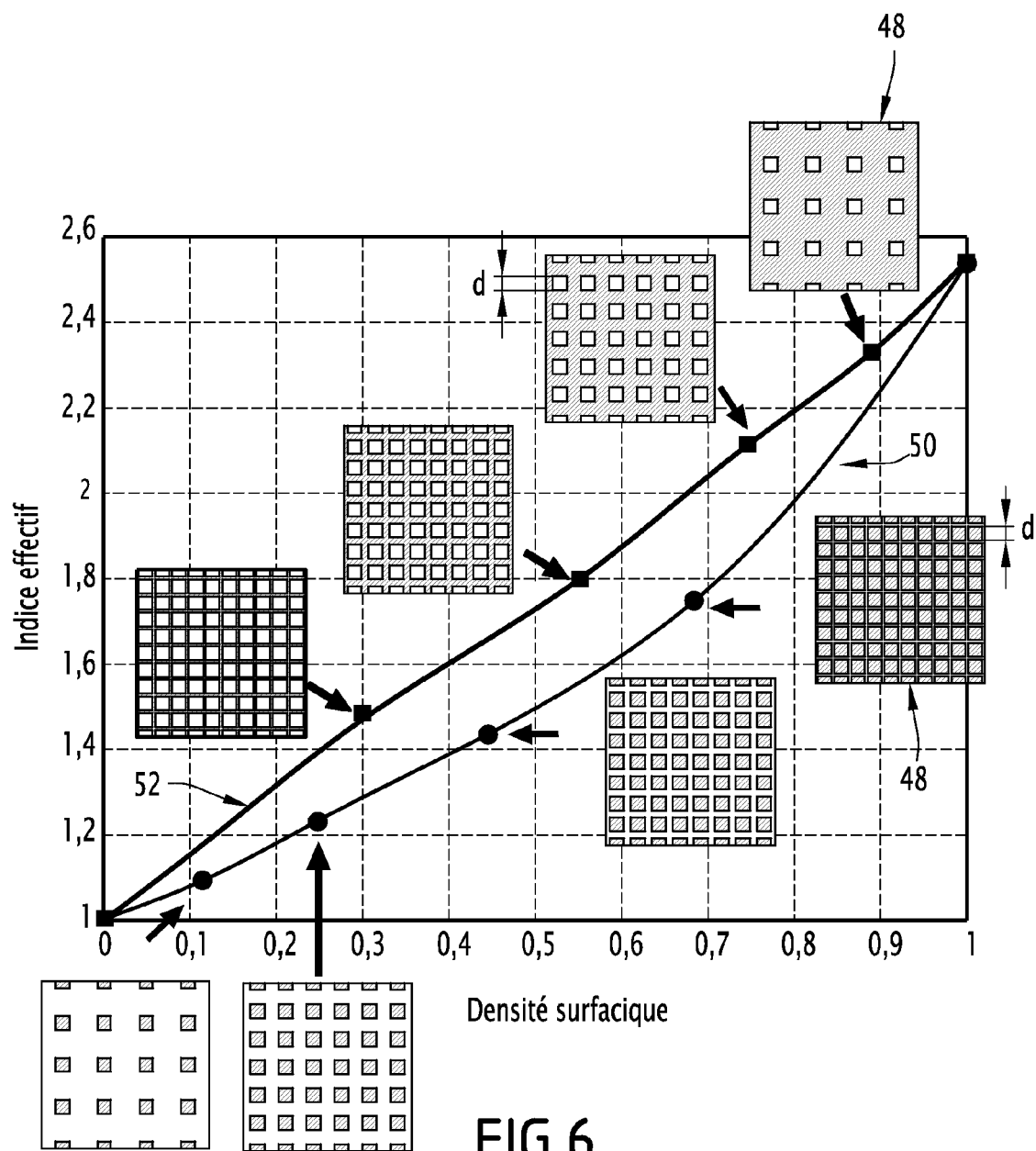


FIG.3

FIG.4

FIG.5



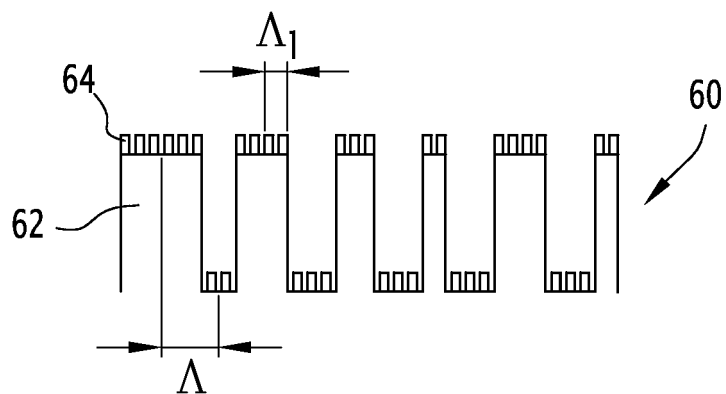


FIG. 7

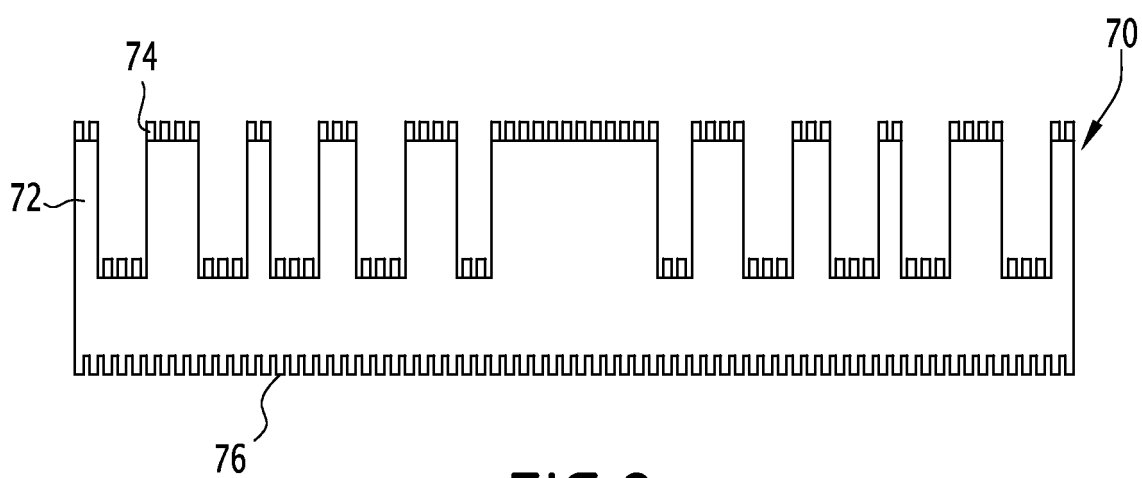


FIG. 8

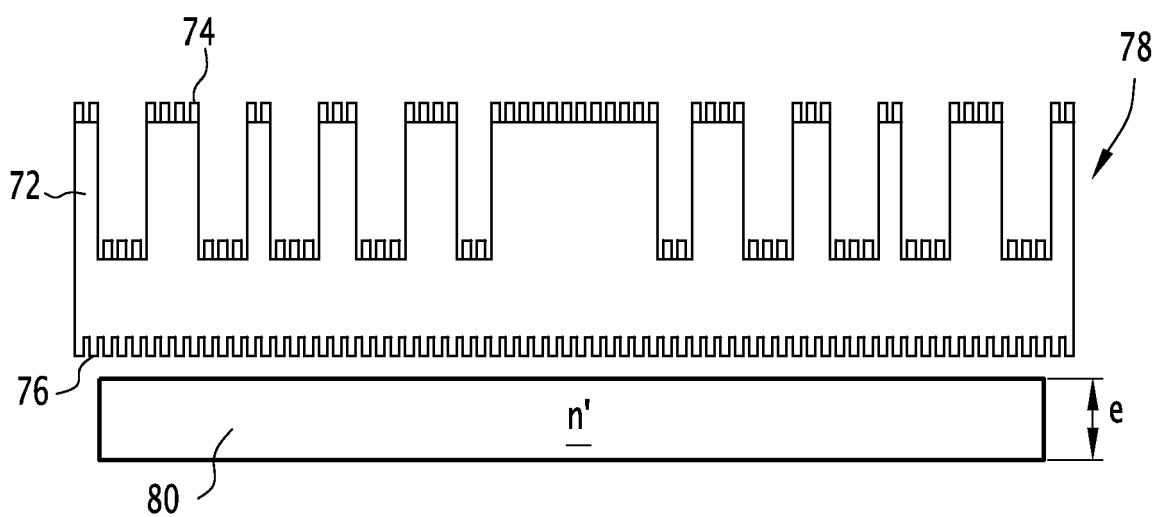


FIG. 9

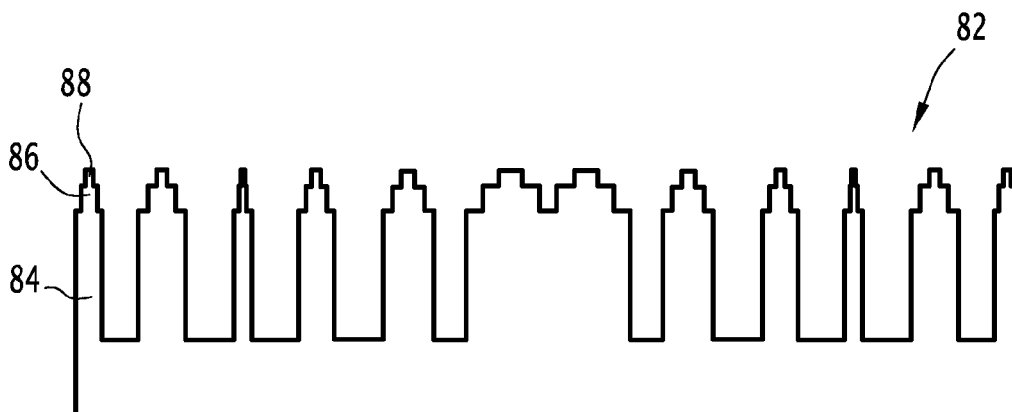


FIG.10

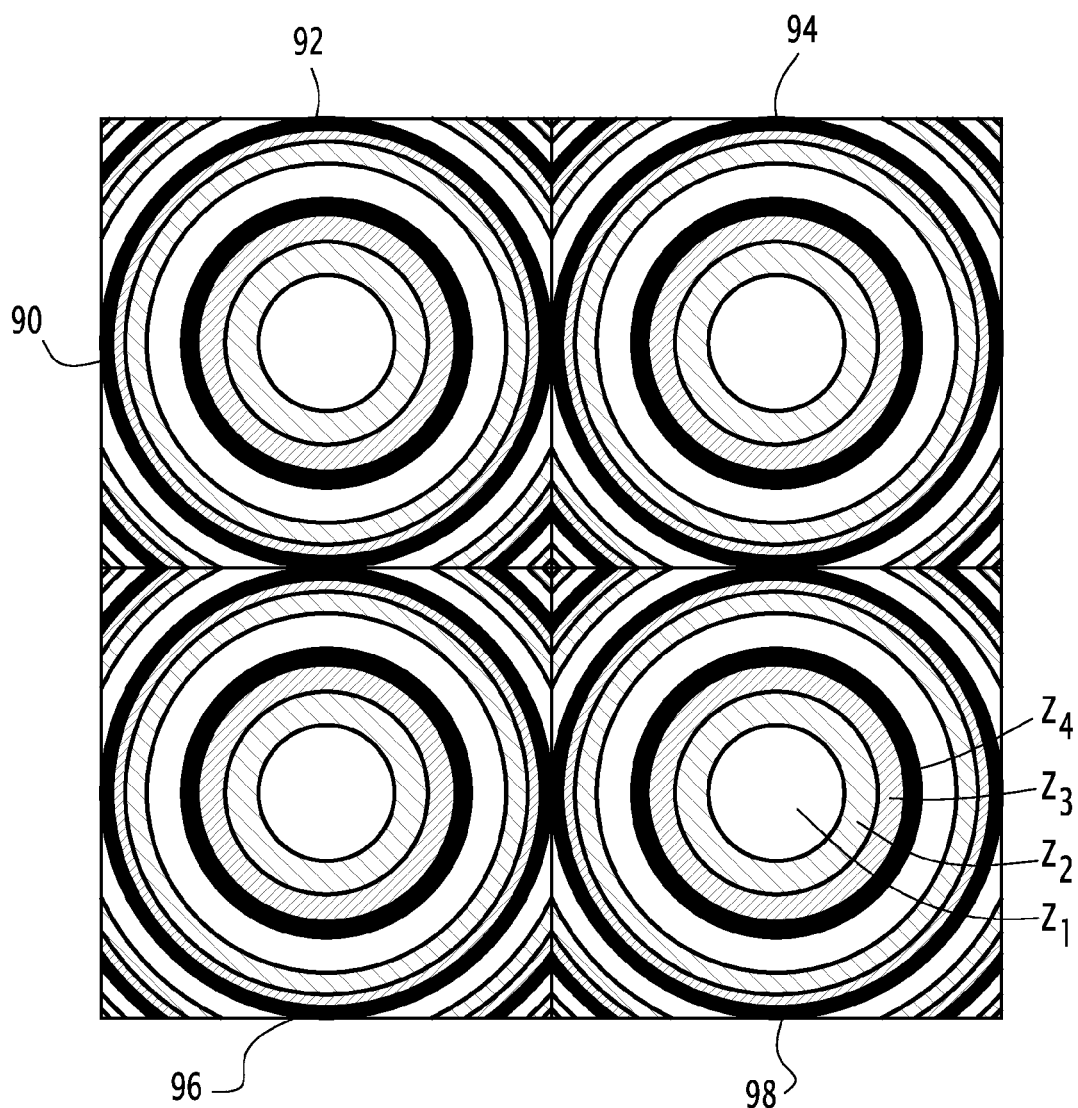


FIG.11

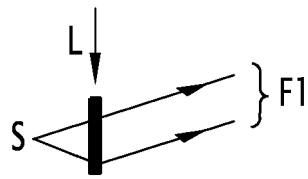


FIG. 12

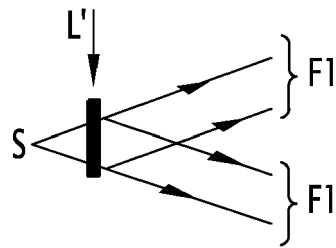


FIG. 13

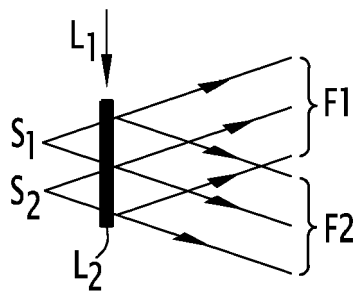


FIG. 14



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 12 18 6157

