



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**04.01.2017 Bulletin 2017/01**

(51) Int Cl.:  
**H01Q 25/00 (2006.01) H01Q 3/26 (2006.01)**  
**H01Q 21/00 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **16176732.2**

(22) Date de dépôt: **28.06.2016**

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

- **TUBAU, Ségolène**  
**31000 TOULOUSE (FR)**
- **FRAYSSE, Jean-Philippe**  
**31200 TOULOUSE (FR)**
- **GIRARD, Etienne**  
**31830 PLAISANCE DU TOUCH (FR)**
- **ETTORRE, Mauro**  
**35000 RENNES (FR)**
- **SAULEAU, Ronan**  
**35690 ACIGNE (FR)**
- **FONSECA, Nelson**  
**2202 NOORDWIJK (NL)**

(30) Priorité: **03.07.2015 FR 1501415**

(71) Demandeurs:

- **Thales**  
**92400 Courbevoie (FR)**
- **Université de Rennes 1**  
**35065 Rennes Cedex (FR)**
- **Centre National de la Recherche Scientifique**  
**75016 Paris (FR)**

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

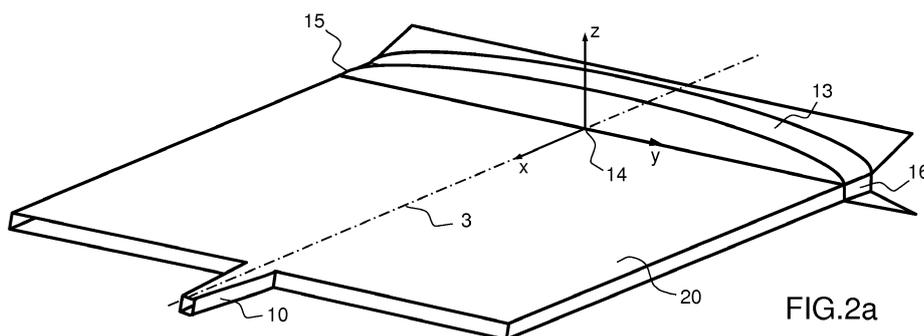
(72) Inventeurs:

- **LEGAY, Hervé**  
**31830 PLAISANCE DU TOUCH (FR)**

(54) **FORMATEUR DE FAISCEAUX QUASI-OPTIQUE A LENTILLE ET ANTENNE PLANE COMPORTANT UN TEL FORMATEUR DE FAISCEAUX**

(57) Le formateur de faisceaux comprend une ligne de transmission alimentée par au moins une source d'alimentation d'entrée (10), la ligne de transmission (20) comportant deux plaques métalliques empilées s'étendant, selon deux directions longitudinale X et transversale Y. La ligne de transmission (20) comporte en outre au moins une excroissance (13) s'étendant selon les directions X, Y, et selon une direction Z orthogonale au plan XY, l'excroissance (13) comportant un insert métal-

lique (21) s'étendant selon les directions X et Y et s'étendant en hauteur selon la direction Z, l'insert (21) comportant une base (21 b) solidaire de l'une des deux plaques métalliques et une extrémité libre (21 a) et ayant un contour de longueur variable entre les deux bords latéraux de la ligne de transmission (20). Dans l'excroissance (13), la ligne de transmission (20) est accolée à l'insert (21) et forme, dans la direction Z, une circonvolution autour de l'insert (21).



## Description

**[0001]** La présente invention concerne un formateur de faisceaux quasi-optique à lentille et une antenne plane comportant un tel formateur de faisceaux. Elle s'applique à toute antenne multifaisceaux de faible épaisseur et plus particulièrement au domaine des applications spatiales telles que les télécommunications par satellite, pour des antennes destinées à être montées à bord des satellites, ou pour des antennes destinées à être utilisées au sol sur des terminaux fixes ou mobiles.

**[0002]** Pour faciliter la description, le mode d'opération des formateurs de faisceaux est supposé en transmission, mais une description similaire pourrait être formulée en réception, les formateurs de faisceaux considérés étant des éléments passifs donc réciproques.

**[0003]** Les formateurs de faisceaux sont utilisés dans les antennes multifaisceaux pour élaborer des faisceaux de sortie à partir de signaux radiofréquence d'entrée. De manière connue, il existe des formateurs de faisceaux quasi-optiques planaires utilisant une propagation électromagnétique des ondes radiofréquences entre deux plaques métalliques parallèles (en anglais : parallel plates), selon un mode de propagation en général TEM (en anglais : Transverse Electric Magnétique) pour lequel les champs électrique et magnétique sont orthogonaux à la direction de propagation des ondes radiofréquences. Le mode TEM se propage dans le guide à plaques parallèles à la même vitesse que dans le vide, ce qui rend ledit guide non dispersif pour ce mode TEM. La focalisation et la collimation des faisceaux peuvent être réalisées par une lentille contrainte, comme décrit par exemple dans les documents US 3170158 et US 5936588 qui illustrent le cas d'une lentille de Rotman, ou alternativement par un réflecteur comme décrit par exemple dans les documents FR 2944153 et FR 2 986377 pour des formateurs de faisceaux Pillbox, la lentille contrainte, ou respectivement le réflecteur, étant insérée sur le trajet de propagation des ondes radiofréquences, entre les deux plaques métalliques parallèles. La lentille contrainte, ou le réflecteur, sert essentiellement de correcteur de phase et permet, par transmission dans le cas d'une lentille, ou après réflexion dans le cas d'un réflecteur, de convertir des fronts d'ondes cylindriques en des fronts d'ondes plans.

**[0004]** Un formateur de faisceaux Pillbox peut, en sortie, être connecté à un réseau linéaire de plusieurs éléments rayonnants individuels alignés côte à côte. En alternative à l'utilisation de plusieurs éléments rayonnants individuels, il est également possible de connecter l'ouverture linéaire de sortie, située entre les deux plaques parallèles, à un unique cornet linéaire de sortie qui réalise la transition entre les plaques parallèles et l'espace libre où sont rayonnés les faisceaux. Dans le cas de l'utilisation d'un unique cornet linéaire, l'ouverture rayonnante en sortie du formateur de faisceaux Pillbox est linéaire et s'étend continuellement sur toute la largeur transversale des plaques parallèles. Ces ouvertures li-

néaires rayonnantes, qui ne sont pas spatialement quantifiées, ont des performances très supérieures par rapport aux réseaux linéaires de plusieurs éléments rayonnants, pour les faisceaux dépointés par rapport à l'axe focal, en raison de l'absence de quantification, et présentent une bande passante très supérieure en raison de l'absence de modes de propagation résonants. Cependant, un formateur de faisceaux Pillbox présente l'inconvénient d'engendrer des faisceaux dégradés lorsque les sources d'excitation sont éloignées du foyer du réflecteur intégré entre les plaques parallèles.

**[0005]** Dans les formateurs de faisceaux de type lentilles contraintes, telles que les lentilles de Ruze ou de Rotman, les ondes radiofréquences sont contraintes, c'est-à-dire guidées, selon un chemin de propagation ne correspondant pas à un chemin optique naturel, en espace libre, tel que défini par les lois de Snell-Descartes. Ces formateurs de faisceaux peuvent être synthétisés de façon à présenter trois ou quatre foyers différents, ce qui permet d'obtenir moins d'aberrations et des faisceaux de meilleure qualité. Cependant pour maîtriser les retards des ondes radiofréquences se propageant vers les bords latéraux de la lentille par rapport à celles se propageant selon une direction axiale, vers le centre de la lentille, ces formateurs de faisceaux nécessitent de prélever les ondes radiofréquences le long du contour interne de la lentille par un réseau de différentes lignes de transmission à retard. Ces lignes de transmission à retard sont réparties sur ledit contour interne de la lentille et connectées à des éléments rayonnants correspondants dont les ports définissent le contour externe de la lentille. Le problème est que le prélèvement des ondes radiofréquences perturbe le champ électromagnétique qui est échantillonné spatialement et induit des pertes. Par ailleurs, pour que le formateur de faisceaux à lentille contrainte soit planaire et que la lentille soit complètement intégrée entre les deux plaques parallèles, il est nécessaire d'ajouter, sur le trajet des ondes radiofréquences, des lignes de transmission à retard, par exemple des guides d'onde rectangulaires, qui induisent une dispersion en fréquence et limitent la bande passante du formateur de faisceaux. Pour éviter la dispersion en fréquence et augmenter la bande passante, dans certaines lentilles de Rotman, les lignes de transmission utilisées sont des lignes coaxiales, mais cela nécessite l'aménagement d'une transition entre les lignes coaxiales et l'ouverture rayonnante linéaire, et la structure du formateur de faisceaux n'est alors pas complètement intégrée. Il n'existe actuellement pas de solution de formateur de faisceaux de type lentille contrainte permettant de s'affranchir de l'échantillonnage des ondes radiofréquences.

**[0006]** Le but de l'invention est de réaliser un nouveau formateur de faisceaux quasi-optique à lentille permettant de convertir des fronts d'onde cylindriques en des fronts d'ondes plans par l'application de retards différentiels entre le centre et les bords latéraux de la lentille, ne présentant pas les inconvénients des formateurs de faisceaux à lentille contrainte connus, permettant de s'aff-

franchir de l'échantillonnage spatial des ondes radiofréquences, et permettant l'utilisation d'un unique cornet linéaire de sortie.

**[0007]** Pour cela, selon l'invention, le formateur de faisceau quasi-optique à lentille comprend une ligne de transmission radiofréquence alimentée à une première extrémité, par au moins une source d'alimentation d'entrée, la ligne de transmission comportant deux plaques métalliques empilées, espacées l'une de l'autre et s'étendant, selon deux directions longitudinale X et transversale Y. La ligne de transmission comporte en outre au moins une excroissance s'étendant selon les directions X, Y, et selon une direction Z orthogonale au plan XY, l'excroissance comportant un insert métallique s'étendant selon la direction X, selon la direction transversale Y entre deux bords latéraux de la lentille, et s'étendant en hauteur selon la direction Z. L'insert métallique comporte une base solidaire de l'une des deux plaques métalliques, au moins une extrémité libre et a, en section longitudinale, un contour de longueur variable entre les deux bords latéraux de la ligne de transmission. Dans l'excroissance, la ligne de transmission est accolée à l'insert métallique et forme, dans la direction Z, une circonvolution autour de l'insert métallique.

**[0008]** Avantageusement, l'extrémité libre de l'insert peut être repliée parallèlement au plan XY.

**[0009]** Avantageusement, l'extrémité libre de l'insert peut être doublement repliée en forme de T, parallèlement au plan XY.

**[0010]** Avantageusement, l'excroissance et l'insert métallique peuvent avoir un profil de forme curviligne selon les directions X et Y.

**[0011]** Avantageusement, l'excroissance peut avoir un profil d'entrée et un profil de sortie de formes différentes.

**[0012]** Avantageusement, l'excroissance peut comporter des stubs d'adaptation.

**[0013]** Avantageusement, dans l'excroissance, les plaques métalliques de la ligne de transmission peuvent avoir une face interne comportant des transitions en marches d'escalier.

**[0014]** Avantageusement, dans le cas d'une lentille convergente, la longueur du contour de l'insert métallique peut être progressivement décroissante du centre vers les deux bords latéraux de la ligne de transmission.

**[0015]** Alternativement, dans le cas d'une lentille divergente, la longueur du contour, en section longitudinale, de l'insert métallique peut être progressivement croissante du centre vers les deux bords latéraux de la ligne de transmission.

**[0016]** Avantageusement, l'insert métallique peut comporter un profil symétrique par rapport à l'axe longitudinal médian de la ligne de transmission.

**[0017]** Avantageusement, la lentille peut comporter plusieurs sources d'alimentation d'entrée distribuées autour d'un bord d'entrée, selon une courbe focale.

**[0018]** Avantageusement, le formateur de faisceaux peut comporter plusieurs excroissances aptes à réaliser des retards progressifs, les excroissances étant répar-

ties successivement le long de l'axe longitudinal X de la ligne de transmission, à différentes distances des sources d'alimentation d'entrée, chaque excroissance comportant un insert métallique dont la longueur du contour, en section longitudinale, varie entre les deux bords latéraux de la ligne de transmission.

**[0019]** Avantageusement, la longueur du contour des inserts métalliques, dans les différentes excroissances successives, peut varier progressivement d'une excroissance à une autre excroissance adjacente, selon la direction longitudinale X de la ligne de transmission.

**[0020]** Avantageusement, la ligne de transmission peut être repliée sur elle-même selon la direction X, selon une pliure de forme droite.

**[0021]** Avantageusement, le formateur de faisceaux peut comporter en outre au moins un premier mur réflecteur s'étendant transversalement dans la ligne de transmission, et orthogonalement aux plaques métalliques selon la direction Z, le premier mur réflecteur étant apte à replier la ligne de transmission, sur elle-même, selon la direction X, selon une pliure de forme curviligne.

**[0022]** Avantageusement, le formateur de faisceaux quasi-optique à lentille peut comporter deux couches empilées et fermées à une extrémité par le premier mur réflecteur et deux excroissances opposées aménagées autour d'un insert métallique s'étendant dans les deux couches empilées, le premier mur réflecteur étant intégré aux deux excroissances opposées.

