



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
28.09.2016 Bulletin 2016/39

(21) Numéro de dépôt: **16161459.9**

(22) Date de dépôt: **21.03.2016**

(51) Int Cl.:
H01Q 1/28 (2006.01) **H01Q 3/26** (2006.01)
H01Q 3/40 (2006.01) **H01Q 21/06** (2006.01)
H01Q 25/00 (2006.01) **H01Q 15/00** (2006.01)
H01Q 15/08 (2006.01) **H01Q 15/10** (2006.01)
H01Q 15/16 (2006.01) **H01P 1/18** (2006.01)
H01P 3/20 (2006.01) **H01P 5/02** (2006.01)
H01P 5/18 (2006.01) **H04B 7/185** (2006.01)
H01P 3/12 (2006.01)

(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

(30) Priorité: **23.03.2015 FR 1500565**

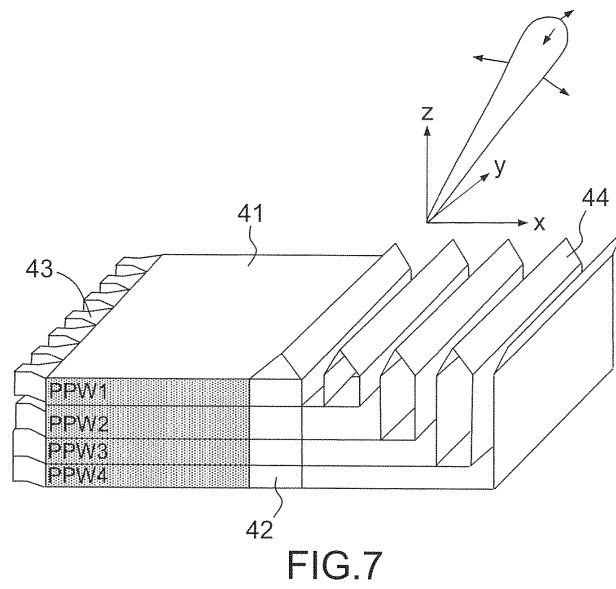
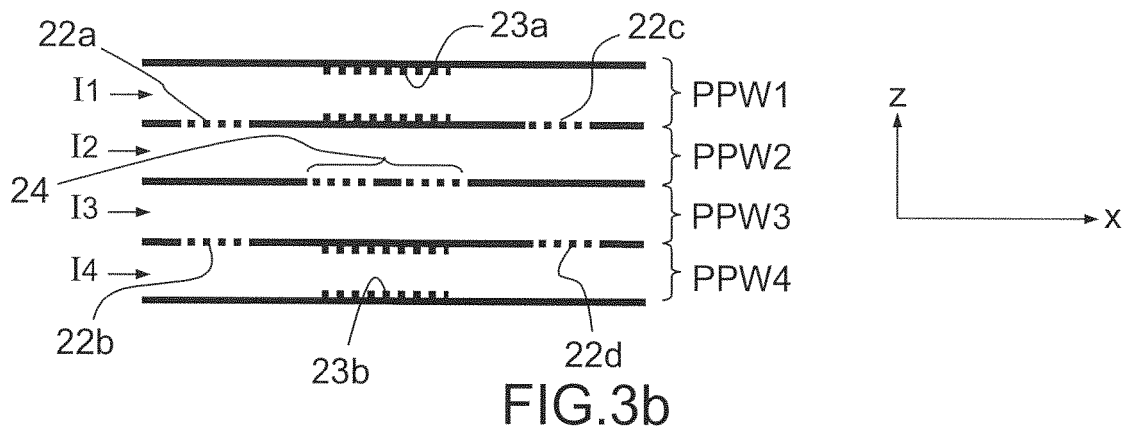
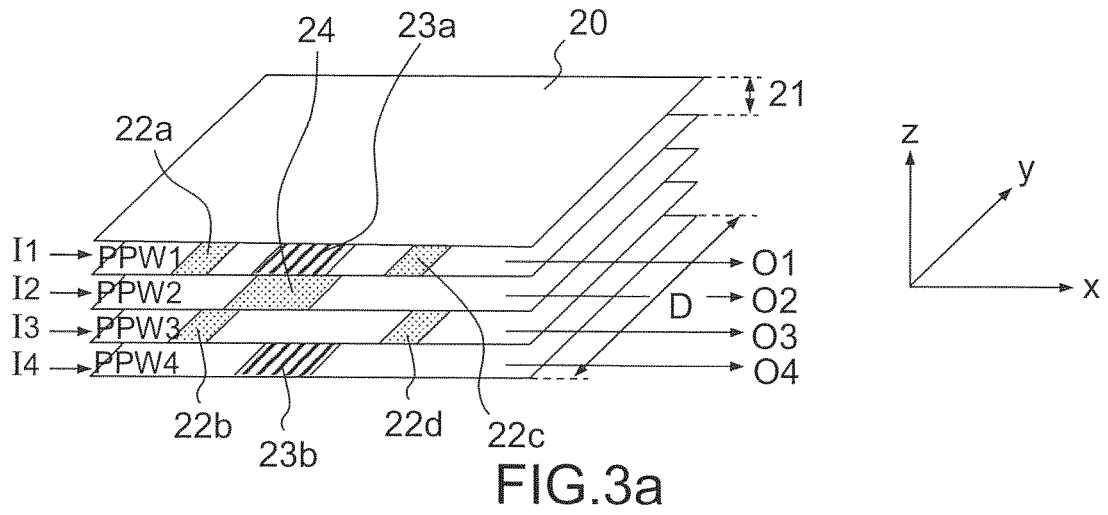
(71) Demandeurs:
• **THALES**
92400 Courbevoie (FR)
• **Université de Rennes 1**
35065 Rennes Cedex (FR)
• **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **LEGAY, Hervé**
31830 Plaisance Du Touch (FR)
• **FRAYSSE, Jean-Philippe**
31200 Toulouse (FR)
• **GIRARD, Etienne**
31830 Plaisance Du Touch (FR)
• **ETTORRE, Mauro**
35000 Rennes (FR)
• **SAULEAU, Ronan**
35690 Acigne (FR)

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

(54) **MATRICE DE BUTLER COMPACTE, FORMATEUR DE FAISCEAUX BIDIMENSIONNEL PLANAIRE ET ANTENNE PLANE COMPORTANT UNE TELLE MATRICE DE BUTLER**

(57) La matrice de Butler compacte est constituée d'une structure multicouches planaire comportant N guides d'onde à plaques métalliques parallèles PPW, empilés les uns au-dessus des autres, deux guides d'onde PPW adjacents comportant une paroi commune constituée par l'une des plaques métalliques. Les coupleurs, les déphaseurs et les dispositifs de croisement de la matrice de Butler sont constitués par des métasurfaces intégrées dans les plaques métalliques. Le formateur de faisceaux bidimensionnel planaire peut comporter une matrice de Butler à guides d'onde PPW associée à des lentilles optiques intégrées dans chaque guide d'onde PPW. Alternativement, le formateur de faisceaux bidimensionnel planaire peut comporter un étage supérieur constitué d'une matrice de Butler à guides d'onde PPW, et un étage inférieur comportant des guides d'onde PPW équipés de réflecteurs intégrés, les deux étages étant connectés en série.



Description

[0001] La présente invention concerne une matrice de Butler compacte, un formateur de faisceaux bidimensionnel planaire et une antenne plane à faisceaux multiples comportant une telle matrice de Butler. Elle s'applique à toute antenne multifaisceaux, notamment au domaine des applications spatiales telles que les télécommunications par satellite, et plus particulièrement aux antennes de faible épaisseur.

[0002] Les formateurs de faisceaux sont utilisés dans les antennes multifaisceaux pour élaborer des faisceaux de sortie à partir de signaux radiofréquence d'entrée. Un formateur de faisceaux classique comporte N entrées In1 à InN, P sorties Out1 à OutP, et une pluralité de circuits radiofréquences 11, 12, 13 aptes à diviser et recombinaison les signaux radiofréquences d'entrée suivant une loi de phase et d'amplitude choisie pour former des faisceaux de sortie. Il existe différentes technologies de formateurs de faisceaux. Sur la figure 1, les circuits radiofréquences comportent un grand nombre de guides d'ondes individuels 10 qui s'entrecroisent entre eux de façon à permettre les combinaisons nécessaires pour la formation des différents faisceaux de sortie par des combineurs 12 de signaux radiofréquence. Ces formateurs de faisceaux sont adaptés pour un nombre limité d'éléments rayonnants et pour former un nombre limité de faisceaux car ils deviennent très complexes lorsque le nombre de faisceaux augmente en raison des croisements nécessaires entre les guides d'onde.

[0003] Il est également connu de former des faisceaux en utilisant une matrice de Butler constituée d'un circuit passif symétrique à N ports d'entrée et N ports de sorties, qui pilote des éléments rayonnants produisant N faisceaux différents d'amplitudes égales. Le circuit est composé de jonctions qui connectent les ports d'entrée aux ports de sortie par N lignes de transmission 18 différentes et parallèles entre elles. Il existe plusieurs configurations possibles de matrice de Butler. Sur le schéma de la figure 2, la matrice de Butler comporte des coupleurs 15, de type coupleurs hybrides 3 dB, 90°, permettant de combiner ou de diviser la puissance des ondes radiofréquence d'entrée, des déphaseurs 16 aptes à appliquer un retard de phase de 45°, et des dispositifs de croisement 17 permettant de croiser deux lignes de transmission différentes. De manière connue, chaque dispositif de croisement 17 peut être constitué de deux coupleurs 3 dB, 90° connectés en série. Un exemple d'architecture de matrice de Butler à quatre ports d'entrée A, B, C, D et quatre ports de sortie A', B', C', D' est représenté sur la figure 2. Sur cet exemple, la matrice de Butler comporte quatre coupleurs 3 dB, 90°, deux déphaseurs 45° et un dispositif de croisement. Ce type de formateur de faisceaux est bien adapté pour la formation d'un petit nombre de faisceaux mais devient trop complexe lorsque le nombre de faisceaux augmente. En outre, il ne permet la formation des faisceaux que dans une seule direction de l'espace perpendiculaire aux lignes de transmission 18.

