

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION BELGE

(41) Date de publication : 07/08/2024

(21) Numéro de demande : BE2024/5049

(22) Date de dépôt : 26/01/2024

(62) Divisée de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : H01P 1/00, H01Q 1/00, H04B 7/00

(30) Données de priorité :

27/01/2023 DE 102023102086.2

(71) Demandeur(s) :

BEA SA
SA
4031, ANGLEUR
Belgique

(72) Inventeur(s) :

KASCHTEN Vincent
4031 ANGLEUR
Belgique

CRAEYE Christophe
1435 MONT-SAINT-GUIBERT
Belgique

LEDERER Dimitri
1490 COURT-SAINT-ETIENNE
Belgique

ZAMBON Alain Louis
4420 SAINT-NICOLAS
Belgique

(54) Unité de rayonnement de micro-ondes et émetteur-récepteur correspondant

(57) L'invention concerne une unité de rayonnement de micro-ondes (10) comprenant un moyen de formation de faisceau par réfraction (12) et au moins une ligne de transmission (14), l'au moins une ligne de transmission (14) étant reliée au moyen de formation de faisceau par réfraction (12, 42) par le biais d'une structure de transition (16 ; 50a, 50b, 50c, 50d, 50e), la structure de transition (16 ; 50a, 50b, 50c, 50d, 50e) comprenant une structure de couplage (18, 72) et un guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) avec une direction de propagation principale. L'invention est caractérisée en ce que le moyen de formation de faisceau par réfraction (12) et le guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) comprennent à chaque fois des couches métalliques parallèles (C1-M1, C4-M2) et un corps diélectrique résistant (36 ; 38) entre les couches métalliques parallèles (C1-M1, C4-M2), le corps diélectrique résistant (36) du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) et le corps diélectrique résistant (38) du moyen de formation de faisceau par réfraction (18) présentant au moins une couche de liaison commune (L1, L2, L3, L4, C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3) réalisée en un matériau diélectrique (M1, M2, M3, M4) et qui s'étend depuis le guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) dans le moyen de formation de faisceau par réfraction (18) de telle sorte que le corps diélectrique résistant (36) du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) et le corps diélectrique résistant (38) du moyen de formation de faisceau par réfraction (12 ; 42) passent au moins partiellement l'un dans l'autre.

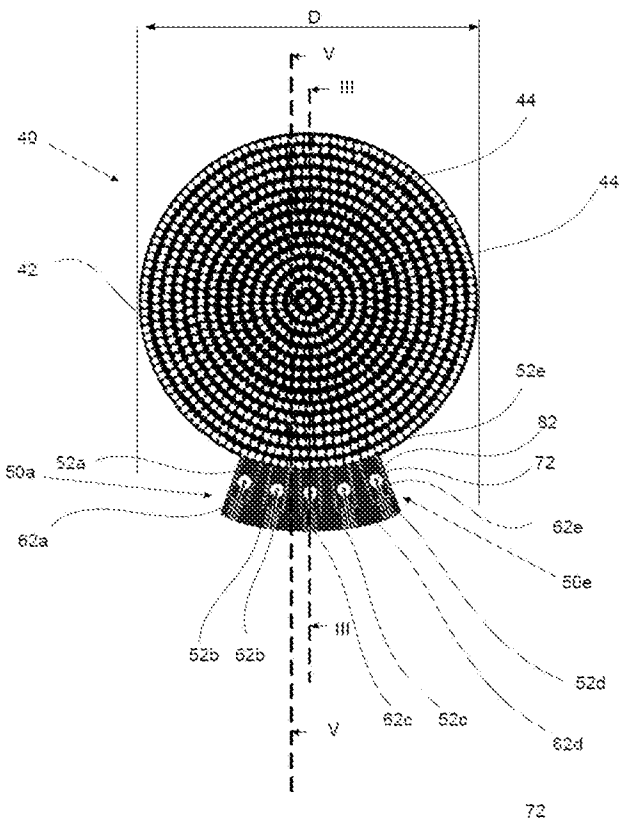


Fig. 2

Unité de rayonnement de micro-ondes et émetteur-récepteur correspondant

L'invention concerne une unité de rayonnement selon le préambule de la revendication 1.

5

On sait qu'une unité de rayonnement de micro-ondes destinée à envoyer et/ou recevoir un rayonnement de micro-ondes comprend un moyen de formation de faisceau par réfraction et au moins une ligne de transmission, la ligne de transmission étant ici définie comme une structure capable de diriger des ondes électromagnétiques.