**[0023]** Avantageusement, le formateur de faisceaux quasi-optique à lentille peut comporter en outre une troisième couche empilée sur la deuxième couche et un deuxième mur réflecteur s'étendant dans les deuxième et troisième couches.

**[0024]** Avantageusement, le formateur de faisceaux quasi-optique à lentille peut comporter en outre au moins une troisième excroissance aménagée dans la deuxième couche en aval du premier mur réflecteur.

**[0025]** L'invention concerne aussi une antenne plane comportant au moins un tel formateur de faisceaux et comportant en outre un cornet rayonnant linéaire connecté en sortie du formateur de faisceaux.

**[0026]** L'invention concerne enfin une antenne plane comportant un tel formateur de faisceaux, la ligne de transmission étant repliée sur elle-même et comportant une ouverture linéaire de sortie reliée à un réseau de plusieurs cornets rayonnants.

**[0027]** D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figure 1 : un schéma illustrant le principe de fonctionnement d'un formateur de faisceaux à lentille à retards continus et progressifs, selon l'invention ;
- figure 2a : un schéma en perspective d'un exemple de formateur de faisceaux à lentille à retards continus et progressifs comportant une excroissance à

- profil plan, selon l'invention ;
- figure 2b : un schéma éclaté en perspective de l'excroissance de la figure 2a, selon l'invention ;
- figure 3a : un schéma éclaté, en perspective, d'un exemple d'excroissance dans laquelle l'insert a une hauteur variable selon la direction Z et une épaisseur variable selon la direction X, selon une variante de l'invention ;
- figure 3b : deux schémas, en coupe longitudinale, respectivement au centre de la lentille et sur les bords latéraux de la lentille, de l'excroissance correspondant à l'exemple de la figure 3a, selon l'invention ;
- figure 3c : un schéma en perspective du formateur de faisceaux correspondant aux figures 3a et 3b, selon l'invention ;
- figures 4a, 4b, 4c : trois schémas, en coupes longitudinales, d'une excroissance comportant un insert métallique dont la section est respectivement en forme de I, en forme de L, en forme de T, la paroi interne de l'excroissance comportant des changements de direction à angles droits, selon des premiers exemples de réalisation de l'invention ;
- figure 4d : une vue de dessus de l'excroissance dans le cas où l'insert est doublement replié en forme de T, selon un mode de réalisation de l'invention ;
- figures 5a, 5b, 5c : trois schémas, en coupes longitudinales, d'une excroissance comportant un insert métallique respectivement en forme de I, en forme de L, en forme de T, la paroi interne de l'excroissance comportant des changements de direction en marches d'escalier, selon des deuxièmes exemples de réalisation de l'invention ;
- figures 6 a et 6b : deux schémas, respectivement en perspective et en vue de dessus, d'un exemple d'antenne multifaisceaux comportant un formateur de faisceaux à lentille muni d'une excroissance à profil curviligne, selon l'invention ;
- figure 7 : un schéma en perspective d'un exemple d'antenne multifaisceaux comportant un formateur de faisceaux à lentille muni de deux excroissances, selon l'invention ;
- figures 8a et 8b : deux schémas, respectivement en perspective et en coupe longitudinale, d'un exemple d'antenne multifaisceaux comportant un formateur de faisceaux à lentille à retards progressifs, muni de plusieurs excroissances à profil curviligne et à gradient de retards, selon l'invention ;
- figure 9 : un schéma en perspective, d'un exemple d'antenne multifaisceaux comportant un formateur de faisceaux à lentille à retards progressifs, muni d'une ligne de transmission repliée sur elle-même, selon l'invention ;
- figure 10 : un schéma en perspective, d'un exemple d'antenne multifaisceaux comportant un formateur de faisceaux à lentille à retards progressifs, muni d'un mur réflecteur, selon l'invention ;
- figures 11 et 12 : deux schémas, en coupes longitu-

dinales, d'un formateur de faisceaux à lentille à retards progressifs, muni d'un mur réflecteur, selon l'invention ;

- figure 13 : un schéma, en coupe longitudinale, d'un formateur de faisceaux à lentille à retards progressifs, muni de deux murs réflecteurs, selon l'invention.

**[0028]** Conformément à l'invention, le formateur de faisceaux à lentille représentée sur le schéma de la figure 1 et sur la vue en perspective de la figure 2a comporte une ligne de transmission 20 à deux plaques métalliques et une lentille à retards progressifs et continus entre le centre 14 de la lentille et les deux bords latéraux 15, 16. La ligne de transmission 20 est constituée de deux plaques métalliques empilées, respectivement supérieure et inférieure, espacées l'une de l'autre par une cavité, et s'étendant selon deux directions longitudinale X et transversale Y. La ligne de transmission 20 est alimentée à une première extrémité, par au moins une source d'alimentation d'entrée 10 et est munie d'une excroissance 13, située sur le trajet des ondes radiofréquences. Les contours d'entrée et de sortie de l'excroissance, qui correspondent respectivement aux contours interne et externe de la lentille, peuvent avoir des profils de formes identiques et parallèles entre elles ou peuvent avoir des profils différents. L'excroissance 13 s'étend en épaisseur selon la direction X, transversalement sur la largeur de la ligne de transmission selon la direction Y, et en hauteur selon une direction Z orthogonale au plan XY des plaques métalliques, la longueur dL1, dL2, dL3 de la ligne de transmission dans l'excroissance étant variable du centre 14 vers les deux bords latéraux 15, 16 de la lentille, de façon à appliquer un retard différent aux ondes radiofréquences se propageant dans la lentille selon des trajets 1, 2, 3 ayant des directions angulaires différentes et des longueurs respectives L1, L2, L3 différentes. Lorsque les contours interne et externe de la lentille ont des profils de formes identiques, le retard réalisé par l'excroissance est proportionnel à la longueur de la ligne de transmission, dans l'excroissance, sur le trajet considéré. En particulier, lorsque les contours interne et externe de la lentille ont des profils de formes identiques, pour réaliser une lentille convergente, le retard appliqué aux ondes radiofréquences se propageant selon l'axe longitudinal médian 3 de la lentille, qui correspond au trajet le plus court, peut être supérieur aux retards appliqués à tous les autres trajets alors que le retard appliqué aux ondes radiofréquences se propageant vers les bords de la lentille, qui correspondent aux trajets les plus longs, peut être nul. Dans le cas d'une lentille divergente, la loi des retards est différente. Lorsque les contours interne et externe de la lentille ont des profils de formes différentes, la loi des retards est plus complexe car elle dépend aussi des formes respectives desdits contours interne et externe.

**[0029]** L'excroissance 13 comporte un insert métallique 21 logé transversalement dans la cavité, entre les deux plaques métalliques, l'insert 21, de forme quelcon-

que, comportant une base 21 b solidaire de l'une des deux plaques métalliques, inférieure ou supérieure, par exemple la plaque métallique inférieure, et au moins une extrémité libre 21 a. Comme représenté sur la vue éclatée de la figure 2b, l'insert métallique 21 s'étend en largeur, selon la direction transversale Y, entre deux bords latéraux de la lentille 15, 16, s'étend en épaisseur selon la direction X, et s'étend en hauteur, au moins en partie, selon la direction Z. Selon une section longitudinale de la ligne de transmission, l'insert 21 a un contour externe de longueur progressivement variable entre les deux bords latéraux de la ligne de transmission. La variation de la longueur du contour de l'insert 21 peut être obtenue par une variation de la hauteur de l'insert selon la direction Z, ou par une variation de l'épaisseur de l'insert selon la direction X, ou par une combinaison d'une variation en hauteur selon la direction Z et d'une variation en épaisseur selon la direction X comme illustré par exemple sur les figures 3a, 3b, 3c. La figure 3a est un schéma éclaté en perspective d'un exemple d'excroissance dans laquelle l'insert a une hauteur variable selon la direction Z et une épaisseur variable selon la direction X. La figure 3b montre deux schémas, en coupe longitudinale, respectivement au centre de la lentille et sur les bords latéraux de la lentille, de l'excroissance de la figure 3a. Sur cette figure 3b, l'insert a une paroi en forme de I sur l'axe longitudinal médian, au centre de la lentille, et a une épaisseur augmentée et une hauteur réduite sur les bords latéraux de la lentille. La figure 3c est un schéma en perspective du formateur de faisceaux correspondant aux figures 3a et 3b. Dans cet exemple, comme l'épaisseur de l'insert varie selon la direction Y, entre les deux bords latéraux de la lentille, les deux profils d'entrée 18 et de sortie 19 de l'excroissance 13, qui correspondent respectivement aux contours interne et externe de la lentille, ne sont pas parallèles entre eux.

**[0030]** Dans l'excroissance 13, la ligne de transmission 20 est accolée à l'insert métallique 21 et forme donc, dans la direction Z, une circonvolution 22 autour de l'insert métallique 21, comme représenté par exemple sur la figure 4a pour un insert ayant une section longitudinale en forme de I. La ligne de transmission chemine le long du contour de l'insert et change donc plusieurs fois d'orientation mais ne comporte aucune discontinuité de transmission. Ainsi, la ligne de transmission suit continuellement la forme de l'insert 21, longe une première surface avant, de la base 21 b à l'extrémité libre 21 a de l'insert, puis longe une deuxième surface arrière, de l'extrémité libre 21 a à la base 21 a. Dans l'excroissance 13, la propagation des ondes électromagnétiques est toujours réalisée entre deux plaques métalliques et selon le mode de propagation TEM, l'insert 21, placé au milieu de l'excroissance, assurant le rôle de la plaque métallique, inférieure ou supérieure, à laquelle sa base est solidarisée. La direction du champ électrique E dans la ligne de transmission tourne dans l'excroissance en fonction de l'orientation des plaques métalliques et reste, en tous points de la ligne de transmission, perpendiculaire aux

plaques métalliques, ou quasiment perpendiculaire aux plaques parallèles lorsque les plaques métalliques ne sont pas exactement parallèles.

**[0031]** L'insert 21 placé sur le trajet des ondes électromagnétiques TEM, constitue un obstacle à contourner qui provoque un retard de propagation d'autant plus important que l'insert a un contour plus long. La loi de variation de la longueur du contour de l'insert, selon une direction transversale de la lentille, dépend de la loi de retard souhaitée pour la formation des faisceaux.

**[0032]** La longueur du contour de l'insert métallique peut varier progressivement du centre de la lentille, situé sur l'axe longitudinal médian, jusqu'aux bords latéraux de la lentille, de façon à compenser l'écart de temps de trajet entre les différents chemins et à obtenir des trajets de propagation de longueurs identiques sur toute la largeur de l'ouverture rayonnante de sortie de la lentille.

**[0033]** En particulier, lorsque les contours interne et externe de la lentille ont des profils de mêmes formes, la lentille est convergente lorsque la variation de la longueur du contour de l'insert est progressivement décroissante du centre vers les deux bords latéraux de la ligne de transmission. Dans ce cas, la longueur du contour de l'insert est importante au centre de la lentille et peut être nulle sur les bords latéraux de la lentille. A l'inverse, la lentille est divergente lorsque la variation de la longueur du contour de l'insert est progressivement croissante du centre vers les deux bords latéraux de la ligne de transmission. Pour réaliser une transformation d'une onde cylindrique en une onde plane, il faut une lentille convergente. Toutefois, l'association d'une lentille convergente et d'une lentille divergente peut permettre de minimiser les aberrations de phase sur un plus large secteur angulaire, et donc de former davantage de faisceaux.

**[0034]** Par ailleurs, dans le cas de faisceaux non formés, la longueur du contour de l'insert, peut par exemple, varier symétriquement de part et d'autre de l'axe longitudinal médian de la lentille.

**[0035]** L'insert 21 peut avoir différentes formes. Par exemple, lorsqu'il n'y a aucune contrainte d'épaisseur pour le formateur de faisceaux, l'insert peut s'étendre sans limitation selon la direction Z et avoir une section en forme de I sur toute la largeur de la lentille, comme représenté sur la figure 4a. Lorsqu'il est nécessaire de réduire la dimension des excroissances, selon la direction Z, pour maintenir une faible épaisseur de la lentille, pour les retards importants nécessitant des hauteurs d'insert supérieures à l'épaisseur souhaitée, pour diminuer la hauteur de l'insert sans modifier la longueur de son contour, il est possible de replier une extrémité libre 21 a, opposée à la base 21 b, de l'insert parallèlement au plan XY, le repliement pouvant être simple ou double comme représenté sur les modes de réalisation des figures 4b et 4c, dans lesquelles l'insert 21 peut avoir une section en forme de L lorsqu'il y a un repliement simple, ou une section en forme de T lorsqu'il y a un double repliement. Il est également possible de combiner ces différentes formes en I, en L, en T, sur la largeur trans-

versale de l'insert. Dans ces trois exemples illustrés sur les figures 4a, 4b, 4c, l'insert métallique 21 et la face interne 23 de la paroi 22 de l'excroissance 20 comportent des transitions 24 à angles droits correspondant, pour la ligne de transmission 20, à des changements de direction de propagation de la direction Z vers la direction X ou inversement de la direction X vers la direction Z. Bien entendu, le repliement peut ne pas être nécessaire localement, sur certaines parties de l'insert, par exemple sur les bords latéraux de la lentille, lorsque les retards locaux à réaliser sont faibles. Par exemple, la longueur du contour de l'insert 21 replié peut être plus grande sur l'axe longitudinal médian 3, au centre 14 de la lentille, que sur les autres trajets comme le montre la vue de dessus de la figure 4d puis peut diminuer progressivement et symétriquement jusqu'aux deux bords latéraux 15, 16 de la lentille où le repliement n'est plus nécessaire.