[0004] Selon une autre technologie, il existe des formateurs de faisceaux quasi-optiques planaires utilisant une propagation électromagnétique des ondes radiofréquence provenant de plusieurs sources d'alimentation placées en entrée, par exemple des cornets rayonnants, selon un mode de propagation en général TEM entre deux plaques métalliques parallèles. La focalisation et la collimation des faisceaux peuvent être réalisées par une lentille optique 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, la lentille optique ou respectivement le réflecteur étant insérés sur le trajet de propagation des ondes radiofréquences, entre les deux plaques métalliques parallèles. Différents types de lentilles optiques peuvent être utilisés, ces lentilles optiques servant essentiellement de correcteurs de phase et permettant dans la plupart des cas de convertir une, ou plusieurs, onde cylindrique émise par les sources en une, ou plusieurs, onde plane se propageant dans le guide d'onde à plaques métalliques parallèles. La lentille optique peut comporter deux bords opposés à profils paraboliques, respectivement d'entrée et de sortie. Alternativement, la lentille optique peut être une lentille diélectrique, ou une lentille à gradient d'indice à bords droits, ou tout autre type de lentille optique. Dans le cas d'un formateur de faisceaux quasi-optique à lentille optique, pour obtenir une antenne plane, il suffit de placer des éléments rayonnants d'entrée autour du bord d'entrée de la lentille optique et de fixer des sondes radiofréquences sur le bord de sortie de la lentille optique, puis de relier chaque sonde radiofréquence à un élément rayonnant de sortie par l'intermédiaire d'une ligne de transmission, par exemple un câble coaxial. Dans le cas d'un formateur de faisceaux pillbox, pour obtenir une antenne plane, des éléments rayonnants d'entrée sont placés devant le réflecteur parabolique intégré, et des éléments rayonnants de sortie sont placés sur le trajet des ondes radiofréquences réfléchies par le réflecteur parabolique. Il existe différentes solutions de formateurs de faisceaux pillbox, utilisant un ou plusieurs réflecteurs.

[0005] Comme cette technologie utilise des guides d'onde à plaques parallèles, en alternative à l'utilisation de plusieurs éléments rayonnants discrets alignés côte à côte, il est possible d'utiliser une ouverture linéaire rayonnante continue en sortie de chaque guide d'onde à plaques parallèles. Ces ouvertures linéaires 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, en raison de l'absence de quantification, et en bande passante en raison de l'absence de modes de propagation résonants.

[0006] Un formateur de faisceaux quasi-optique est de réalisation beaucoup plus simple que les formateurs de faisceaux traditionnels à guides d'onde individuels car il ne comporte ni coupleur, ni dispositif de croisement. Ce-

pendant, tous les formateurs de faisceaux planaires connus ne sont capables de former des faisceaux que selon une seule dimension de l'espace, dans une direction parallèle au plan des plaques métalliques. Pour former des faisceaux selon deux dimensions de l'espace, dans deux directions, respectivement parallèle et orthogonale au plan des plaques métalliques, il est nécessaire de combiner orthogonalement entre eux, deux ensembles de formation de faisceaux, chaque ensemble de formation de faisceaux étant constitué d'un empilement de plusieurs couches de formateurs de faisceaux unidirectionnels. Pour combiner orthogonalement deux ensembles de formation de faisceaux, il est en outre nécessaire d'aménager des interfaces de connexion, en particulier des connecteurs d'entrée/sortie, sur chaque ensemble de formation de faisceaux puis de relier deux à deux les différentes entrées et sorties correspondantes des deux ensembles de formation de faisceaux par des câbles d'interconnexion dédiés comme représenté par exemple dans le document US 5 936 588 pour des formateurs de faisceaux à lentille. Cette architecture est satisfaisante pour la formation d'un petit nombre de faisceaux, mais devient très complexe et d'encombrement trop important lorsque le nombre de faisceaux augmente.

[0007] A notre connaissance, jusqu'à ce jour, il n'existe pas de dispositif de formation de faisceaux planaire permettant de former des faisceaux selon deux dimensions de l'espace. Par ailleurs, il n'existe pas non plus de solutions simples d'interconnexion de deux formateurs de faisceaux unidirectionnels permettant de s'affranchir des interfaces de connexion et des câbles d'interconnexions.

[0008] Le but de l'invention est de remédier aux inconvénients des formateurs de faisceaux connus et de réaliser un formateur de faisceaux bidimensionnel planaire comportant des lignes de transmission continues et permettant de former des faisceaux selon deux dimensions de l'espace sans aucune interface de connexion ni aucun câble d'interconnexion.

[0009] Un autre but de l'invention est de réaliser une nouvelle matrice de Butler particulièrement compacte et ayant une nouvelle architecture à plaques parallèles compatible avec les formateurs de faisceaux quasi-optiques.

[0010] Pour cela, l'invention concerne une matrice de Butler compacte comportant N guides d'onde, où N est un nombre entier supérieur à trois et choisi parmi les puissances de deux, des coupleurs destinés à coupler deux guides d'onde adjacents, des déphaseurs et au moins un dispositif de croisement apte à croiser deux guides d'onde adjacents, le dispositif de croisement comportant deux coupleurs connectés en série. La matrice de Butler est constituée d'une structure multicouches planaire comportant N+1 plaques métalliques parallèles entre elles, empilées les unes au-dessus des autres, et régulièrement espacées les unes des autres, chaque espace entre deux plaques métalliques consécutives formant un guide d'onde à plaques parallèles ayant deux parois opposées, respectivement supérieure et inférieure,

constituées par les deux plaques métalliques consécutives, deux guides d'onde à plaques métalliques adjacents comportant une paroi commune constituée par l'une des plaques métalliques, et les coupleurs, les déphaseurs et le dispositif de croisement sont constitués par des métasurfaces intégrées dans les parois respectives des guides d'onde à coupler, à croiser et à déphaser.

[0011] Avantageusement, les métasurfaces constituant chaque coupleur et le dispositif de croisement entre deux guides d'onde adjacents peuvent être constituées d'un support métallisé muni d'une pluralité de trous traversants régulièrement répartis dans une zone de couplage, respectivement une zone de croisement, de la paroi commune aux deux guides d'onde adjacents correspondants, la zone de croisement étant constituée de deux zones de couplage disposées en cascade l'une derrière l'autre.

[0012] Avantageusement, les métasurfaces constituant chaque déphaseur intégré dans un guide d'onde peuvent être constituées de corrugations aménagées dans une zone de déphasage, sur les deux parois opposées du guide d'onde correspondant.

[0013] Alternativement, selon un mode de réalisation particulier, chaque plaque métallique peut être constituée d'un revêtement métallique déposé sur un substrat diélectrique et chaque coupleur et dispositif de croisement entre deux guides d'ondes adjacents peut être constitué d'une pluralité de fentes gravées dans le revêtement métallique, les fentes étant régulièrement réparties dans toute la zone de couplage, respectivement dans toute la zone de croisement, la zone de croisement étant constituée de deux zones de couplage disposées en cascade l'une derrière l'autre.

[0014] Alternativement, chaque déphaseur peut être constitué d'un ensemble de patchs métalliques périodiquement photogravés sur le substrat diélectrique des deux parois d'un guide d'onde à déphaser.

[0015] L'invention concerne aussi un formateur de faisceaux planaire apte à synthétiser des faisceaux selon deux dimensions de l'espace, comportant au moins une matrice de Butler à N+1 plaques parallèles.

[0016] Avantageusement, le formateur de faisceau peut comporter deux matrices de Butler différentes empilées l'une au-dessus de l'autre et respectivement dédiées à deux polarisations différentes orthogonales entre elles.

[0017] Selon un mode de réalisation, le formateur de faisceaux peut comporter en outre N lentilles optiques respectivement intégrées, en sortie, ou alternativement en entrée, de la matrice de Butler, dans les N guides d'onde délimités par les N+1 plaques métalliques.

[0018] Avantageusement, chaque lentille optique peut être une lentille d'épaisseur constante et à gradient d'indice.

[0019] Selon un autre mode de réalisation, le formateur de faisceaux peut comporter deux étages empilés, respectivement inférieur et supérieur, chaque étage com-

portant un nombre identique de guides d'onde à plaques parallèles, la matrice de Butler étant située à l'étage supérieur, chaque guide d'onde de l'étage inférieur étant connecté en série à un guide d'onde de l'étage supérieur par un guide d'onde intermédiaire respectif comportant des plaques métalliques parallèles disposées orthogonalement au plan XOY des deux étages inférieur et supérieur, les plaques métalliques parallèles constituant les parois de chaque guide d'onde intermédiaire formant un réflecteur intégré dans le formateur de faisceaux.

[0020] L'invention concerne également une antenne plane comportant au moins une matrice de Butler à N+1 plaques parallèles, l'antenne comportant en outre M cornets rayonnants d'alimentation connectés en entrée de chaque guide d'onde à plaques métalliques parallèles, soit M.N cornets rayonnants d'alimentation pour les N guides d'onde à plaques métalliques, où M est supérieur à 2, et N cornets rayonnants de sortie respectivement connectés aux N guides d'onde à plaques métalliques.

[0021] Avantageusement, chaque cornet rayonnant de sortie peut être un cornet longitudinal couplé à une ouverture linéaire rayonnante s'étendant transversalement sur toute la largeur du guide d'onde à plaques parallèles correspondant.

[0022] Avantageusement, les ouvertures linéaires rayonnantes peuvent être orientées selon une direction perpendiculaire au plan des plaques parallèles du guide d'onde à plaques parallèles correspondant.