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	WO 00/25387 A1 (GRADIENT TECHNOLOGIES LLC [US]; SABET KAZEM F [US]; SARABANDI KAMAL [U] 4 mai 2000 (2000-05-04)	1,2,4,5	INV. H01Q15/08
A	* page 14, ligne 20 - page 15, ligne 15; figures 8a, 8b *	6-12	ADD. H01Q19/06
X	US 2010/066639 A1 (NGYUEN VINH N [US] ET AL) 18 mars 2010 (2010-03-18)	1,3,4	
A	* alinéas [0019], [0045], [0053]; figures 1a, 1b, 1c *	6-12	
A	SATO K ET AL: "A PLATE LUNEBERG LENS WITH THE PERMITTIVITY DISTRIBUTION CONTROLLED BY HOLE DENSITY", ELECTRONICS & COMMUNICATIONS IN JAPAN, PART I - COMMUNICATIONS, WILEY, HOBOKEN, NJ, US, vol. 85, no. 9, PART 01, 1 janvier 2002 (2002-01-01), pages 1-12, XP001123461, ISSN: 8756-6621, DOI: 10.1002/ECJA.1120 * abrégé; figures 3,4 *	1-12	
A	MORITA AND S COHN T: "Microwave lens matching by simulated quarter-wave transformers", IRE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. AP-4, no. 1, 1 janvier 1956 (1956-01-01), pages 33-39, XP002201816, * figure 1 *	5	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		22 janvier 2013	Marot-Lassauzaie, J
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 12 18 6157

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.

22-01-2013

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0025387	A1	04-05-2000	AU 1213500 A	15-05-2000
			US 6081239 A	27-06-2000
			US 2002057220 A1	16-05-2002
			WO 0025387 A1	04-05-2000

US 2010066639	A1	18-03-2010	AUCUN	

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Littérature non-brevet citée dans la description

- **A. PETOSA ; A. LTTIPIBOON ; S. THIRAKOUNE.** Investigation on arrays of perforated dielectric Fresnel lenses. *IEE Proc. on Microwave Antenna Propagation*, Juin 2006, vol. 153 (3) **[0010]**
- **A. PETOSA ; A. LTTIPIBOON.** Design and performance of a perforated dielectric Fresnel lens. *IEE Proceedings of Microwave Antennas Propagation*, 2003, vol. 150 (5), 309-314 **[0011]**