**[0036]** En outre, dans l'excroissance, il est également possible de faire varier progressivement l'épaisseur de l'insert, selon la direction X, entre le centre et les bords latéraux de la lentille comme sur les figures 4a, 4b, 4c. Dans ce cas, les profils d'entrée et de sortie de l'excroissance, qui correspondent aux contours interne et externe de la lentille, sont de formes différentes. Cela permet d'obtenir un degré de liberté supplémentaire et d'obtenir ainsi moins d'aberrations et des faisceaux de meilleure qualité.

**[0037]** Pour réduire l'encombrement de la ligne de transmission en épaisseur, selon la direction Z, et éviter l'excitation de modes supérieurs au niveau des excroissances, et notamment lorsque l'insert est replié, la distance de séparation entre les plaques parallèles doit être réduite au niveau des excroissances, pour être typiquement inférieure au quart de la longueur d'onde guidée correspondant à la fréquence la plus élevée. Pour réduire les pertes de la ligne de transmission, la distance de séparation doit au contraire être maximale. Il est ainsi possible de faire varier progressivement la distance de séparation depuis les sources d'alimentations d'entrées 10 jusqu'aux excroissances 13.

**[0038]** Par ailleurs, pour améliorer l'adaptation de la ligne de transmission au niveau de l'excroissance et augmenter la bande passante, il est également possible d'ajouter des stubs d'adaptation 25 sur l'excroissance 13, les stubs d'adaptation étant constitués de portions de guides d'onde aménagées symétriquement dans la paroi métallique externe 22 de l'excroissance 20, de part et d'autre de l'insert métallique 21. Les stubs ont un profil variable transversalement, en fonction du profil de l'excroissance 13. Alternativement, au lieu d'ajouter des stubs, l'adaptation de la ligne de transmission au niveau de l'excroissance peut également être améliorée en remplaçant les arêtes des angles à 90°, situés à la base de l'insert et à l'extrémité supérieure de l'excroissance et correspondant à des changements de direction de la ligne de transmission, par des transitions en biseaux ou par des transitions en marches en escalier 30 comme représenté par exemple sur les figures 5a, 5b, 5c.

**[0039]** L'excroissance 13 et l'insert 21, placés sur un bord de sortie de la lentille, peuvent avoir un profil de forme plane selon les directions X et Y, comme représenté sur les figures 1 et 2 ou comporter un profil de forme curviligne selon les directions X et Y, par exemple parabolique comme représenté sur les figures 6a et 6b.

**[0040]** De même, la ligne de transmission peut avoir un profil d'entrée linéaire comme sur la figure 1 ou un profil d'entrée curviligne. Sur les figures 6a et 6b, la ligne de transmission comporte plusieurs sources d'alimentation d'entrée 10 distribuées périodiquement autour d'un bord d'entrée 31 de la lentille selon une courbe focale, par exemple un arc focal, centrée sur un axe longitudinal médian 3 de la lentille. Des profils curvilignes en entrée et en sortie de la lentille permettent d'obtenir plusieurs points focaux différents et de former des faisceaux sur un plus large secteur angulaire.

**[0041]** Contrairement à la lentille contrainte, l'onde électromagnétique en sortie du formateur de faisceaux n'est pas quantifiée spatialement, et contrairement à un formateur Pillbox, le repliement de la ligne de transmission n'est pas indispensable. Le formateur de faisceaux à lentille conforme à l'invention applique à l'onde incidente un retard continu et progressivement modulé transversalement. Grâce à cette continuité de transmission spatiale, pour obtenir une antenne plane, il est possible, en sortie de la lentille, de connecter le formateur de faisceaux à un cornet linéaire 35 s'étendant transversalement sur toute la largeur du guide d'onde, comme représenté sur les figures 6a et 6b ou à un réseau d'ouvertures linéaires s'étendant transversalement sur toute la largeur du guide d'onde comme représenté sur les figures 9 et 10. Ces ouvertures linéaires continues présentent l'avantage de rayonner l'énergie sur toute la largeur d'ouverture du formateur de faisceaux, ce qui permet de réaliser une antenne à grande largeur de bande de fonctionnement et à grande capacité de dépointage du faisceau formé et permet de s'affranchir des lobes de réseaux. La forme des parois du cornet linéaire peut être curviligne comme sur les figures 6a, 6b, 7 et 8a.

**[0042]** Pour réaliser les retards de propagation pour tous les trajets de propagation, le formateur de faisceaux à lentille peut comporter une seule excroissance munie d'un insert métallique apte à réaliser des retards progressifs ou plusieurs excroissances réparties le long de l'axe longitudinal X de la ligne de transmission, à différentes distances des sources d'alimentation d'entrée 10 comme représenté par exemple sur les figures 7 et 8a. Chaque excroissance 13a, 13b, 13c, 13i, 13n s'étend en hauteur selon la direction Z orthogonale au plan XY des plaques métalliques et comporte un insert métallique dont la longueur du contour, en section longitudinale, varie progressivement du centre de la lentille, situé sur l'axe longitudinal médian, jusqu'aux bords latéraux de la lentille. La multiplicité d'excroissances permet de répartir, entre les différentes excroissances, les retards à réaliser pour chaque trajet de propagation 1, 2, 3, chaque excroissance réalisant une fraction des différents retards respectifs.

Cela permet de diminuer l'amplitude des retards réalisés par chaque excroissance, de diminuer la longueur dL1, dL2, dL3 de la ligne de transmission, dans chaque excroissance, selon la direction Z et de diminuer la hauteur du formateur de faisceaux selon la direction Z.

**[0043]** La fraction des retards réalisée par chaque excroissance peut être identique pour toutes les excroissances ou peut varier en fonction de la distance respective entre chaque excroissance et les sources 10 d'alimentation d'entrée de façon à obtenir un gradient de retards selon la direction longitudinale X de la ligne de transmission. Ainsi, comme représenté sur le schéma, en coupe longitudinale, de la figure 8b, en fractionnant les retards sur sept excroissances successives réparties longitudinalement, il est possible de réaliser un gradient de retards selon la direction longitudinale X. Sur l'exemple de la figure 8b, la hauteur de l'insert selon la direction Z, dans les différentes excroissances successives varie progressivement le long de l'axe longitudinal X de la ligne de transmission. Ainsi, la longueur dL de la ligne de transmission, autour de l'insert, dans chaque excroissance 13, croit entre les quatre premières excroissances les plus proches des sources 10 d'alimentation d'entrée, puis décroît sur les trois dernières excroissances les plus proches du cornet linéaire 35 de sortie. Par conséquent, le retard réalisé par chaque excroissance étant proportionnel à la longueur dL de la ligne de transmission dans l'excroissance, la fraction des retards réalisée par chaque excroissance varie dans le même sens et croit entre les quatre premières excroissances les plus proches des sources 10 d'alimentation d'entrée, puis décroît sur les trois dernières excroissances les plus proches du cornet linéaire 35 de sortie.

**[0044]** La lentille ainsi réalisée, permet grâce à chaque excroissance d'obtenir un retard variant progressivement et continument sur toute la largeur transversale de la lentille et grâce au fractionnement des retards sur plusieurs excroissances successives, permet d'obtenir un gradient de retards selon la direction longitudinale. Selon la direction longitudinale, la lentille se comporte alors comme une lentille à gradient d'indice. La valeur de l'indice dans chaque excroissance, selon la direction longitudinale, est égale à  $(L+dL)/L$ , où L est la longueur de la ligne de transmission selon la direction longitudinale X, et dL est la longueur de la ligne de transmission autour de l'insert 21, dans l'excroissance 13 correspondante.

**[0045]** En contrôlant le gradient d'indice, ou le gradient de retard, il est ainsi possible de réduire les aberrations, pour les faisceaux dépointés, sur un large secteur angulaire. Cela permet également d'augmenter le nombre de degrés de liberté et de points de focalisation.

En contrôlant le gradient de retard transversalement mais aussi longitudinalement, le formateur de faisceaux peut former des faisceaux sans aberrations en utilisant des lignes de transmission ayant une longueur réduite entre les sources d'alimentation d'entrée et l'ouverture rayonnante de sortie.

**[0046]** Pour améliorer le secteur de dépointage angu-

laire du faisceau formé, il est également possible, dans une même ligne de transmission, d'aménager plusieurs excroissances successives, correspondant alternativement à des lentilles convergentes puis à des lentilles divergentes.

**[0047]** Sur les schémas des figures 6a et 6b, un seul cornet rayonnant linéaire est connecté en sortie de l'excroissance transversale de la lentille à retard continu. La lentille à retard continu peut également être utilisée pour alimenter un réseau de plusieurs cornets rayonnants linéaires, comme l'antenne représentée sur le schéma de la figure 9. Pour cela, en sortie de l'excroissance 13, la ligne de transmission à plaques parallèles est repliée sur elle-même, et comporte une ouverture linéaire de sortie reliée au réseau de cornets rayonnants 40 par l'intermédiaire de diviseurs de puissance 41. Dans ce cas, le repliement de la ligne de transmission est réalisée selon une ligne droite 42. Le repliement peut être total à 180° ou partiel et former un angle compris entre 0 et 180°.

**[0048]** Alternativement, il est également possible de réaliser le repliement de la ligne de transmission avec une pliure de forme curviligne, par exemple de forme parabolique, en insérant, dans la ligne de transmission, un mur réflecteur 43, par exemple métallique, s'étendant selon la direction Z, comme représenté par exemple sur les schémas des figures 10, 11, 12. Dans ce cas, le formateur de faisceaux est constituée de deux couches 44, 45, empilées et fermées à une extrémité par le mur réflecteur 43 qui s'étend transversalement, dans les deux couches du formateur de faisceaux, sur toute la largeur et sur toute la hauteur de la ligne de transmission. Le mur réflecteur peut être de n'importe quelle forme, par exemple plane ou parabolique. Le formateur de faisceaux comporte au moins une lentille à retards progressifs alimentée en entrée par une ou plusieurs sources d'alimentation 10 conformément à l'invention, et comporte une ouverture linéaire 48 de sortie. La lentille à retards progressifs peut être placée en amont, ou en aval du mur réflecteur, ou peut être combinée au mur réflecteur pour former un ensemble intégré. Dans chaque excroissance, l'insert métallique peut être de n'importe quelle forme et peut s'étendre en hauteur selon la direction Z et/ou en épaisseur selon la direction X. L'ouverture linéaire 48 de sortie peut être connectée à un cornet rayonnant linéaire 35 ou à un réseau de plusieurs cornets linéaires 40.

**[0049]** La ou les excroissances 13, 13a, 13b, 13c élaborant les retards progressifs et continus des lentilles à retards, peuvent être aménagées indifféremment dans la première ou la deuxième couche, ou dans les deux couches du formateur de faisceaux. Sur le schéma en perspective de la figure 10, une seule excroissance transversale 13 est aménagée dans la première couche 44 du formateur de faisceaux, en amont du mur réflecteur 43. Sur le schéma en coupe longitudinale de la figure 11, deux excroissances opposées 131, 132 sont aménagées autour d'un insert métallique 21 s'étendant dans les deux couches 44, 45 du formateur de faisceaux et le mur réflecteur 43 est intégré aux deux excroissances opposées

131, 132. Sur la figure 11, l'insert métallique s'étend selon la direction Z, parallèlement au mur réflecteur 43, mais bien entendu, alternativement, il pourrait s'étendre en épaisseur selon la direction X. Par ailleurs, sur le schéma de la figure 11, les formes de l'insert métallique dans les deux couches sont symétriques, mais ce n'est pas obligatoire. Les formes de l'insert métallique dans chaque excroissance et dans chaque couche du formateur de faisceaux peuvent être différentes les unes des autres.

**[0050]** Sur le schéma en coupe longitudinale de la figure 12, le formateur de faisceaux comporte deux excroissances transversales 131, 132 combinées au mur réflecteur 43 et aménagées autour d'un insert métallique 21 s'étendant dans les deux couches du formateur de faisceaux et comporte en outre au moins une troisième excroissance transversale 133 aménagée en aval du réflecteur 43, dans la deuxième couche du formateur de faisceaux, entre le mur réflecteur 43 et l'ouverture linéaire 48 de sortie. Les ondes radiofréquences émises dans la première couche en entrée de la ligne de transmission sont retardées dans les différentes excroissances des lentilles à retards continus, et réfléchies, par le mur réflecteur, vers la deuxième couche avant d'être rayonnées par le cornet linéaire de sortie ou par le réseau de cornets linéaires de sortie. La combinaison d'un formateur de faisceaux à lentille à retards continus avec un mur réflecteur présente l'avantage d'augmenter le nombre de degrés de liberté, le nombre de points de focalisation et d'améliorer les performances de la lentille. Le nombre de murs réflecteurs peut bien entendu être supérieur à un, les excroissances peuvent être situées en amont ou en aval du, ou des murs réflecteurs, et les murs réflecteurs peuvent être intégrés ou non à des excroissances.