[0023] 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 synoptique d'un exemple de formateur de faisceaux traditionnel, selon l'art antérieur ;
- figure 2 : un exemple de schéma synoptique d'une matrice de Butler, selon l'art antérieur ;
- figures 3a et 3b : deux schémas, respectivement en perspective et en coupe longitudinale, d'un premier exemple de réalisation d'une matrice de Butler comportant un empilement de plusieurs guides d'onde à plaques parallèles, selon l'invention ;
- figures 4a et 4b : deux schémas, respectivement en coupe longitudinale et en vue de dessus, illustrant un exemple de zone de couplage insérée dans une plaque métallique commune entre deux guides d'onde à plaques métalliques, selon l'invention ;
- figure 5 : un schéma en coupe longitudinale, d'un deuxième exemple de réalisation d'une matrice de Butler comportant un empilement composite de plusieurs couches de substrats gravés et métallisés séparées par des espaceurs, selon l'invention ;
- figure 6 : un schéma en perspective, d'un premier exemple de formateur de faisceaux à deux dimensions, connecté à des ouvertures linéaires rayonnantes, et comportant une matrice de Butler, selon

l'invention ;

- figure 7 : un schéma en perspective, d'un deuxième exemple de formateur de faisceaux à deux dimensions, connecté à des ouvertures linéaires rayonnantes, et comportant une matrice de Butler, selon l'invention ;
- figure 8a : un schéma en perspective d'un exemple de lentille diélectrique intégrée dans un guide d'onde à plaques parallèles ; selon l'invention ;
- figure 8b : un schéma en perspective d'un exemple de lentille d'épaisseur constante et à gradient d'indice intégrée dans un guide d'onde à plaques parallèles ; selon l'invention ;
- figure 9 : un schéma, en coupe longitudinale, d'un troisième exemple de formateur de faisceaux à deux dimensions comportant une matrice de Butler, selon l'invention ;
- figure 10a et 10b : un schéma, en vue de dessus, de deux étages, respectivement inférieur et supérieur, d'une antenne plane selon le mode de réalisation de la figure 9 ;
- figure 11 : un schéma en coupe longitudinale, d'un exemple de matrice de Butler bi-polarisation, selon l'invention.

[0024] Conformément à l'invention, comme représenté sur les schémas des figures 3a et 3b, la matrice de Butler est constituée d'une structure multicouche plane comportant N+1 plaques métalliques 20, parallèles entre elles, empilées les unes au-dessus des autres, et régulièrement espacées les unes des autres. L'espace 21 entre deux plaques métalliques consécutives, constitué d'air ou de diélectrique, forme un guide d'onde à plaques parallèles PPW (en anglais : parallel plate waveguide) dont les parois supérieure et inférieure sont les deux plaques métalliques consécutives. Sur les différentes figures, les plaques métalliques sont parallèles au plan XOY, la direction X correspondant à la direction longitudinale de propagation des ondes radiofréquences dans chaque guide d'onde à plaques parallèles. Deux guides d'onde adjacents PPW1 et PPW2, PPW2 et PPW3, PPW3 et PPW4, comportent une paroi commune constituée par l'une des plaques métalliques 20. La matrice de Butler comporte donc N guides d'onde à plaques parallèles, empilés les uns au-dessus des autres selon la direction Z orthogonale au plan XOY, où N est un nombre entier supérieur à trois et choisi parmi les puissances de deux. La matrice de Butler comporte également des coupleurs, par exemple de type coupleur hybride à 3dB, 90°, chaque coupleur étant destinés à coupler deux guides d'onde adjacents entre eux, des déphaseurs à 45° et des dispositifs de croisement (en anglais : crossover) destinés à croiser entre eux deux guides d'onde adjacents. Selon l'invention, les coupleurs 15, les dispositifs de croisement 17 et les déphaseurs 16 sont intégrés localement dans les plaques métalliques formant les parois des guides d'onde PPW1, PPW2, PPW3, PPW4 dans des zones respectives de couplage 22a, 22b, 22c, 22d,

de croisement 24 et de déphasage 23a, 23b, situées sur le trajet de propagation des ondes radiofréquences et s'étendant transversalement, parallèlement à la direction Y, sur toute la largeur D de la plaque métallique 20 correspondante.

[0025] Pour coupler ou croiser deux guides d'onde adjacents entre eux, la plaque métallique formant la paroi commune entre les deux guides d'onde adjacents, comporte des zones de couplage et des zones de croisement constituées par des métasurfaces intégrées localement dans ladite paroi commune. Une métasurface est une surface texturée constituée d'une distribution planaire dense de petits éléments identiques ou non, fixés, ou imprimés, ou gravés, sur un support très fin. Une métasurface est caractérisée par une impédance de surface qui modifie localement la propagation longitudinale d'une onde guidée dans un guide d'onde. Une métasurface possède des propriétés très intéressantes d'un point de vue électromagnétique car elle permet de contrôler la propagation des ondes électromagnétiques le long de sa surface. Suivant les propriétés recherchées, les éléments fixés, ou imprimés, ou gravés peuvent par exemple être des plots métalliques ou des patches métalliques ou des trous, ou des fentes, régulièrement répartis ou de densité variable, la distance entre deux éléments consécutifs étant inférieure à la longueur d'onde centrale de fonctionnement. Comme représenté sur les figures 4a et 4b, selon l'invention, dans chaque zone de couplage 22a, 22b, 22c, 22d et dans la zone de croisement 24 qui est constituée de deux zones de couplage disposées en cascade l'une derrière l'autre, la métasurface est constituée d'un support métallisé 26 muni d'une pluralité de trous traversants 25 régulièrement répartis dans toute la zone de couplage, respectivement dans toute la zone de croisement. La distance séparant deux trous adjacents est très inférieure, d'au moins un facteur trois, aux longueurs d'onde guidées dans le guide à plaques parallèles. La métasurface présente une haute impédance de surface réactive, par exemple 100 Ohms, dont la valeur dépend de la densité des trous et de la longueur L de la zone de couplage. A titre d'exemple non limitatif, à 25 GHz, un coupleur à 3dB, 90° synthétisé par une métasurface ayant une impédance de surface réactive de 100 Ohms a été obtenu avec des trous régulièrement répartis sur une longueur L égale à 35 mm. Deux métasurfaces identiques mises bout à bout synthétisent la zone de croisement. Il a été vérifié que ces impédances de surface sont efficaces pour des ondes radiofréquences ayant différents angles d'incidence.

[0026] Pour réaliser un déphasage dans un guide d'onde à plaques parallèles, PPW1, PPW4, les deux plaques métalliques formant les parois supérieure et inférieure du guide d'onde correspondant comportent des zones de déphasage 23a, 23b pouvant être constituées de corrugations aménagées localement sur la surface interne des deux plaques métalliques correspondantes et dont la largeur est égale à la largeur transversale D des plaques métalliques correspondantes. Dans l'exemple des

figures 3a et 3b, le nombre N de guides d'onde est égal à quatre, et le nombre de plaques métalliques 20 est égal à cinq. Entre les entrées I1, I2, I3, I4, et les sorties O1, O2, O3, O4, de la matrice de Butler, une première zone de couplage 22a est intégrée dans la deuxième plaque métallique commune au premier guide d'onde PPW1 et au deuxième guide d'onde PPW2 et une deuxième zone de couplage 22b est intégrée dans la quatrième plaque métallique commune au troisième guide d'onde PPW3 et au quatrième guide d'onde PPW4. En aval des deux zones de couplage 22a, 22b, la matrice de Butler comporte une zone de croisement 24 constituée de deux coupleurs hybrides 3dB, 90°, intégrés en cascade, l'un derrière l'autre, dans la troisième plaque métallique commune aux deuxième et troisième guides d'onde PPW2, PPW3, et deux zones de déphasage 23a, 23b respectivement aménagées dans les parois supérieure et inférieure des premier et quatrième guides d'onde PPW1, PPW4. Enfin, en aval des zones de déphasage 23a, 23b et de la zone de croisement 24, une troisième et une quatrième zones de couplage 23c, 23d, sont respectivement intégrées dans la deuxième plaque métallique commune aux premier et deuxième guides d'onde PPW1, PPW2 et dans la quatrième plaque métallique commune aux troisième et quatrième guides d'onde PPW3, PPW4. En fonctionnement, dans la zone de croisement 24 entre deux guides d'onde adjacents PPW2, PPW3, les signaux radiofréquences se propageant dans les deux guides d'onde adjacents, se croisent, puis échangent mutuellement leur guide d'onde de propagation, ce qui permet de regrouper deux à deux des signaux qui se propagent initialement dans des guides d'onde non adjacents pour les coupler entre eux. Ainsi, dans cet exemple, les signaux radiofréquences qui se propagent initialement dans les guides d'onde PPW2 et PPW3 sont échangés dans la zone de croisement 24 et se propagent ensuite, en aval de la zone de croisement, respectivement dans les guides d'onde PPW3 et PPW2. Ils peuvent donc ensuite être respectivement couplés aux signaux radiofréquences qui se propagent dans les guides d'onde PPW4 et PPW1. Pour que la matrice de Butler fonctionne correctement pour plusieurs incidences d'ondes radiofréquences se propageant, selon un mode TEM, dans les guides d'onde à plaques parallèles, il est nécessaire que les zones de déphasage, de couplage et de croisement soient compactes et donc que les impédances de surface soient élevées. La dimension des zones de déphasage, de couplage et de croisement est d'autant plus réduite que la matrice de Butler fonctionne sur une plus large bande et pour des incidences d'ondes radiofréquence plus élevées.