10

L'au moins une ligne de transmission est reliée au moyen de formation de faisceau par réfraction par le biais d'une structure de transition, la structure de transition comprenant une structure de couplage et un guide d'ondes. La structure de couplage sert à modifier l'orientation des champs électriques et magnétiques des ondes électromagnétiques dirigées par la ligne de transmission dans une autre orientation des champs des ondes électromagnétiques à l'intérieur du guide d'ondes.

15

Ainsi, le guide d'ondes définit une direction de propagation principale pour les ondes électromagnétiques, le moyen de formation de faisceau se raccordant au guide d'ondes dans la direction de propagation principale.

20

Dans le mode d'émission, la micro-onde électromagnétique rayonnée par la structure de couplage est guidée à travers le guide d'ondes dans une direction de propagation principale et rayonne alors sur le moyen de formation de faisceau par réfraction. Le moyen de formation de faisceau par réfraction restitue dans l'air un rayonnement formé par rapport à une caractéristique de rayonnement définie, la caractéristique de rayonnement dépendant des propriétés de réfraction du moyen de formation de faisceau par réfraction. Les propriétés de réfraction peuvent être définies par le choix du matériau ou de la construction.

25

En raison de ce comportement quasiment optique du moyen de formation de faisceau par réfraction, la caractéristique de rayonnement générée de cette façon est en relation étroite avec les propriétés de réfraction du moyen de formation de faisceau et le positionnement relatif du guide d'ondes par rapport à celui-ci.

30

Un problème existant dans l'état de la technique est que la fabrication d'un tel agencement se fait plutôt difficilement car le positionnement du guide d'ondes par rapport au moyen de formation de faisceau par réfraction est décisif pour son comportement. Comme le moyen de formation de faisceau est une partie qui rayonne, le moyen de formation de faisceau par réfraction doit avoir une permittivité diélectrique proche de celle de l'air. Par conséquent, la zone de bord du moyen de formation de faisceau par réfraction pourrait comprendre un matériau avec une densité relativement faible. Mais une mise en œuvre robuste d'un tel moyen de formation de faisceau par réfraction n'est alors pas possible.

Dans le document US 2014/132 874 A1, un système d'antenne avec une lentille cylindrique est divulgué pour focaliser des ondes électromagnétiques. La lentille est reliée à un guide d'ondes qui est intégré dans des couches métalliques avec lesquelles la lentille cylindrique est recouverte sur des faces opposées. Une structure de couplage ou des guides d'ondes intégrés dans le substrat peuvent être disposés dans les creux de la lentille. La précision de positionnement dépend alors des tolérances mécaniques.

Le but de l'invention est d'utiliser le principe d'un moyen de formation de faisceau par réfraction et de garantir ainsi un processus de fabrication fiable ainsi que de permettre l'utilisation de l'unité de rayonnement de micro-ondes à une fréquence de micro-ondes supérieure à 50 GHz.

Ce but est atteint par les caractéristiques caractérisantes de la revendication 1 qui sont en lien avec les caractéristiques de son préambule.

Les sous-revendications concernent d'autres modes de réalisation avantageux de l'invention.

L'invention repose sur la découverte qu'une permittivité de bord relative d'un moyen de formation de faisceau par réfraction qui est nettement supérieure à 1 est acceptable sous certaines conditions.

On sait qu'une unité de rayonnement de micro-ondes destinée à envoyer et/ou recevoir un rayonnement de micro-ondes comprend un moyen de formation de faisceau par réfraction et au moins une ligne de transmission, la ligne de transmission étant définie ici comme une structure capable de diriger des ondes électromagnétiques.

L'au moins une ligne de transmission est reliée au moyen de formation de faisceau par réfraction par le biais d'une structure de transition, la structure de transition comprenant une structure de couplage et un

guide d'ondes. La structure de couplage modifie l'orientation des ondes électromagnétiques dirigées par la ligne de transmission dans une autre orientation de l'onde électromagnétique à l'intérieur du guide d'ondes.

- 5 Ainsi, le guide d'ondes est réalisé de telle sorte qu'il définit une direction de propagation principale, le moyen de formation de faisceau étant adjacent au guide d'ondes dans la direction de propagation principale.

10 Selon l'invention tant le moyen de formation de faisceau par réfraction que le guide d'ondes comprennent chacun des couches métalliques parallèles avec un corps diélectrique résistant disposé entre celles-ci. Par conséquent, les couches métalliques parallèles délimitent le corps diélectrique résistant respectif sur deux faces opposées, à savoir la face supérieure et la face inférieure. Les couches métalliques parallèles génèrent une direction de propagation principale des micro-ondes qui s'étend sensiblement parallèlement aux couches sur la face supérieure et la face inférieure.