**[0051]** Sur le schéma de la figure 13, le formateur de faisceaux comporte plusieurs excroissances 131, 132, 133, 134, 135 et deux murs réflecteurs successifs 43, 50. Le premier mur réflecteur 43 est intégré dans les deux excroissances opposées 131, 132, la troisième excroissance 133 est aménagée en aval du premier mur réflecteur 43, entre le premier mur réflecteur 43 et le deuxième mur réflecteur 50, la quatrième excroissance 134 est aménagée en amont du premier mur réflecteur 43, et enfin la cinquième excroissance 135 est aménagée entre le deuxième mur réflecteur 50 et une ouverture linéaire de sortie 48. Le formateur de faisceaux comporte alors trois couches empilées 44, 45, 46. Le premier mur réflecteur 43 s'étend dans les première et deuxième couches alors que le deuxième mur réflecteur 50 s'étend dans les deuxième et troisième couches. La ligne de transmission est alors repliée deux fois sur elle-même, par l'intermédiaire du premier mur réflecteur 43, puis par l'intermédiaire du deuxième mur réflecteur 50.

**[0052]** Pour réduire l'encombrement vertical, et éviter l'excitation de modes supérieurs au niveau des excroissances, et notamment lorsque celles-ci sont repliées, la séparation entre les plaques parallèles doit être réduite au niveau des excroissances, pour être typiquement inférieure au quart de la longueur d'onde correspondant à

la fréquence la plus élevée, parmi toutes les ondes radiofréquence guidées, de façon que seul le mode TEM puisse se propager. Pour réduire les pertes de la ligne de transmission, la distance de séparation doit au contraire être maximale. Il est ainsi possible de faire varier progressivement la distance de séparation depuis les sources d'alimentations d'entrées 10 jusqu'aux excroissances 13.

**[0053]** Le formateur de faisceaux précisément décrit permet de former une seule ligne de faisceaux dans un seul plan XY puisque toutes les sources d'alimentation sont situées dans le plan XY. Bien entendu, il est possible d'empiler plusieurs formateurs de faisceaux identiques, conformes à l'invention, pour former plusieurs lignes de faisceaux différentes.

**[0054]** De même, il est possible de former des faisceaux dans deux plans orthogonaux en utilisant deux formateurs de faisceaux identiques, conformes à l'invention, et connectés orthogonalement l'un à l'autre par leurs ports d'entrée/sortie respectifs.

**[0055]** Il est également possible de former des faisceaux selon deux plans orthogonaux, en combinant le formateur de faisceaux planaire conforme à l'invention, avec des formateurs de faisceaux plans différents, aptes à former des faisceaux dans un plan orthogonal au plan XY, tel que par exemple une matrice de Butler.

**[0056]** 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. En particulier, la forme de l'excroissance et la forme de l'insert peuvent être différentes des formes explicitement décrites. Pour faire varier le retard entre les deux bords latéraux de la lentille, correspondant à une variation de la longueur de la ligne de transmission, les dimensions de l'insert peuvent varier en hauteur selon la direction Z, ou en épaisseur selon la direction X, ou varier à la fois en hauteur et en épaisseur. Par ailleurs, pour diminuer l'épaisseur du formateur de faisceaux selon la direction Z, l'insert peut comporter différents types de repliement et/ou un nombre de repliements supérieurs à deux, ou une combinaison de plusieurs types de repliements. De même, le nombre d'excroissance peut être supérieur à un, la forme du réflecteur peut être quelconque et le nombre de réflecteurs utilisé peut être supérieur à un. Les excroissances peuvent être placées en amont ou en aval d'un mur réflecteur. Le formateur de faisceaux peut également comporter un mur réflecteur intégré à deux excroissances. Lorsque le formateur de faisceaux comporte deux murs réflecteurs, une ou plusieurs excroissances peuvent être aménagées entre les deux murs réflecteurs.

## Revendications

1. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille com-

- prenant une ligne de transmission radiofréquence (20) alimentée à une première extrémité, par au moins une source d'alimentation d'entrée (10), la ligne de transmission (20) comportant deux plaques métalliques empilées, espacées l'une de l'autre et s'étendant, selon deux directions longitudinale X et transversale Y, **caractérisé en ce que** la ligne de transmission (20) comporte en outre au moins une excroissance (13) s'étendant selon les directions X, Y, et selon une direction Z orthogonale au plan XY, l'excroissance (13) comportant un insert métallique (21) s'étendant selon la direction X, selon la direction transversale Y entre deux bords latéraux (15, 16) de la ligne de transmission, et s'étendant en hauteur selon la direction Z, l'insert métallique (21) comportant une base (21 b) solidaire de l'une des deux plaques métalliques et au moins une extrémité libre (21 a) et ayant, en section longitudinale, un contour de longueur variable entre les deux bords latéraux de la ligne de transmission (20), et **en ce que** dans l'excroissance (13), la ligne de transmission (20) est accolée à l'insert métallique (21) et forme, dans la direction Z, une circonvolution (22) autour de l'insert métallique (21).
2. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'extrémité libre (21 a) de l'insert métallique est repliée parallèlement au plan XY.
  3. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'extrémité libre (21 a) de l'insert métallique est doublement repliée en forme de T, parallèlement au plan XY.
  4. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'excroissance (13) et l'insert métallique (21) ont des profils de formes curvilignes selon les directions X et Y.
  5. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'excroissance (13) a un profil d'entrée (18) et un profil de sortie (19) de formes différentes.
  6. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'excroissance (13) comporte des stubs d'adaptation (25).
  7. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** dans l'excroissance (13), les plaques métalliques de la ligne de transmission (20) ont une face interne (23) comportant des transitions en marches d'escalier (30).
  8. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la longueur du contour, en section longitudinale, de l'insert métallique (21) est progressivement décroissante du centre (14) vers les deux bords latéraux (15, 16) de la ligne de transmission.
  9. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la longueur du contour, en section longitudinale, de l'insert métallique (21) est progressivement croissante du centre (14) vers les deux bords latéraux (15, 16) de la ligne de transmission.
  10. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** l'insert métallique (21) comporte un profil symétrique par rapport à un axe longitudinal médian (3) de la ligne de transmission.
  11. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la ligne de transmission comporte plusieurs sources d'alimentation d'entrée (10) distribuées périodiquement, autour d'un bord d'entrée (31), selon une courbe focale.
  12. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la ligne de transmission comporte plusieurs excroissances (13a, 13b, 13c..., 13i, 13j) aptes à réaliser des retards progressifs, les excroissances étant réparties successivement le long de l'axe longitudinal X de la ligne de transmission, à différentes distances des sources d'alimentation d'entrée (10), chaque excroissance comportant un insert métallique (21) dont la longueur du contour, en section longitudinale, varie entre les deux bords latéraux de la ligne de transmission (20).
  13. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** la longueur du contour des inserts métalliques (21), dans les différentes excroissances successives, varie progressivement d'une excroissance à une autre excroissance adjacente, selon la direction longitudinale X de la ligne de transmission.
  14. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la ligne de transmission (20) est repliée sur elle-même selon la direction X, selon une pliure de forme droite.
  15. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** il comporte en outre au moins un premier mur réflecteur (43) s'étendant transversale-

ment dans la ligne de transmission, et orthogonalement aux plaques métalliques selon la direction Z, le premier mur réflecteur (43) étant apte à replier la ligne de transmission, sur elle-même, selon la direction X, selon une pliure de forme curviligne.

5

16. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon la revendication 15, **caractérisé en ce qu'**il comporte au moins deux couches (44, 45), respectivement première et deuxième couches, empilées et fermées à une extrémité par le premier mur réflecteur (43) et deux excroissances opposées (131, 132) aménagées autour d'un insert métallique (21) s'étendant dans les deux couches empilées (44, 45), le premier mur réflecteur (43) étant intégré aux deux excroissances opposées (131, 132).
17. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon la revendication 16, **caractérisé en ce qu'**il comporte en outre une troisième couche (46) empilée sur la deuxième couche (45) et un deuxième mur réflecteur (50) s'étendant dans les deuxième et troisième couches (45, 46).
18. Formateur de faisceaux quasi-optique à lentille selon l'une des revendications 16 ou 17, **caractérisé en ce qu'**il comporte en outre au moins une troisième excroissance (133) aménagée dans la deuxième couche en aval du premier mur réflecteur (43).
19. Antenne plane, **caractérisée en ce qu'**elle comporte au moins un formateur de faisceaux selon l'une des revendications précédentes et **en ce qu'**elle comporte en outre un cornet rayonnant linéaire (35) connecté en sortie du formateur de faisceaux.
20. Antenne plane, **caractérisée en ce qu'**elle comporte au moins un formateur de faisceaux selon l'une des revendications 1 à 18 et **en ce que** la ligne de transmission (20) est repliée, sur elle-même, selon la direction X, et comporte en outre une ouverture linéaire (48) de sortie reliée à un réseau de plusieurs cornets rayonnants (40).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