[0027] Alternativement, comme représenté sur l'exemple de la figure 5, la matrice de Butler peut être réalisée selon une technologie de circuit imprimé en utilisant une structure composite multicouches comportant un empilement de plusieurs couches constituées de substrats gravés et métallisés S1, S2, S3, S4, S5 pouvant éventuellement être séparés par des espaceurs E1, E2,

E3, E4. Chaque couche forme un guide d'onde comportant deux parois métallisées parallèles entre elles, chaque paroi étant constituée d'un revêtement métallique 33 déposé sur un substrat diélectrique 32, l'espaceur situé entre deux parois métallisées pouvant être constitué d'air ou comporter un matériau transparent aux ondes radiofréquence, tel que par exemple un matériau en nid d'abeilles, ou un matériau en quartz, ou un matériau en kevlar, ou une mousse en polymère expansé. Le rôle d'un espaceur est de réduire les pertes de propagation, mais cet espaceur n'est pas indispensable. Le revêtement métallique 33 déposé sur le substrat 32 est alors équivalent à une plaque métallique 20. Les zones de couplage 22a, 22b, 22c, 22d et de croisement 24 entre deux guides d'onde adjacents sont alors constituées d'une pluralité de fentes gravées dans le revêtement métallique, les fentes étant régulièrement réparties dans toute la zone de couplage, respectivement dans toute la zone de croisement, la longueur de la zone de croisement 24 étant égale au double de la longueur d'une zone de couplage. Les zones de déphasage sont constituées de métasurfaces, déposées sur le revêtement métallique, qui modifient le retard de propagation des ondes radiofréquence. Selon l'invention, dans la zone de déphasage 23a, 23b d'un guide d'onde, les métasurfaces peuvent, par exemple, être constituées d'un ensemble de plots métalliques, ou de patches métalliques 30 périodiquement photogravés par photolithographie sur la face interne du substrat diélectrique des deux parois du guide d'onde correspondant. Bien que ce ne soit pas indispensable, les patches métalliques peuvent par exemple être court-circuités en les reliant au revêtement métallique de la paroi du guide d'onde correspondant, par un trou traversant métallisé 31 aménagé dans le substrat diélectrique correspondant. La période de répartition des patches métalliques, égale à la distance entre deux patches métalliques adjacents, est inférieure à la longueur d'onde de propagation des ondes radiofréquences dans le guide d'onde à parois métalliques parallèles.

[0028] La matrice de Butler selon l'invention constitue un formateur de faisceaux à une dimension lorsqu'elle est utilisée seule. Selon l'invention, le formateur de faisceaux planaire à deux dimensions comporte une matrice de Butler 41 comportant N guides d'onde PPW à plaques parallèles, empilés les uns au-dessus des autres, où N est un nombre entier supérieur à trois et choisi parmi les puissances de deux, par exemple, 4, 8, 16, 32..., et comporte en outre un dispositif optique de type lentille optique ou réflecteur. Sur les figures 6 et 7, le nombre N de guides d'onde PPW1, PPW2, PPW3, PPW4, est égal à 4. La structure de la matrice de Butler est identique à celle représentée sur les figures 3a et 3b. En outre, le formateur de faisceaux comporte N lentilles optiques 42 respectivement intégrées dans les N guides d'onde délimités par les N+1 plaques métalliques parallèles. Sur la figure 6, les lentilles optiques 42 sont aménagées dans les guides d'onde PPW, en entrée de la matrice de Butler 41, entre des cornets d'alimentation 43 d'entrée de cha-

que guide d'onde et la matrice de Butler 41, alors que sur la figure 7, les lentilles optiques 42 sont aménagées dans les guides d'onde PPW en sortie de la matrice de Butler 41, entre la matrice de Butler et des cornets de sortie 44. Chaque lentille optique 42 peut par exemple être une lentille diélectrique dont la permittivité diélectrique est différente de celle du milieu de propagation des guides d'onde à plaques parallèles PPW1, PPW2, PPW3, PPW4 (qui est égale à 1 si les guides d'onde PPW1,..., PPW4 sont remplis d'air ou égale à la permittivité du substrat 32 dans le cas où les guides d'onde sont constitués d'un empilement de couches de substrats métallisés et gravés). Chaque lentille optique 42 intégrée dans un guide d'onde à plaques parallèles peut comporter des bords paraboliques comme représenté sur le guide d'onde PPW de la figure 8a, ou être une lentille à épaisseur variable, ou, pour éviter des discontinuités de forme, être une lentille à bords droits, d'épaisseur constante et à gradient d'indice de réfraction comme représenté sur le guide d'onde PPW de la figure 8b, ou tout autre type de lentille optique à indice de réfraction variable permettant de déphaser les ondes radiofréquence selon une loi de phase prédéfinie.

[0029] Le formateur de faisceau planaire ainsi réalisé permet avec la matrice de Butler 41, de synthétiser des faisceaux dans le plan XOZ perpendiculaire aux plaques parallèles et permet avec la lentille optique 42 de synthétiser des faisceaux dans le plan XOY parallèle aux plaques parallèles sans aucune discontinuité de propagation dans les guides d'ondes à plaques parallèles et sans utiliser aucune interconnexion, ni aucun câble de liaison.

[0030] Pour obtenir une antenne plane, M cornets d'alimentation 43 alignés les uns à côté des autres sont connectés en entrée de chaque guide d'onde PPW, où M est supérieur à deux, et en sortie du formateur de faisceaux, chaque guide d'onde PPW peut être relié à plusieurs éléments rayonnants de sortie ou à un seul cornet rayonnant longitudinal 44 couplé à une ouverture linéaire rayonnante. Sur les figures 6, 7, 8a et 8b, le nombre M de cornets d'alimentation 43 est égal à 7 par guide d'onde, soit M.N cornets d'entrée au total, égal à 28 pour les quatre guides d'onde PPW. Sur les figures 6 et 7, un seul cornet rayonnant longitudinal 44 est utilisé en sortie de chaque guide d'onde PPW. Chaque ouverture linéaire rayonnante, couplée au cornet rayonnant longitudinal 44 de sortie, s'étend transversalement sur toute la largeur D du guide d'onde correspondant. Sur les figures 6 et 7, chaque ouverture linéaire rayonnante est orientée pour rayonner selon une direction Z perpendiculaire au plan XOY des plaques parallèles mais ce n'est pas indispensable, les ouvertures linéaires pourraient aussi être dans le prolongement des plaques parallèles. Il est à noter que dans les figures 6 et 7, le plan de rayonnement des cornets rayonnants longitudinaux n'est pas dans le prolongement des plaques parallèles, mais est replié par rapport aux plaques parallèles. Bien entendu, cela n'est pas indispensable. Il est également possible de disposer les

cornets rayonnants dans le prolongement des plaques parallèles, mais dans ce cas, il peut être nécessaire d'ajouter une transition entre chaque cornet et le guide d'onde correspondant lorsque la largeur des cornets est supérieure à l'épaisseur des guides d'onde. Un cornet longitudinal présente l'avantage de rayonner l'énergie sur toute la largeur d'ouverture du guide d'onde à plaques parallèles, 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.

[0031] Les dimensions du formateur de faisceau incluant des lentilles optiques sont fortement contraintes par la distance focale entre chaque lentille optique 42 et les cornets d'alimentation d'entrée 43. Plus la distance focale est grande, meilleure est la qualité des faisceaux dépointés. Lorsque les lentilles optiques sont aménagées en sortie de la matrice de Butler comme représenté sur la figure 7, la distance focale requise entre chaque lentille optique et les cornets d'alimentation est avantageusement utilisée par la matrice de Butler, ce qui permet de réduire les dimensions du formateur de faisceau qui est alors plus compact. Dans ce mode de réalisation, les ondes radiofréquences qui se propagent dans la matrice Butler ne sont plus planes mais cylindriques.

[0032] La figure 9 illustre un autre mode de réalisation d'un formateur de faisceau planaire à deux dimensions ne présentant aucune discontinuité de propagation. Dans ce mode de réalisation, le formateur de faisceaux planaire comporte $2N+1$ plaques parallèles 20 constituant les parois respectives de $2N$ guides d'onde à plaques parallèles répartis sur deux étages, respectivement inférieur 50 et supérieur 51. Chaque étage comporte N guides d'onde en technologie PPW, empilés les uns au-dessus des autres, où N est supérieur à trois. Chaque guide d'onde à plaques parallèles PPW1, PPW2, PPW3, PPW4 de l'étage inférieur est respectivement connecté en série à un guide d'onde à plaques parallèles PPW8, PPW7, PPW6, PPW5 de l'étage supérieur par l'intermédiaire d'un guide d'onde intermédiaire respectif, à plaques parallèles PPWP1, PPWP2, PPWP3, PPWP4, disposé orthogonalement au plan XOY des deux étages du formateur de faisceaux. Les plaques métalliques parallèles constituant les parois de chaque guide d'onde intermédiaire forment alors un réflecteur intégré dans le formateur de faisceaux, comme dans un formateur de faisceaux de type pillbox. Les plaques métalliques parallèles constituant les parois des guides d'onde intermédiaires peuvent comporter un profil de forme choisie, qui peut par exemple, être de forme droite comme illustré sur la figure 9 ou de forme courbée, par exemple de forme parabolique, comme illustré sur les figures 10a et 10b, qui représentent deux étages, inférieur et supérieur, d'une antenne plane comportant un tel formateur de faisceaux. En sortie du réflecteur, les N guides d'onde PPW8, PPW7, PPW6, PPW5 de l'étage supérieur sont couplés entre eux par une matrice de Butler conforme à l'invention et telle que décrite en liaison avec les figures

3a et 3b.

[0033] Pour réaliser une antenne plane, il suffit alors d'équiper, chaque guide d'onde PPWP1, PPWP2, PPWP3, PPWP4 de l'étage inférieur du formateur de faisceaux, de plusieurs cornets rayonnants 43 d'alimentation et en sortie de la matrice de Butler 41, de coupler chaque guide d'onde PPW8, PPW7, PPW6, PPW5 de l'étage supérieur à un cornet longitudinal 44 de sortie couplé à une ouverture linéaire rayonnante s'étendant transversalement sur toute la largeur D du guide d'onde à plaques métalliques correspondant, comme représenté sur les figures 10a et 10b.

[0034] Pour un fonctionnement en double polarisation, par exemple circulaire, l'invention consiste à utiliser deux matrices de Butler identiques, respectivement dédiées à chaque polarisation, et empilées l'une au-dessus de l'autre comme représenté sur la figure 11 où chaque matrice de Butler comporte quatre guides d'onde A, B, C, D et A', B', C', D', en technologie guides d'onde à plaques parallèles PPW. Chaque matrice de Butler étant dédiée à l'une des deux polarisations, en sortie du formateur de faisceau, les guides d'onde PPW fonctionnant dans une même polarisation sont adjacents les uns aux autres. Or, pour réaliser une antenne à double polarisation circulaire, il est nécessaire d'alimenter des éléments rayonnants de sortie en double polarisation circulaire par l'intermédiaire de transducteurs orthomodes OMT. Il est donc nécessaire, en sortie des matrices de Butler, de regrouper deux à deux, des guides d'onde de polarisation différentes. Pour cela, en sortie des deux matrices de Butler, l'invention consiste en outre, à croiser successivement des guides d'onde adjacents choisis pour regrouper deux à deux, les guides d'onde de polarisations différentes. Les croisements sont réalisés par des métasurfaces intégrées dans les plaques métalliques communes à deux guides d'onde adjacents à croiser, comme expliqué en liaison avec la figure 3b. Ainsi, dans l'exemple de la figure 11, un premier croisement est réalisé entre les guides d'onde D et A' par une métasurface intégrée dans la cinquième plaque métallique 5. Puis deux croisements successifs sont respectivement réalisés entre les guides d'onde D et C et entre les guides d'onde B et C par des métasurfaces correspondantes intégrées dans les quatrième et troisième plaques métalliques 4, 3. De même symétriquement, deux croisements successifs sont respectivement réalisés entre les guides d'onde A' et B' et B' et C' par des métasurfaces correspondantes intégrées dans les plaques 6, 7. Les différents croisements réalisés, permettent en sortie des deux matrices de Butler, de regrouper les guides d'onde A et A', les guides d'onde B et B', les guides d'onde C et C' et les guides d'onde D et D'. Le nombre de guides d'onde de chaque matrice de Butler n'est pas limité à quatre mais doit être égal à une puissance de deux.

[0035] 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 dé-

crits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

Revendications

1. Matrice de Butler compacte comportant N guides d'onde, où N est un nombre entier supérieur à trois et choisi parmi les puissances de deux, des coupleurs (22a, 22b, 22c, 22d) destinés à coupler deux guides d'onde adjacents, des déphaseurs (23a, 23b) et au moins un dispositif de croisement (24) apte à croiser deux guides d'onde adjacents, le dispositif de croisement (24) comportant deux coupleurs connectés en série, la matrice de Butler étant **caractérisée en ce qu'elle** est constituée d'une structure multicouches planaire comportant N+1 plaques métalliques (20) parallèles entre elles, empilées les unes au-dessus des autres, et régulièrement espacées les unes des autres, chaque espace entre deux plaques métalliques consécutives formant un guide d'onde à plaques parallèles (PPW1, PPW2, PPW3, PPW4) ayant deux parois opposées, respectivement supérieure et inférieure, constituées par les deux plaques métalliques consécutives, deux guides d'onde à plaques métalliques adjacents comportant une paroi commune constituée par l'une des plaques métalliques, et **en ce que** les coupleurs (22a, 22b, 22c, 22d), les déphaseurs (23a, 23b) et le dispositif de croisement (24) sont constitués par des métasurfaces intégrées localement dans les parois (20) respectives des guides d'onde à coupler, à croiser et à déphaser.
2. Matrice de Butler selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les métasurfaces constituant chaque coupleur (22a, 22b, 22c, 22d) et le dispositif de croisement (24) entre deux guides d'onde adjacents (PPW1, PPW2), (PPW2, PPW3), (PPW3, PPW4) sont constituées d'un support métallisé (26) muni d'une pluralité de trous traversants (25) régulièrement répartis dans une zone de couplage, respectivement une zone de croisement, de la paroi commune aux deux guides d'onde adjacents correspondants, la zone de croisement étant constituée de deux zones de couplage disposées en cascade l'une derrière l'autre.
3. Matrice de Butler selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** les métasurfaces constituant chaque déphaseur (23a, 23b) intégré dans un guide d'onde (PPW1), (PPW4) sont constituées de corrugations aménagées dans une zone de déphasage, sur les deux parois opposées du guide d'onde correspondant.
4. Matrice de Butler selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** chaque plaque métallique est constituée d'un revêtement métallique (33) déposé sur un substrat diélectrique (32) et **en ce que** chaque coupleur (22a, 22b, 22c, 22d) et le dispositif de croisement (24) entre deux guides d'ondes adjacents est constitué d'une pluralité de fentes gravées dans le revêtement métallique, les fentes étant régulièrement réparties dans toute la zone de couplage, respectivement dans toute la zone de croisement, la zone de croisement étant constituée de deux zones de couplage disposées en cascade l'une derrière l'autre.
5. Matrice de Butler selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** chaque déphaseur est constitué d'un ensemble de patchs métalliques (30) périodiquement photogravés sur le substrat diélectrique (32) des deux parois d'un guide d'onde à déphaser.
6. Formateur de faisceaux planaire **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins une matrice de Butler (41) selon l'une des revendications 1 à 5.
7. Formateur de faisceau planaire selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'il** comporte deux matrices de Butler différentes empilées l'une au-dessus de l'autre et respectivement dédiées à deux polarisations différentes orthogonales entre elles.
8. Formateur de faisceaux planaire selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre N lentilles optiques (42) respectivement intégrées, en sortie de la matrice de Butler (41), dans les N guides d'onde délimités par les N+1 plaques métalliques parallèles.
9. Formateur de faisceaux planaire selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre N lentilles optiques (42) respectivement intégrées, en entrée de la matrice de Butler (41), dans les N guides d'onde délimités par les N+1 plaques métalliques.
10. Formateur de faisceaux planaire selon l'une des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** chaque lentille optique (42) est une lentille d'épaisseur constante et à gradient d'indice.
11. Formateur de faisceaux planaire selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'il** comporte deux étages empilés, respectivement inférieur (50) et supérieur (51), chaque étage comportant un nombre identique de guides d'onde à plaques parallèles, la matrice de Butler (41) étant située à l'étage supérieur (51), chaque guide d'onde à plaques parallèles (PPW1, PPW2, PPW3, PPW4) de l'étage inférieur (50) étant connecté en série à un guide d'onde à plaques parallèles (PPW5, PPW6, PPW7, PPW8) de l'étage supérieur (51) par un guide d'onde intermédiaire respectif (PPWP1, PPWP2, PPWP3, PPWP4) compor-

tant des plaques métalliques parallèles disposées orthogonalement au plan XOY des deux étages inférieur et supérieur, les plaques métalliques parallèles constituant les parois de chaque guide d'onde intermédiaire formant un réflecteur intégré dans le formateur de faisceaux. 5

12. Antenne plane comportant au moins une matrice de Butler selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce qu'elle** comporte en outre M cornets rayonnants d'alimentation (43) connectés en entrée de chaque guide d'onde à plaques métalliques parallèles (20), soit M.N cornets rayonnants d'alimentation pour les N guides d'onde à plaques métalliques parallèles, où M est supérieur à 2, et N cornets rayonnants (44) de sortie respectivement connectés aux N guides d'onde à plaques métalliques parallèles. 10 15
13. Antenne plane selon la revendication 12, **caractérisée en ce que** chaque cornet rayonnant (44) de sortie est un cornet longitudinal couplé à une ouverture linéaire rayonnante s'étendant transversalement sur toute la largeur du guide d'onde à plaques parallèles correspondant. 20 25
14. Antenne plane selon la revendication 13, **caractérisée en ce que** les ouvertures linéaires rayonnantes sont orientées selon une direction perpendiculaire au plan des plaques parallèles (20) du guide d'onde à plaques parallèles correspondant. 30