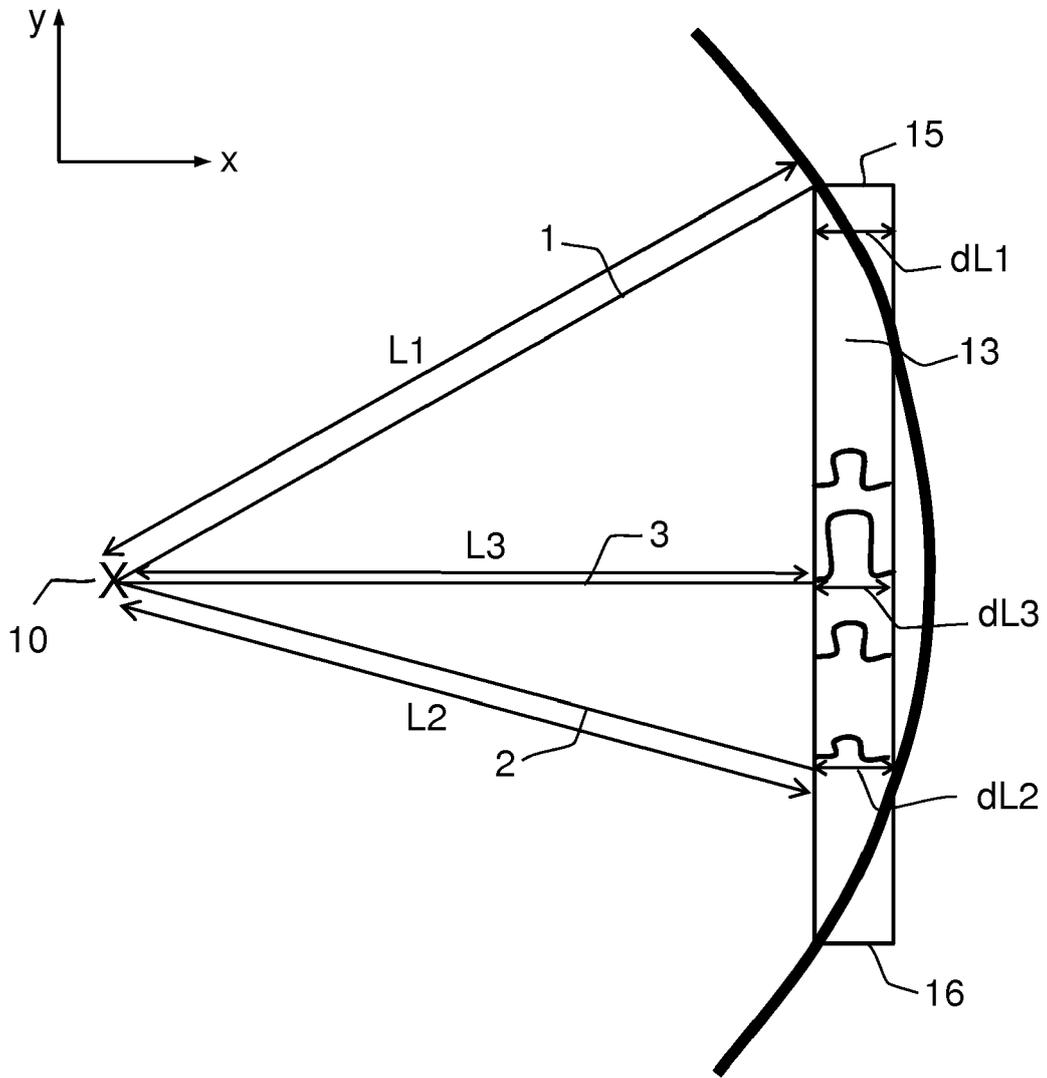


FIG.1

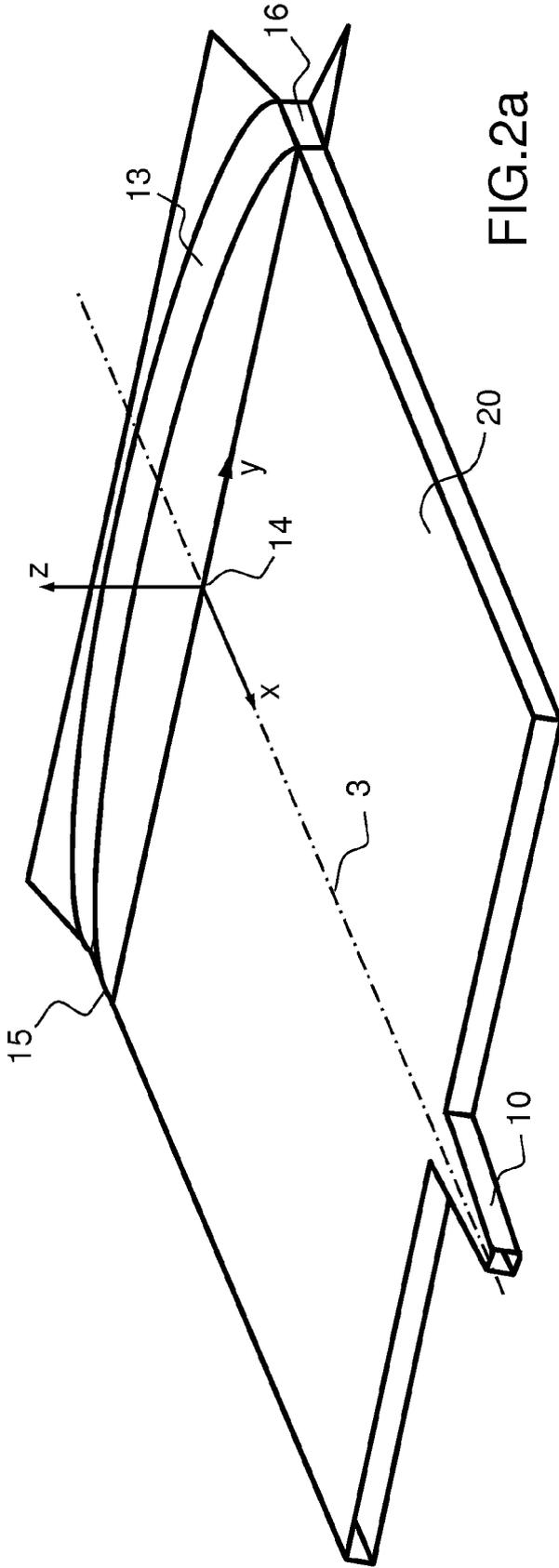


FIG. 2a

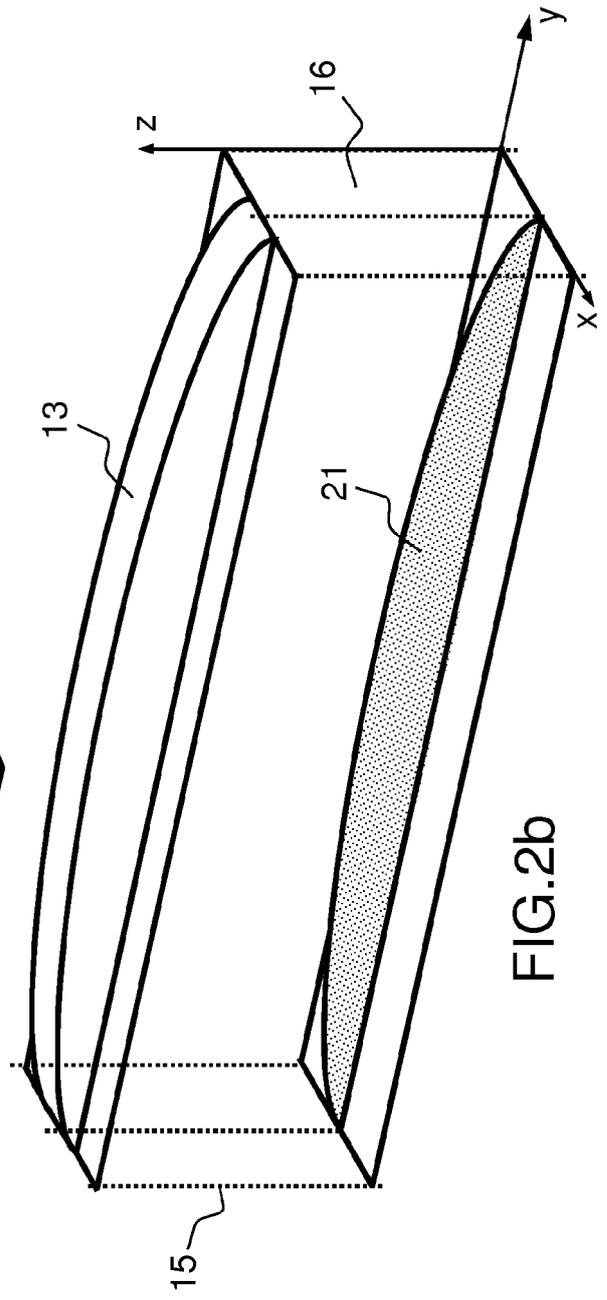


FIG. 2b

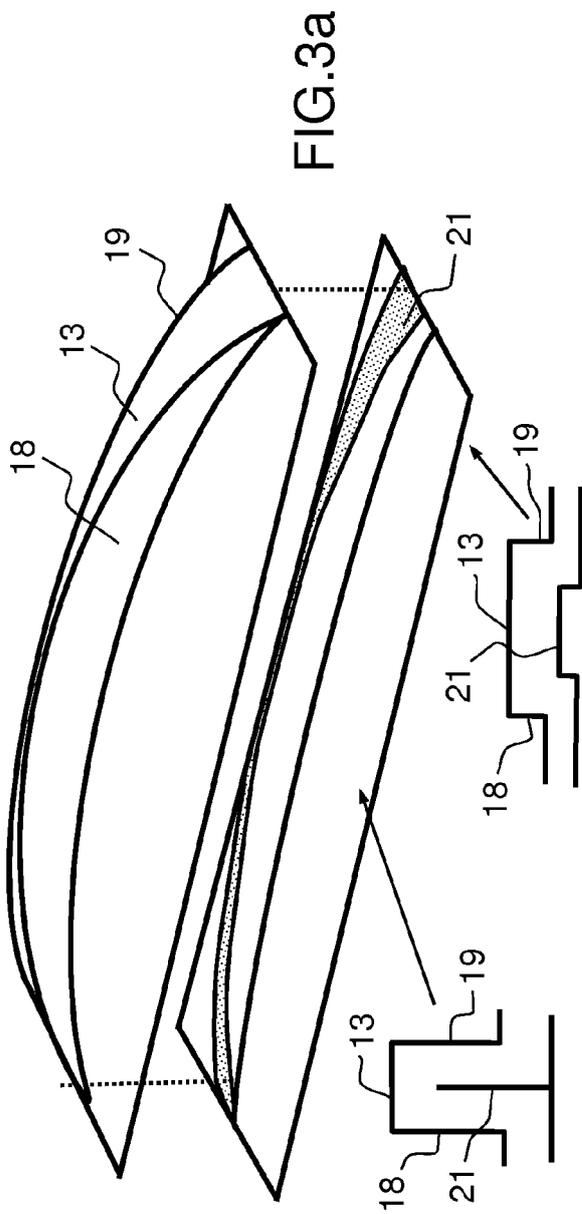


FIG.3b



FIG.3c

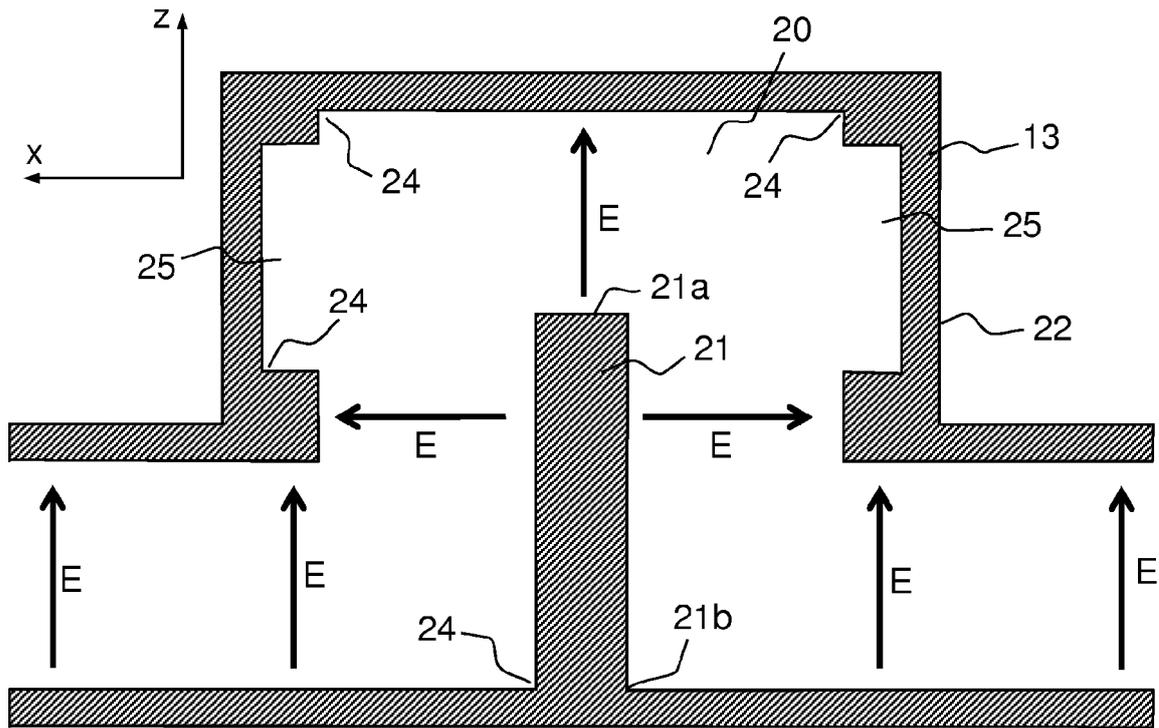


FIG. 4a

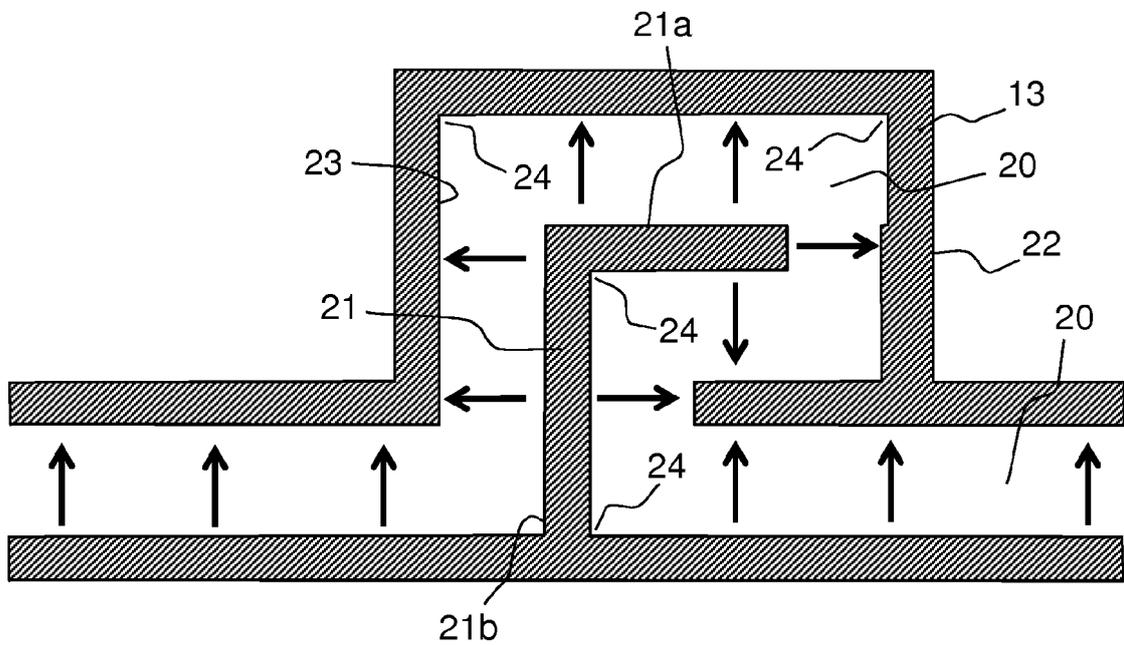


FIG. 4b

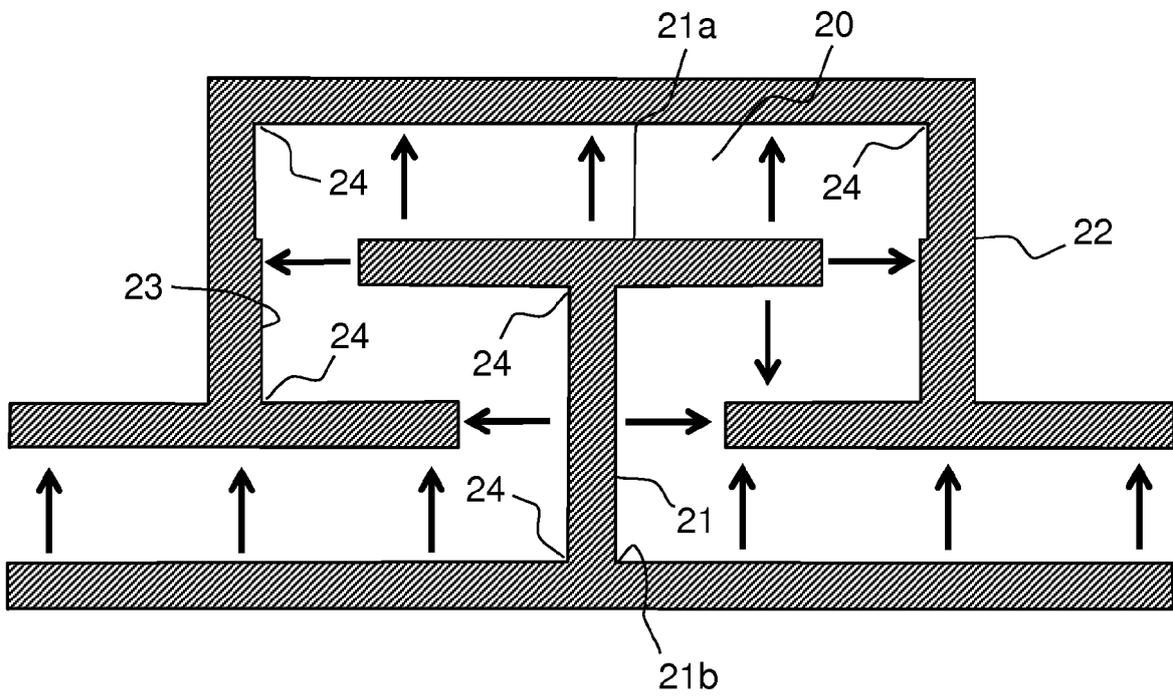


FIG. 4c

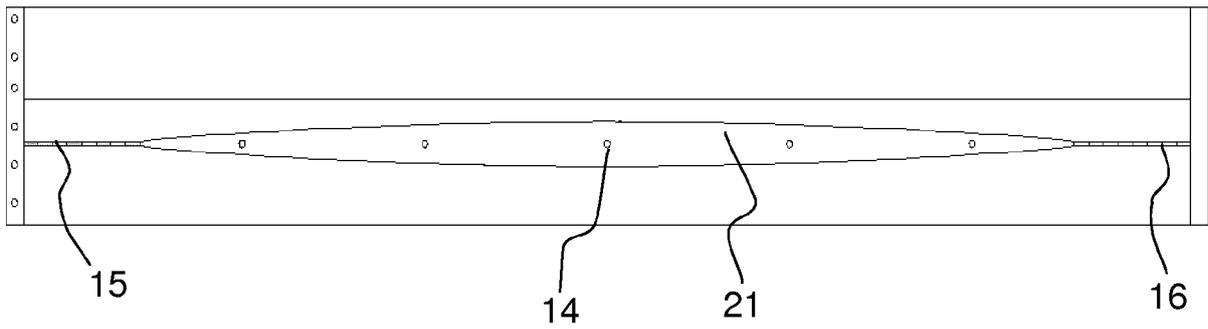


FIG. 4d

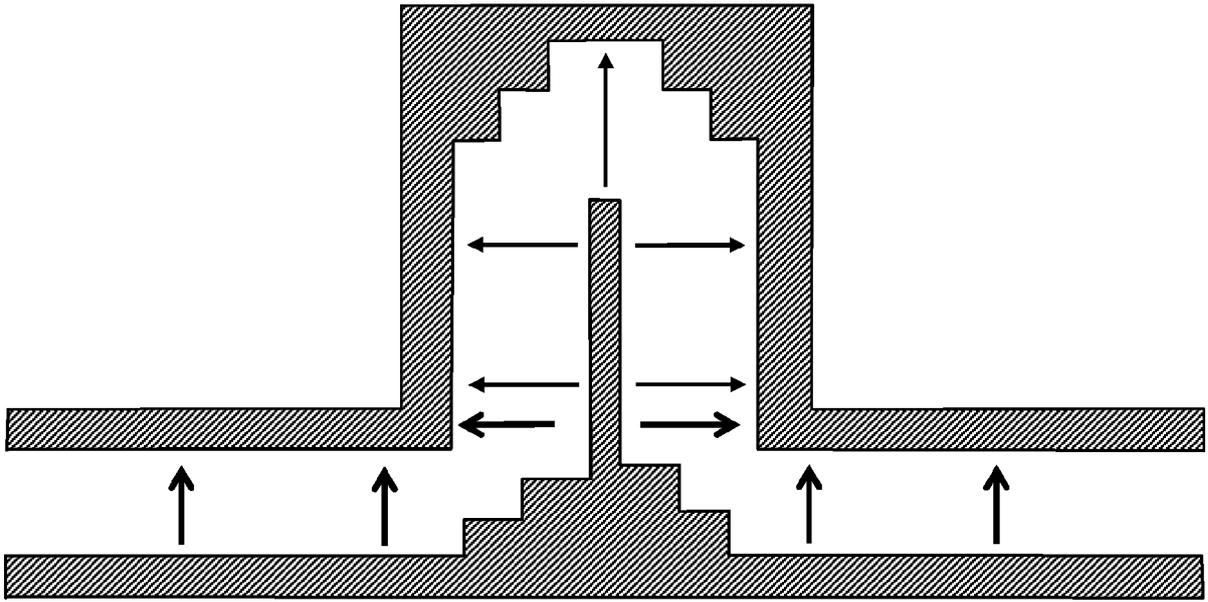


FIG.5a

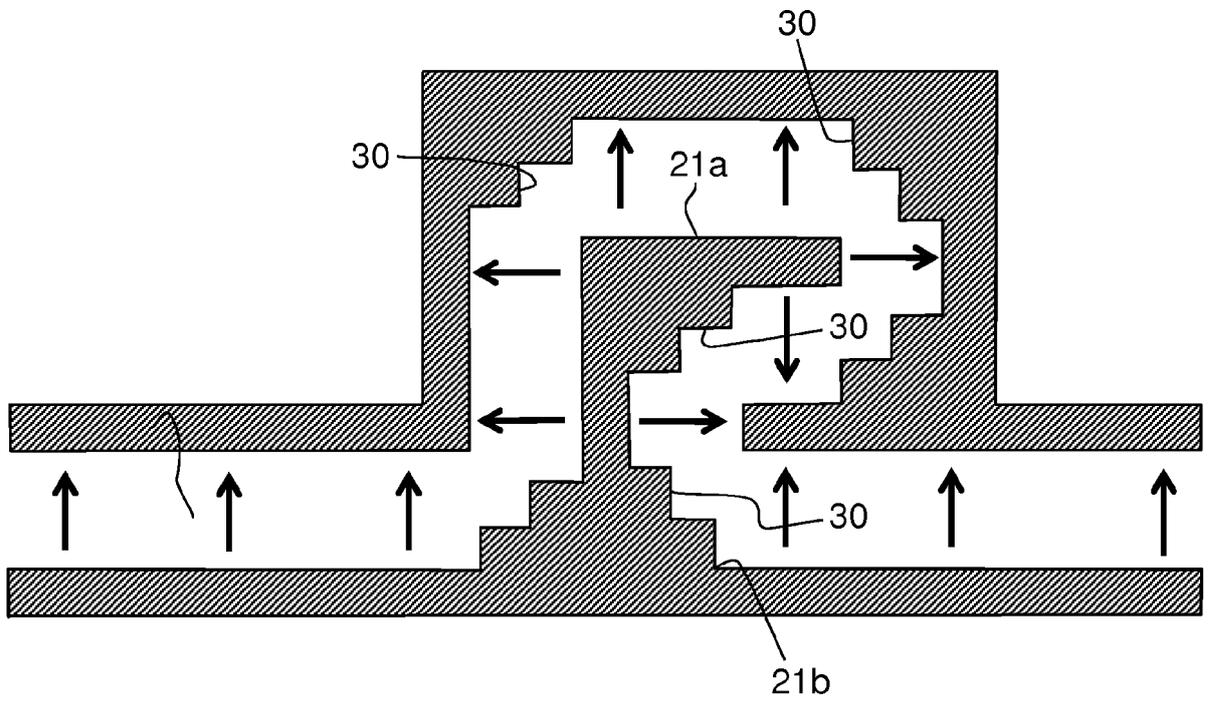


FIG.5b