35

40

45

50

55

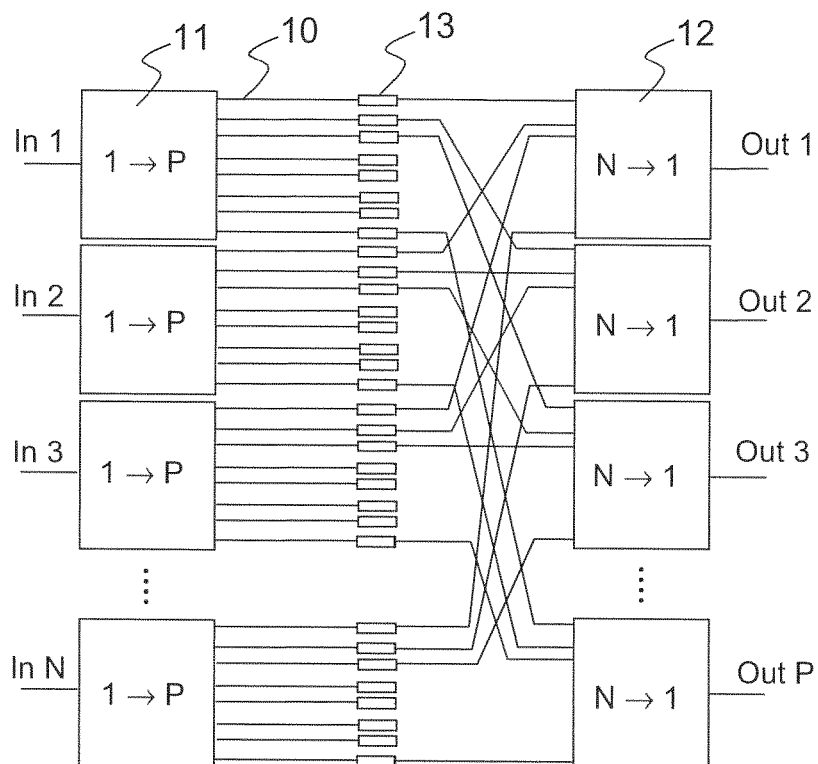


FIG.1

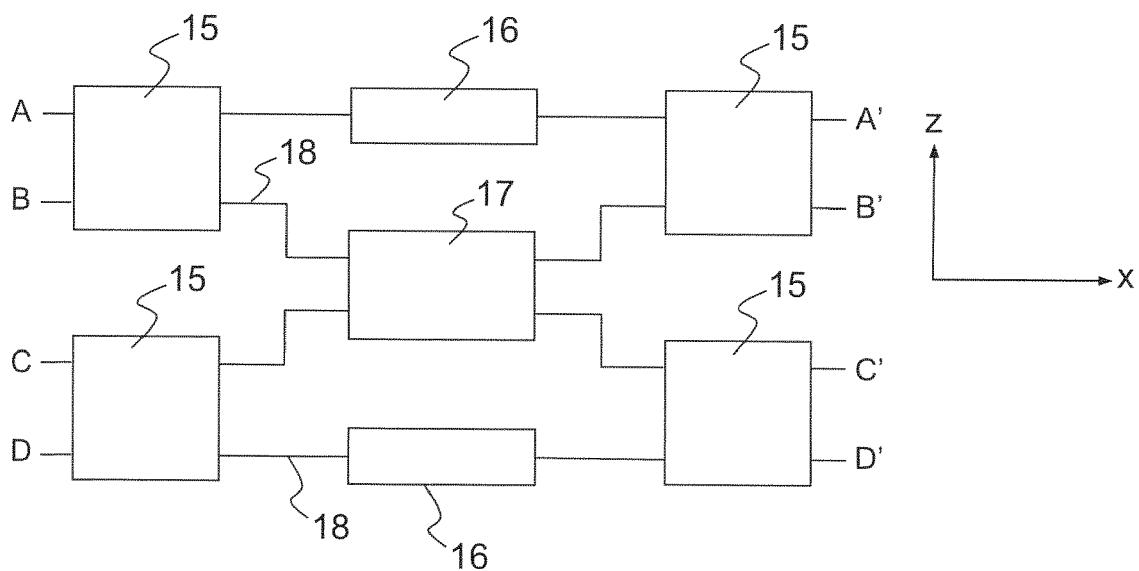
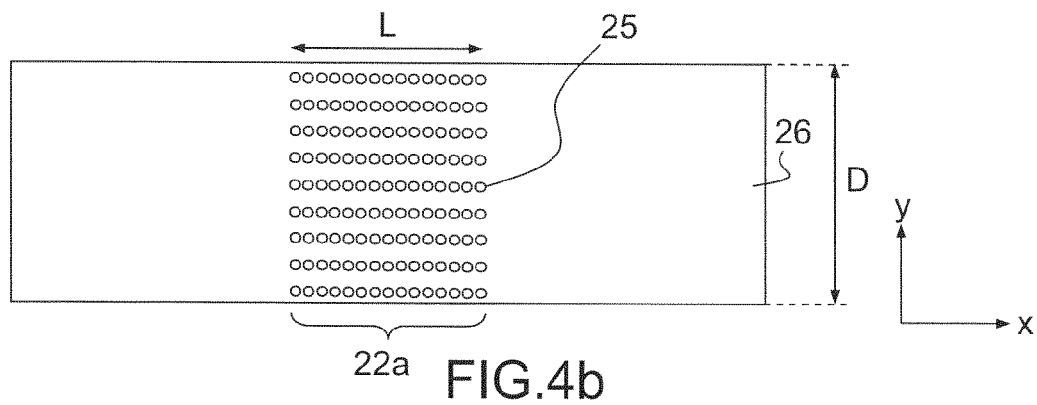
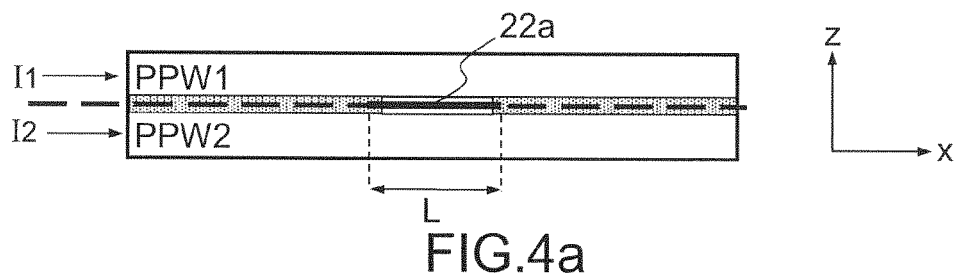
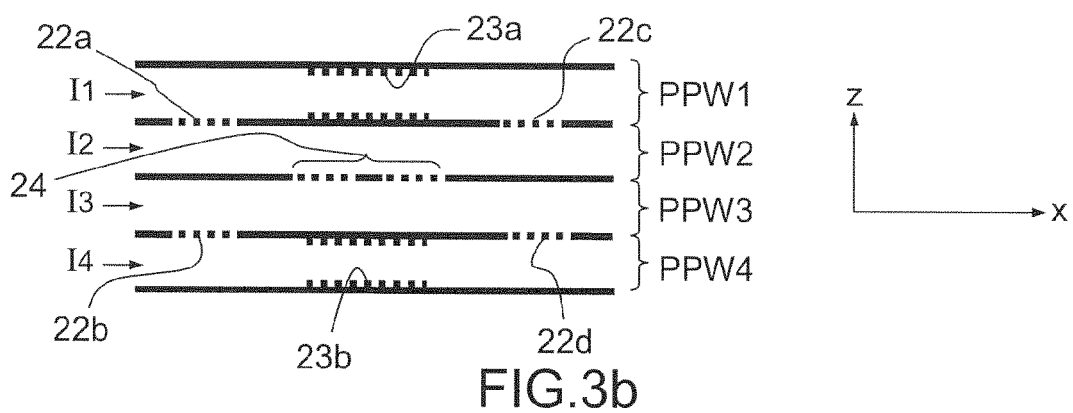
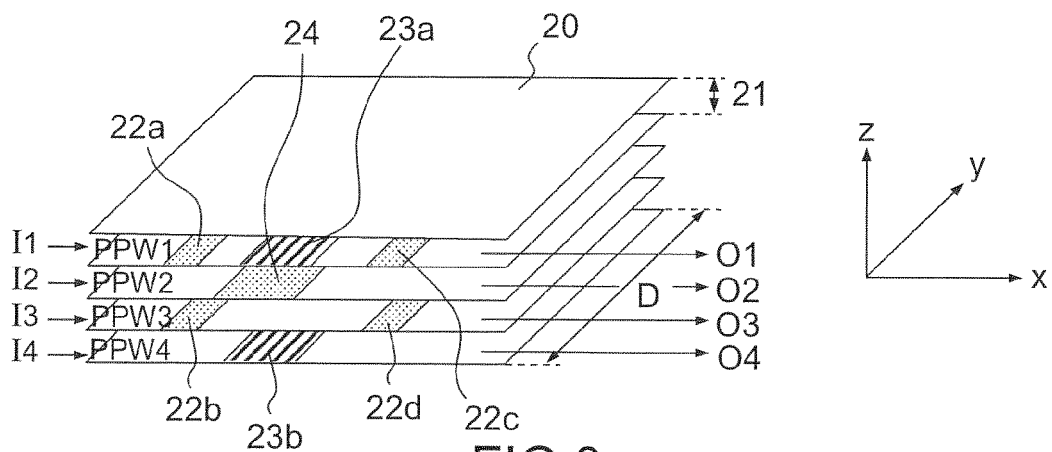