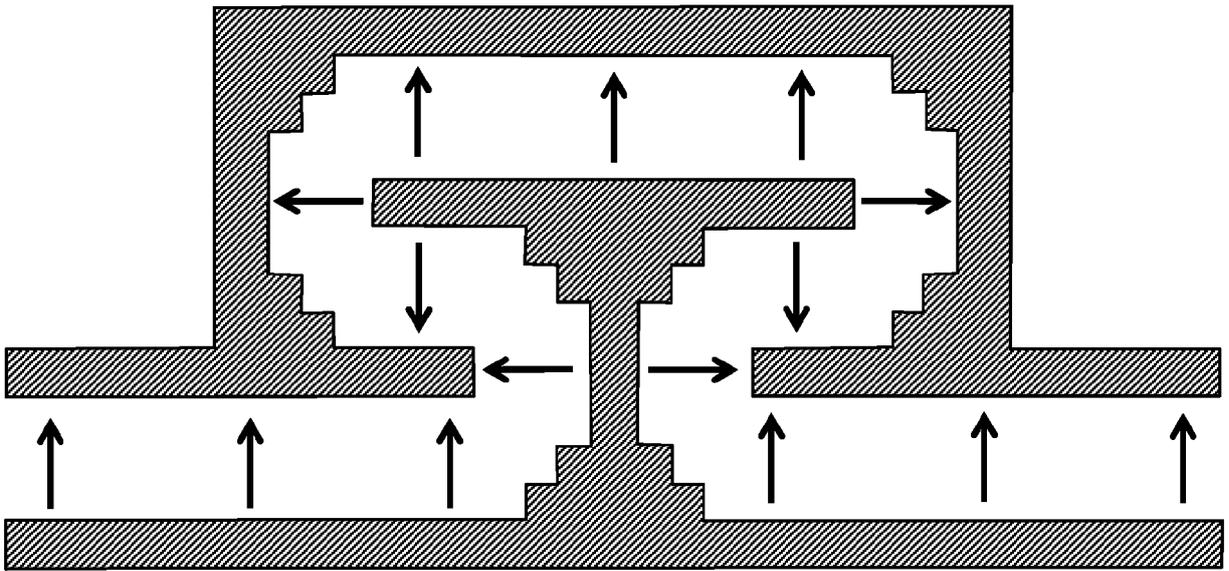


FIG.5c

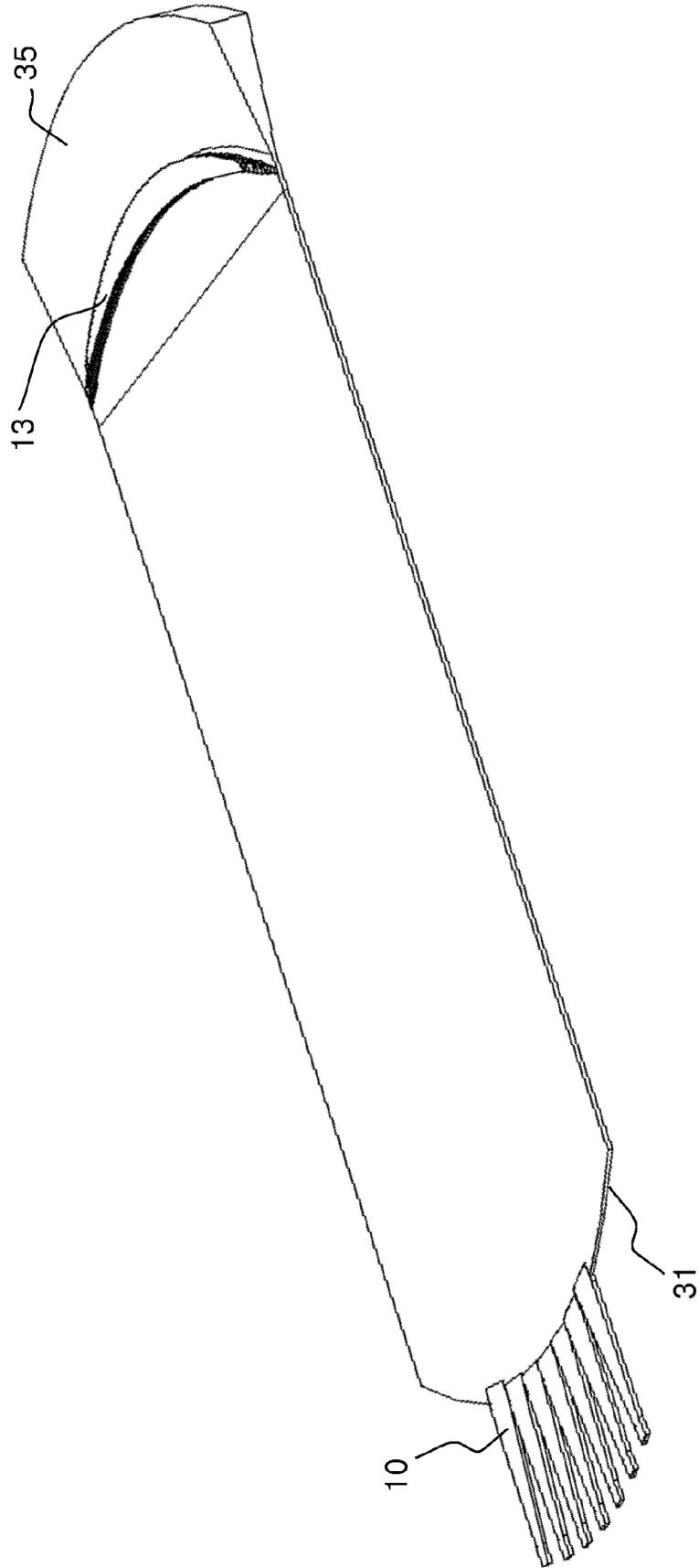


FIG.6a

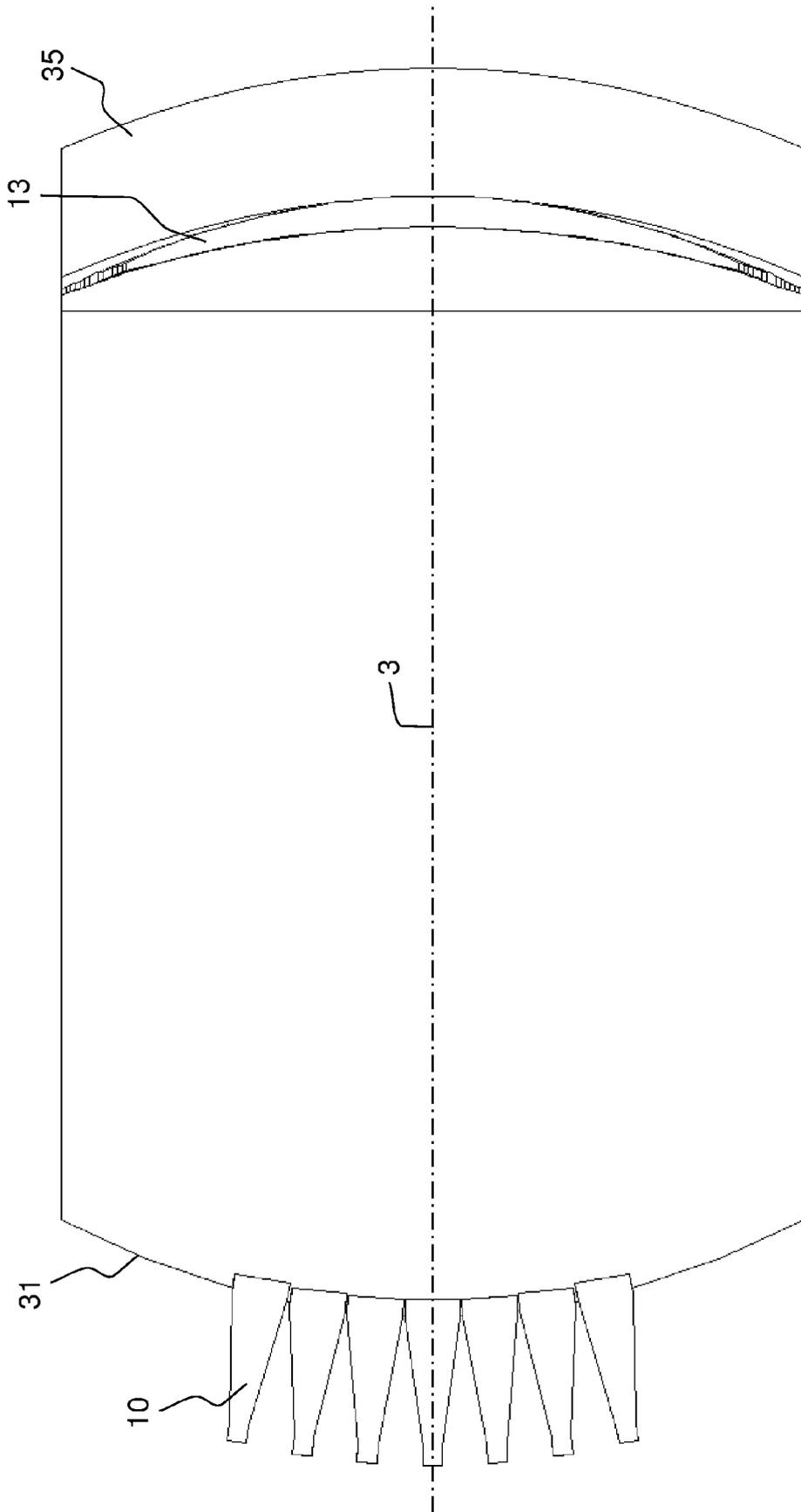


FIG.6b

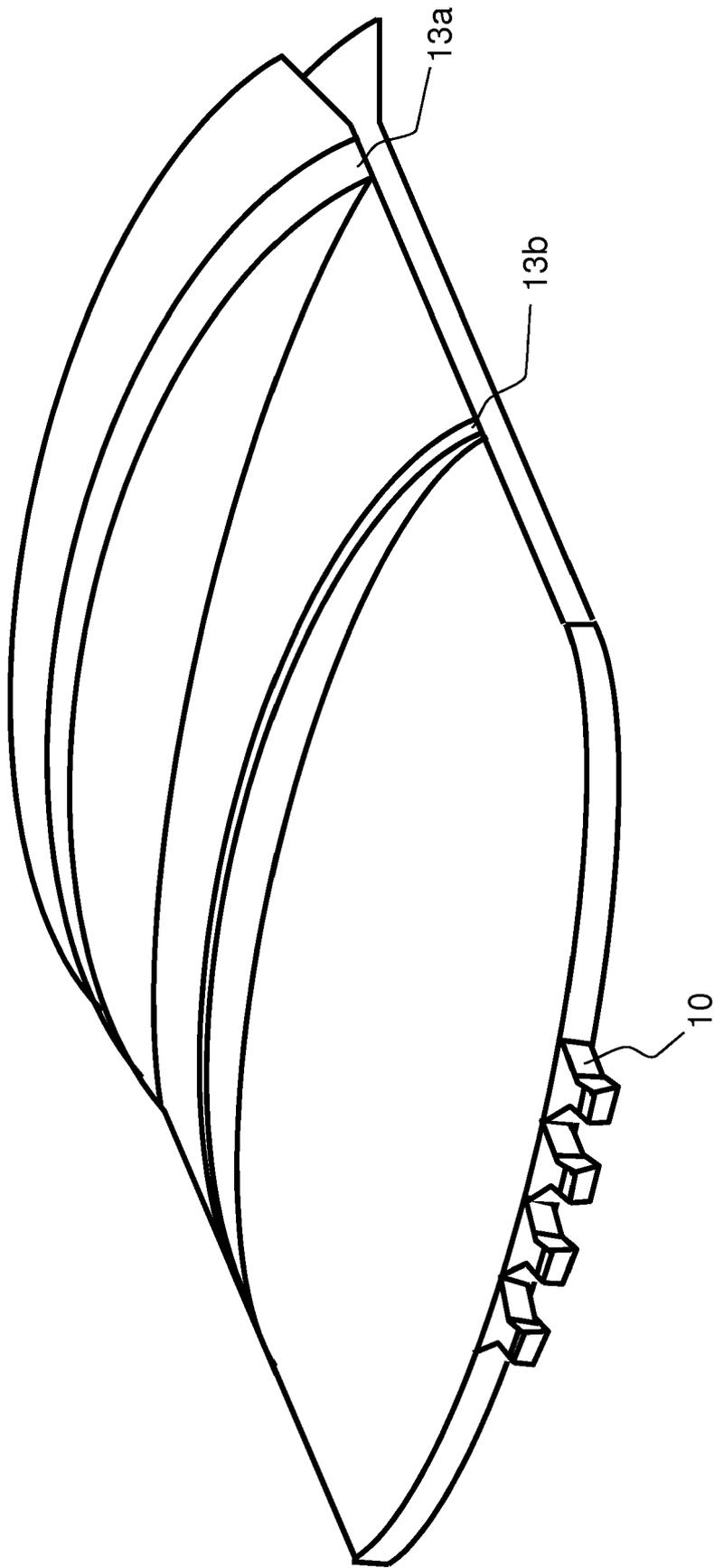
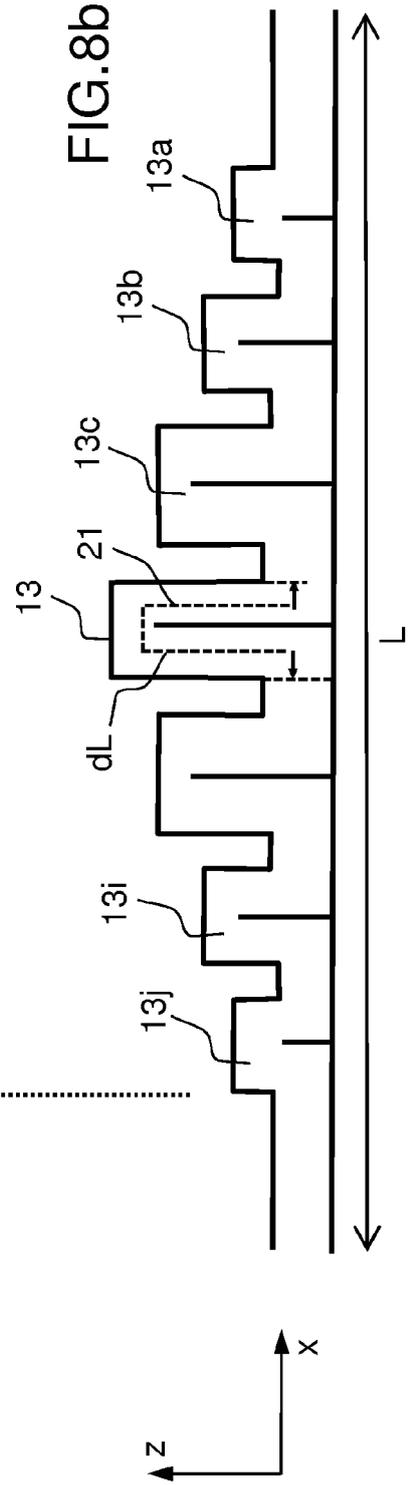
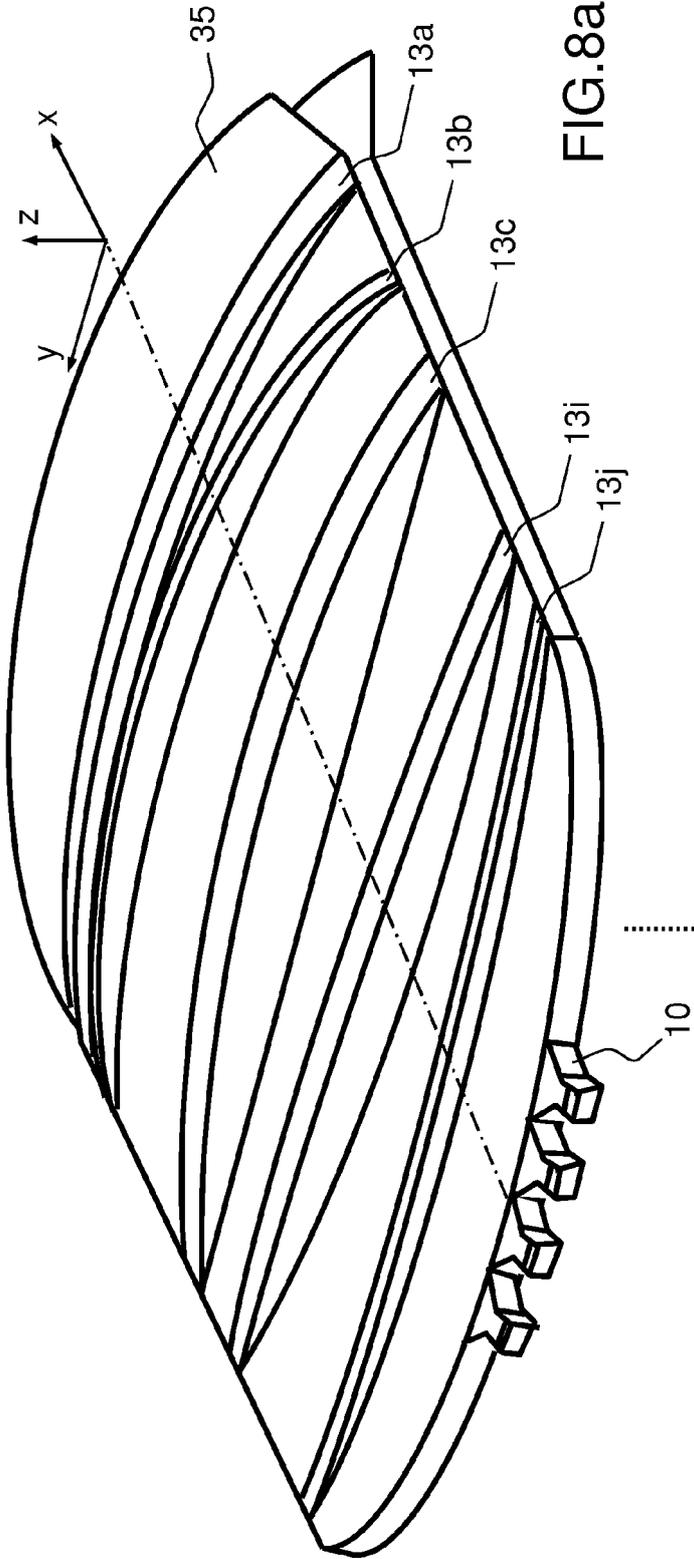