FIG.2



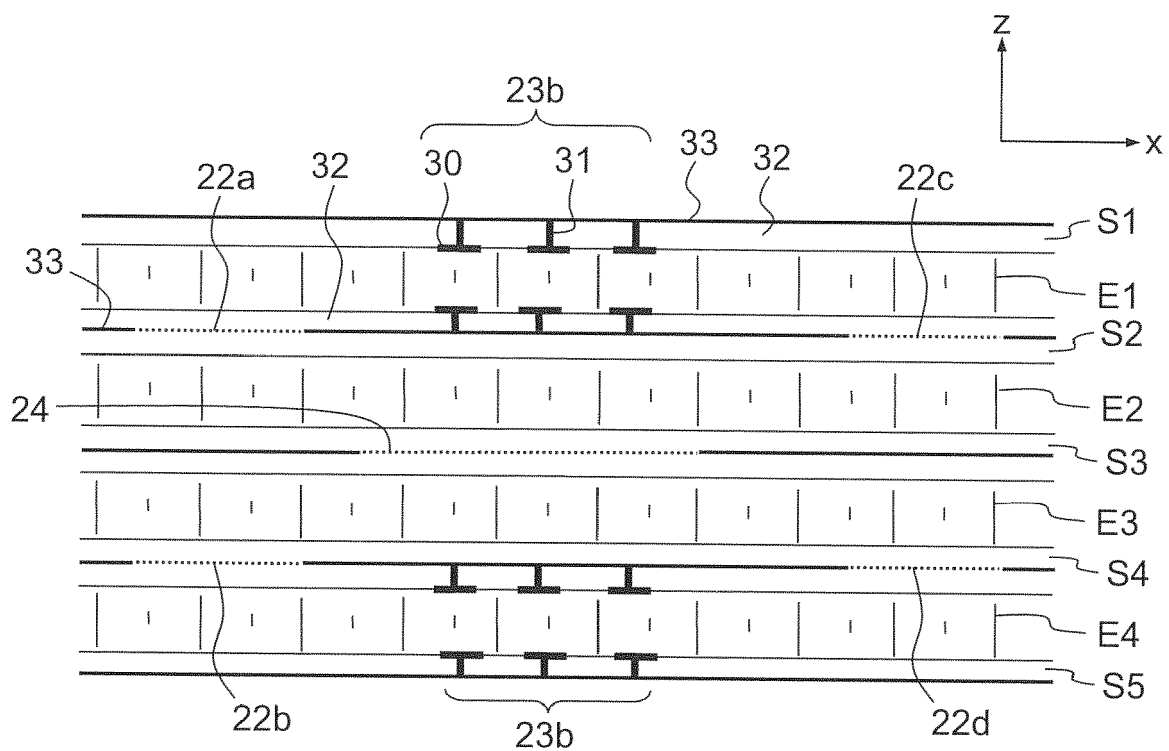


FIG. 5

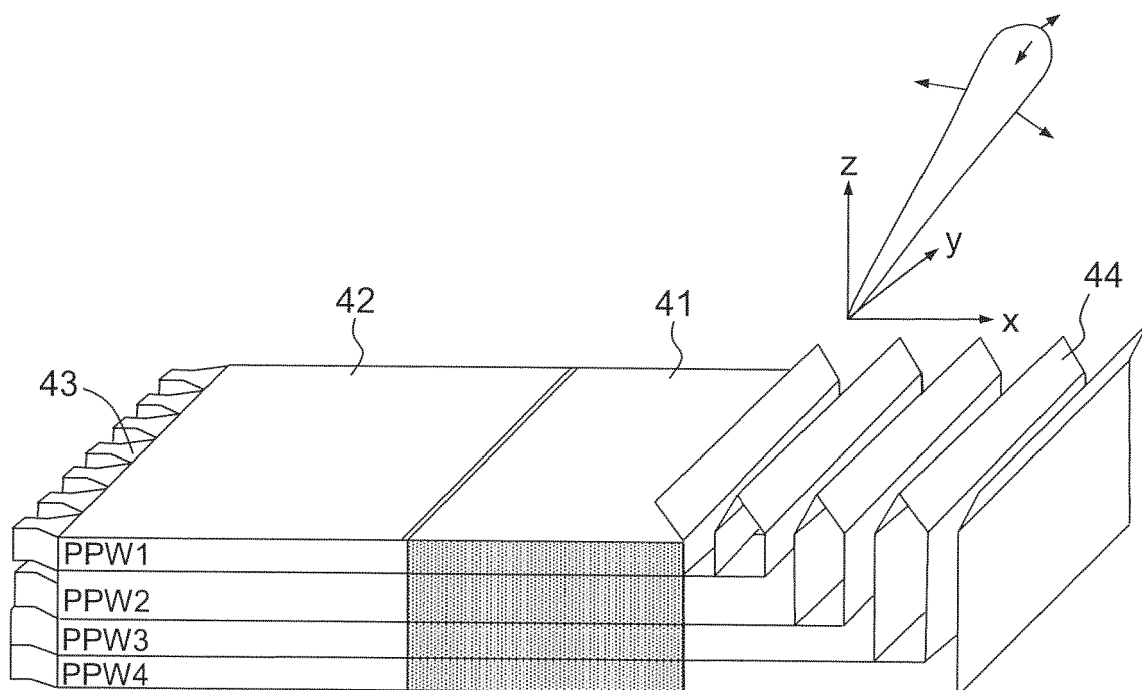


FIG. 6

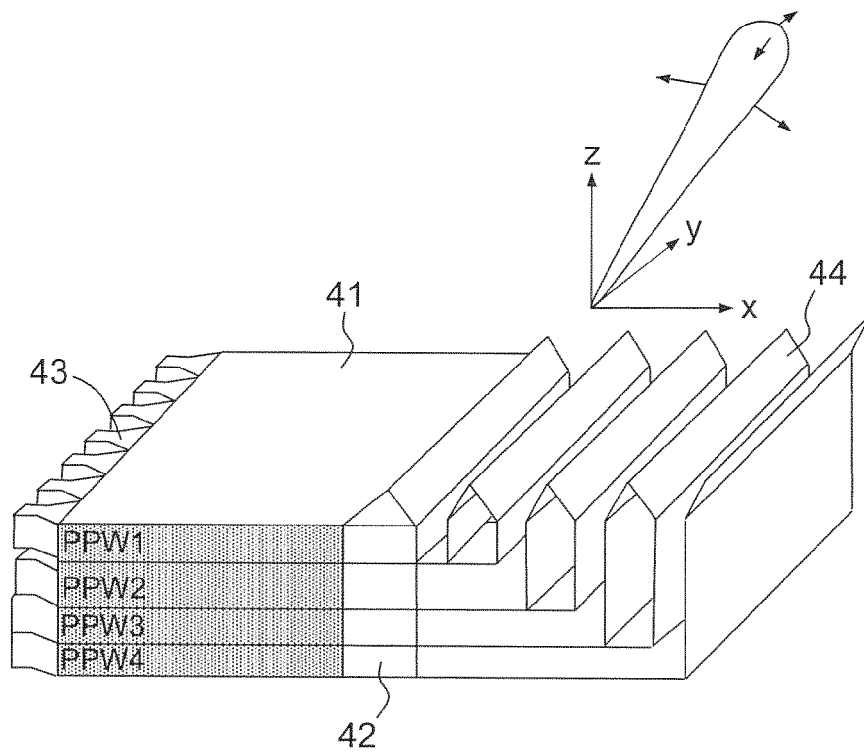


FIG. 7

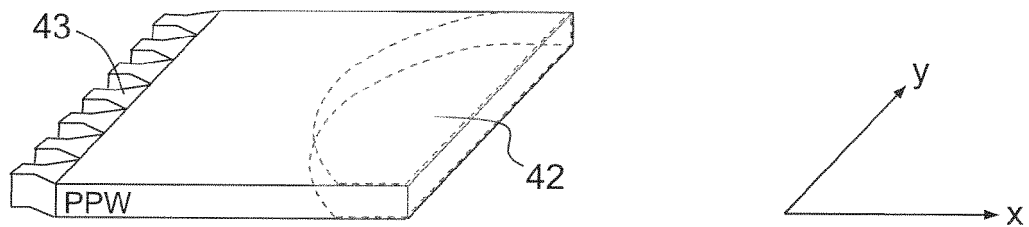


FIG. 8a

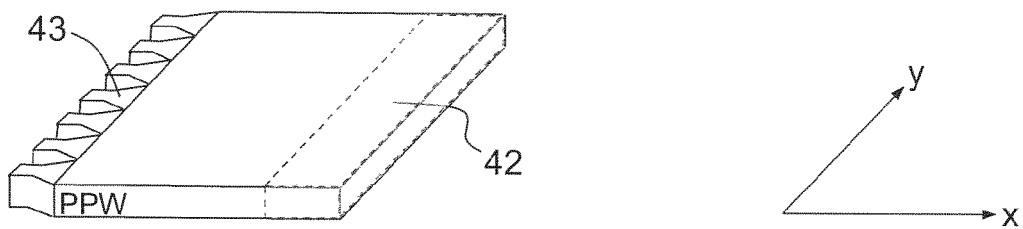
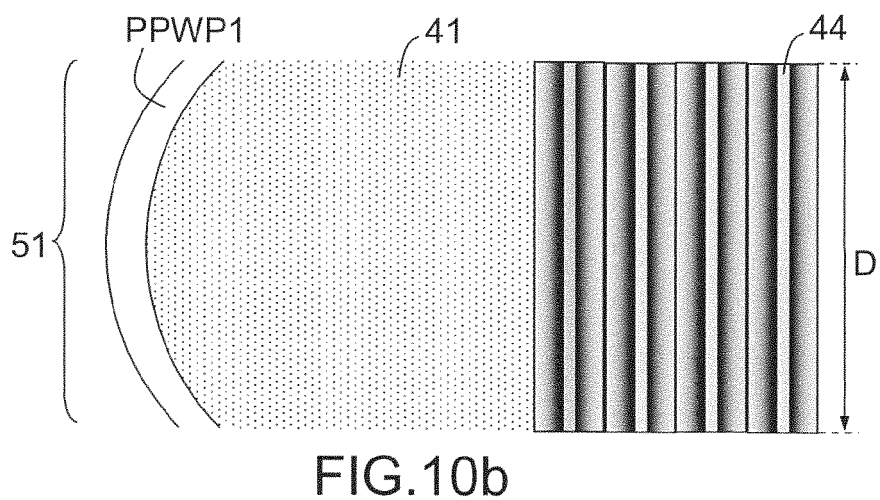
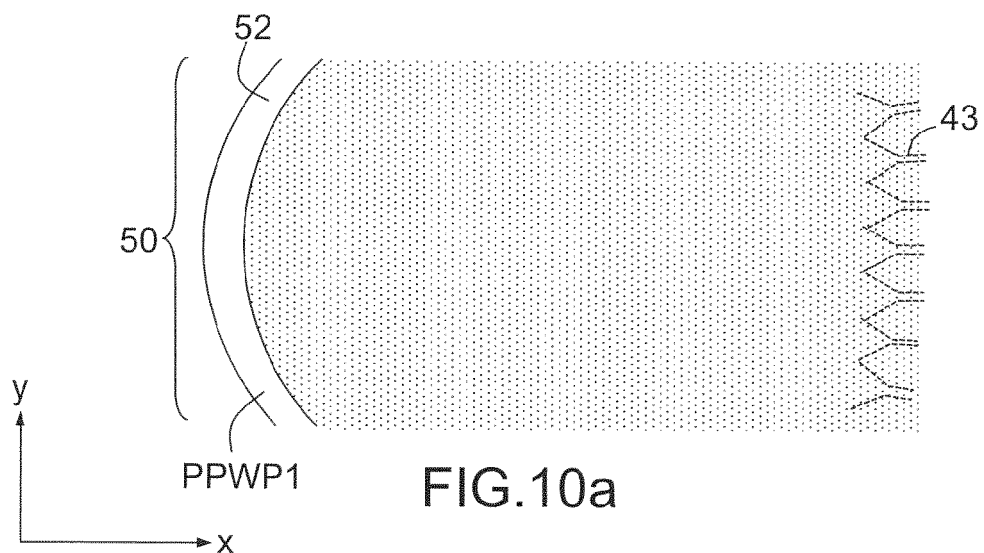
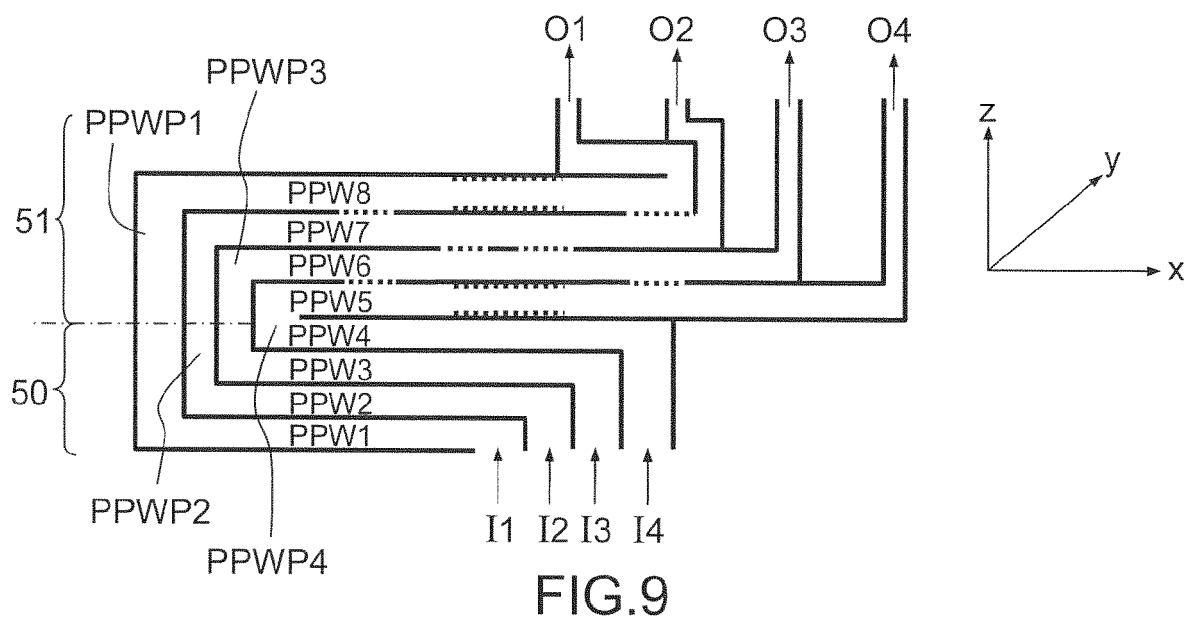