FIG.7



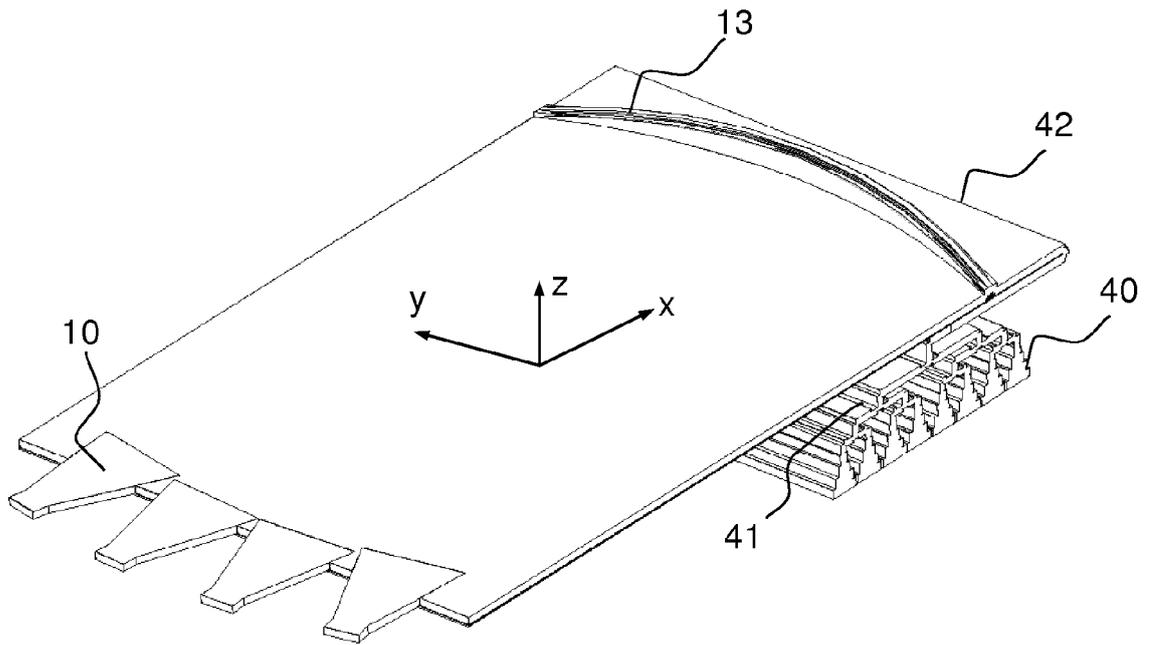


FIG. 9

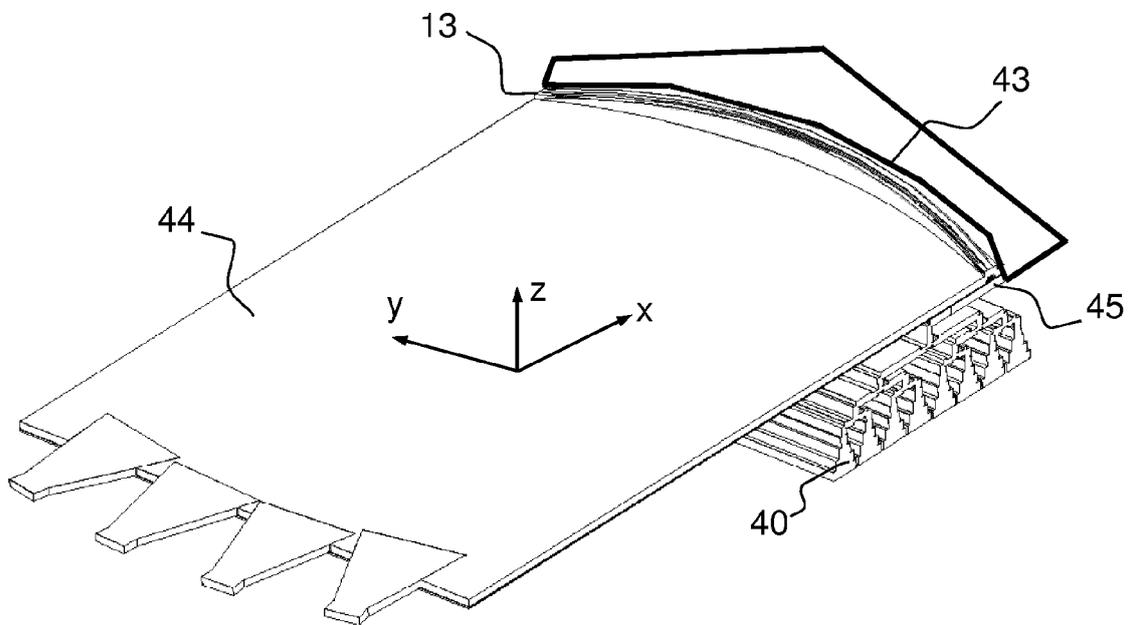
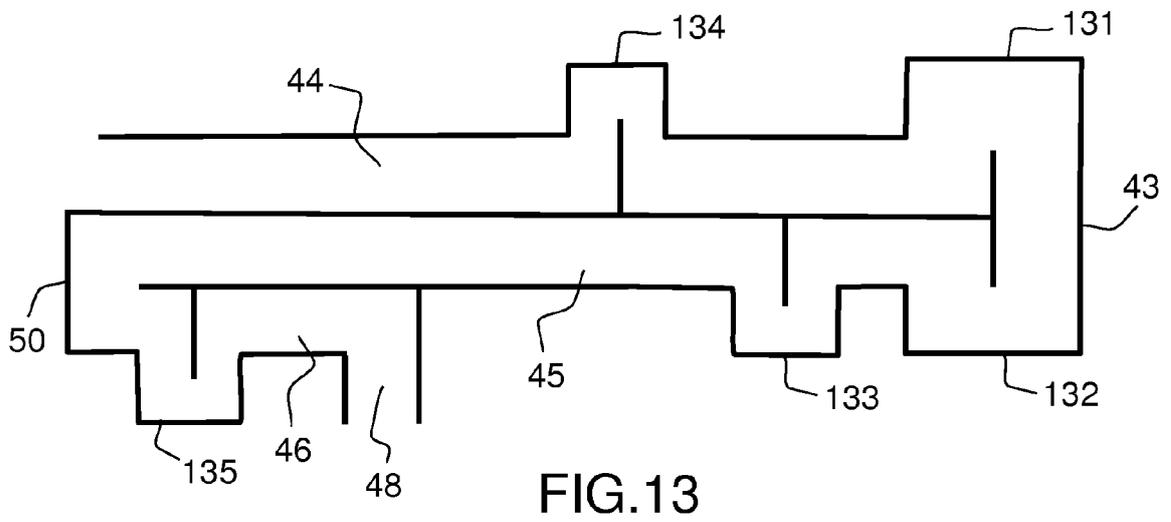
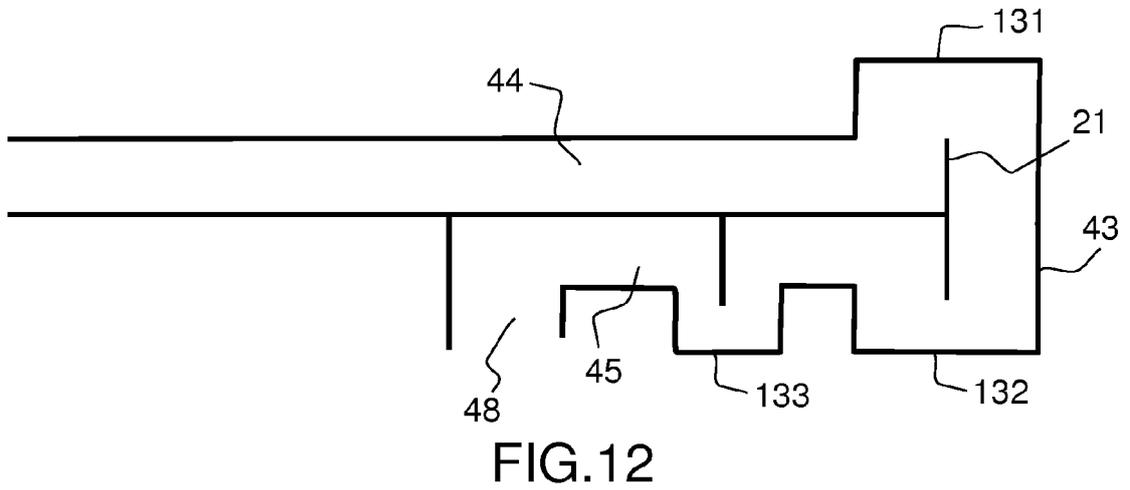
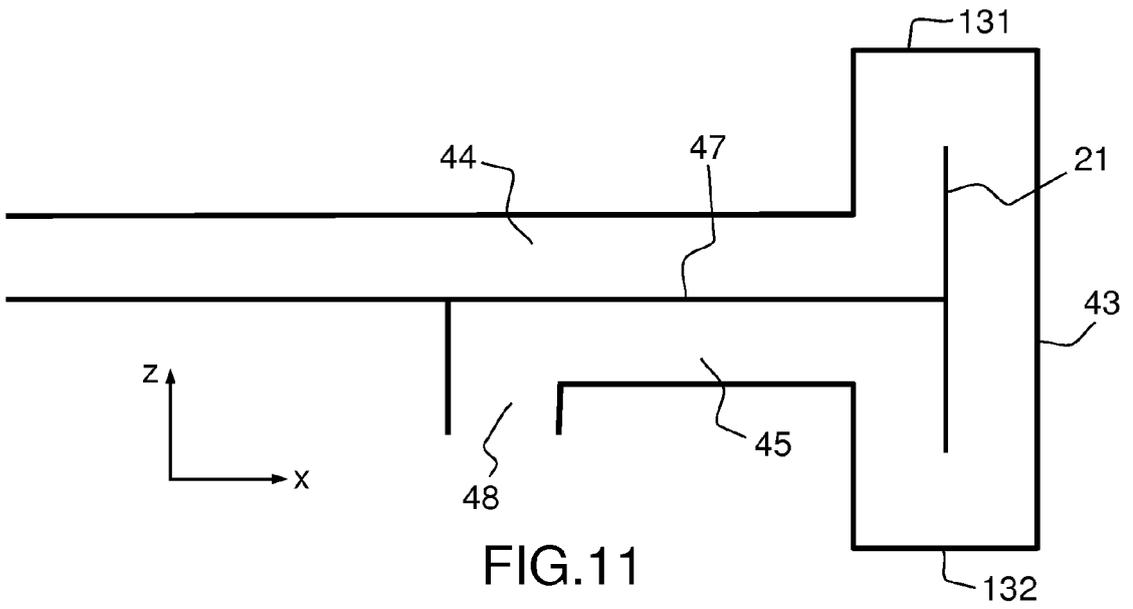


FIG. 10





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 16 17 6732

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 6 160 520 A (MUHLHAUSER NICHOLAS L [US] ET AL) 12 décembre 2000 (2000-12-12) * colonne 13, ligne 51 - colonne 14, ligne 5; figure 30a *	1-20	INV. H01Q25/00 H01Q3/26 H01Q21/00
A	US 5 926 134 A (PONS PATRICK [FR] ET AL) 20 juillet 1999 (1999-07-20) * colonne 4, ligne 17 - ligne 65; figure 5D *	1-20	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>9 novembre 2016</b>	Examineur <b>Moumen, Abderrahim</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03/82 (P04C02)

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

EP 16 17 6732

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

09-11-2016

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6160520 A	12-12-2000	AUCUN	
US 5926134 A	20-07-1999	DE 19638149 A1 FR 2738954 A1 GB 2305781 A US 5926134 A	20-03-1997 21-03-1997 16-04-1997 20-07-1999

EPO FORM P0460

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

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

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

**Documents brevets cités dans la description**

- US 3170158 A [0003]
- US 5936588 A [0003]
- FR 2944153 [0003]
- FR 2986377 [0003]