FIG. 8b



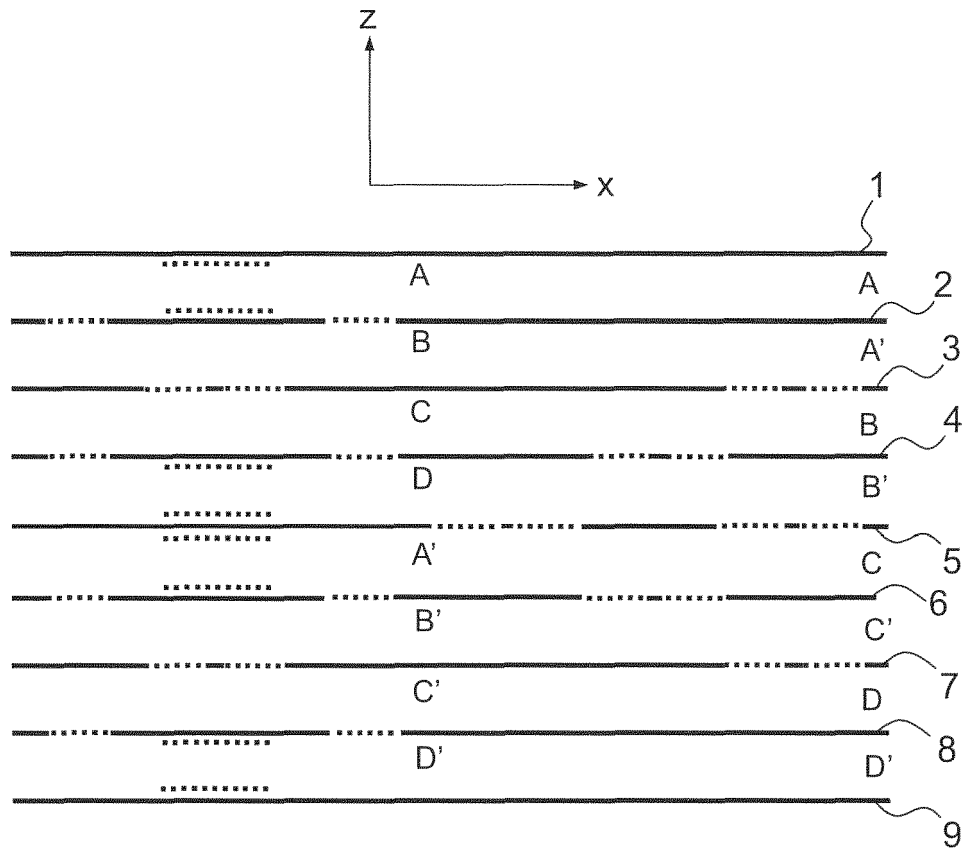


FIG.11



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 16 1459

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)
X	YU JIAN CHENG ET AL: "MINIATURIZED MULTILAYER FOLDED SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE BUTLER MATRIX", PROGRESS IN ELECTROMAGNETICS RESEARCH C, vol. 21, 12 avril 2011 (2011-04-12), pages 45-58, XP055238662, DOI: 10.2528/PIERC11020502 * abrégé * * Titre; 1.Introduction; 2. Design Process; 3. Simulated Process; 4. Conclusion; figures 1,2,4,6-10 * -----	1-14	INV. H01Q1/28 H01Q3/26 H01Q3/40 H01Q21/06 H01Q25/00 H01Q15/00 H01Q15/08 H01Q15/10 H01Q15/16 H01P1/18 H01P3/20 H01P5/02 H01P5/18 H04B7/185 H01P3/12
A	REMEZ J ET AL: "Compact Designs of Waveguide Butler Matrices", IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 5, no. 1, 1 décembre 2006 (2006-12-01), pages 27-31, XP011148791, ISSN: 1536-1225, DOI: 10.1109/LAWP.2005.863615 * I. Introduction; figures 1-10 * -----	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01Q H01P H04B
A	ALESSANDRI F ET AL: "Rigorous and efficient fabrication-oriented CAD and optimization of complex waveguide networks", MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 1997., IEEE MTT-S INTERNATIONAL DENVER, CO, USA 8-13 JUNE 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 8 juin 1997 (1997-06-08), page 1013, XP032379882, DOI: 10.1109/MWSYM.1997.602973 ISBN: 978-0-7803-3814-2 * abrégé; figures 1a,1b * * The Method * ----- -/--	1-14	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 14 avril 2016	Examineur Retsoulis, Ioannis
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)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 16 1459

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 2011/148727 A1 (CHANG RONG-YUAN [TW] ET AL) 23 juin 2011 (2011-06-23) * alinéas [0007], [0030], [0033]; figure 2 *	1-14	
A	US 2013/181880 A1 (SHEN LIN-PING [CA] ET AL) 18 juillet 2013 (2013-07-18) * alinéas [0027], [0029]; figures 2,5,6 *	1-14	
A	US 5 812 089 A (LOCKE JOHN WESLEY [US]) 22 septembre 1998 (1998-09-22) * page 1, lignes 10-64; figures 1-7 *	1-14	
A	ROTMAN W: "Wide-angle scanning with microwave double-layer pillboxes", IRE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE, USA, vol. 10, no. 1, 1 janvier 1958 (1958-01-01), pages 96-105, XP011220509, ISSN: 0096-1973 * Quasi Point-Source feeds; Semiconductor flat pillbox with triple horn feed.; figures 1,4,6,9,10 *	1-14	
A	JP 2004 266521 A (NTT DOCOMO INC; HIROKAWA JIRO; GOTO NAOHISA) 24 septembre 2004 (2004-09-24) Description détaillée; Description des figures; * abrégé; figures 1a,1b,2,5a,5b,7 *	1-14	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		14 avril 2016	Retsoulis, Ioannis
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)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 16 1459

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	KANEDA T ET AL: "2D BEAM SCANNING PLANAR ANTENNA ARRAY USING COMPOSITE RIGHT/LEFT-HANDED LEAKY WAVE ANTENNAS", IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRONICS, TOKYO, JP, vol. E89C, no. 12, 1 décembre 2006 (2006-12-01), pages 1904-1911, XP001541484, ISSN: 0916-8524, DOI: 10.1093/IETELE/E89-C.12.1904 * Summary; Introduction; figures 1,9 *	1-14	
A	US 2013/076565 A1 (LEE HONGYEOL [KR] ET AL) 28 mars 2013 (2013-03-28) * alinéas [0005], [0007], [0008], [0080], [0081]; figures 1,2 *	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 14 avril 2016	Examineur Retsoulis, Ioannis
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 03.02 (P04C02)

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

EP 16 16 1459

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.

14-04-2016

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2011148727 A1	23-06-2011	TW 201123615 A US 2011148727 A1	01-07-2011 23-06-2011
US 2013181880 A1	18-07-2013	AUCUN	
US 5812089 A	22-09-1998	FR 2758013 A1 IT RM970755 A1 US 5812089 A	03-07-1998 23-06-1998 22-09-1998
JP 2004266521 A	24-09-2004	AUCUN	
US 2013076565 A1	28-03-2013	KR 20130032172 A US 2013076565 A1	01-04-2013 28-03-2013

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 [0004]
- US 5936588 A [0004] [0006]
- FR 2944153 [0004]
- FR 2986377 [0004]