15 Selon l'invention le corps diélectrique résistant du guide d'ondes comprend une zone de liaison de guide d'ondes, tandis que le corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction comprend une zone de liaison de moyen de formation de faisceau. Une onde électromagnétique se propage depuis la zone de liaison de moyen de formation de faisceau jusqu'à la zone de liaison de guide d'ondes ou inversement. La zone de liaison du guide d'ondes et la zone de liaison du moyen de formation de faisceau s'étendent toutes deux dans la direction de propagation principale et transversalement à celle-ci.

25 Le corps diélectrique résistant du guide d'ondes et le corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction comprennent au moins une couche de liaison commune réalisée en un matériau diélectrique et qui s'étend du guide d'ondes jusque dans le moyen de formation de faisceau par réfraction. L'étendue minimale d'une couche de liaison commune dans la direction de propagation principale et transversalement à celle-ci est choisie de manière à comprendre la zone de liaison de guide d'ondes adjacente et la zone de liaison de moyen de formation de faisceau dans les directions respectives de sorte que le corps diélectrique résistant du guide d'ondes et le corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction passent au moins partiellement l'un dans l'autre. En particulier la zone de liaison du guide d'ondes peut avoir une profondeur d'au moins 20 micromètres de la surface de séparation fonctionnelle du guide d'ondes dans la direction de propagation principale et/ou la zone de liaison du moyen de formation de faisceau peut avoir une

profondeur d'au moins 20 micromètres de la surface de séparation fonctionnelle du moyen de formation de faisceau dans la direction de propagation principale.

5 Comme l'onde électromagnétique passe entre le guide d'ondes et le moyen de formation de faisceau par réfraction dans un matériau diélectrique résistant, il y a une transition continue et toutes réflexions possibles sur l'interface sont réduites entre le moyen de formation de faisceau par réfraction et le guide d'ondes. Comme le moyen de formation de faisceau par réfraction et le guide d'ondes sont reliés de manière solidaire l'un à l'autre, il est possible d'obtenir une liaison mécanique forte entre ceux-ci et de garantir un positionnement extrêmement précis entre le moyen de formation de faisceau par réfraction
10 et le guide d'ondes.

Comme un matériau diélectrique peut être un matériau composite, en particulier un matériau composite monolithique, il comprend en particulier une fibre et une résine.

15 Selon un mode de réalisation avantageux, la couche de liaison comprend une zone de liaison qui s'étend entre le moyen de formation de faisceau par réfraction et le guide d'ondes. Un croisement de la zone de liaison du guide d'ondes avec la zone de liaison du moyen de formation de faisceau est possible.

20 Selon un mode de réalisation préféré, l'étendue de la couche de liaison commune orthogonale aux couches métalliques correspond à la distance entre les couches métalliques parallèles. Il est ainsi possible d'obtenir une transition homogène sur toute la hauteur du guide d'ondes. En variante, le corps diélectrique résistant du guide d'ondes et le corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction sont composés d'une pluralité de couches de liaison communes, de préférence
25 de différents matériaux et de permittivité identique. Un tel agencement est plus simple à produire.

En particulier l'au moins une couche de liaison commune s'étend sur toute l'étendue latérale du corps diélectrique du guide d'ondes et/ou du corps diélectrique du moyen de formation de faisceau.

30 Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le corps diélectrique résistant du guide d'ondes, dans lequel la micro-onde électromagnétique se propage, comprend au moins une couche réalisée en un matériau diélectrique résistant avec une permittivité diélectrique relative élevée supérieure à 2,5, de préférence supérieure à 3, en particulier 3,66.

En particulier l'au moins une couche réalisée en un matériau diélectrique du corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction a une permittivité diélectrique relative élevée d'environ 3, en particulier d'environ 3,66.

- 5 Grâce à la permittivité diélectrique relative élevée du corps diélectrique résistant, il est possible de diminuer les dimensions du guide d'ondes tout en conservant une fréquence de fonctionnement définie. Cela permet d'utiliser une pluralité de structures de transition sur un moyen de formation de faisceau par réfraction commun d'une grandeur définie. Entre le corps diélectrique résistant du guide d'ondes et le corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction on obtient un bon
- 10 couplage puisque la réflexion entre guide d'ondes et moyen de formation de faisceau par réfraction est réduite à un seul matériau par l'au moins une couche commune reliant les deux éléments fonctionnels, bien que la permittivité de bord du moyen de formation de faisceau par réfraction soit supérieure à celle de l'air.
- 15 On obtient ainsi une unité de rayonnement de micro-ondes qui dispose d'une liaison résistante mécaniquement entre le guide d'ondes et le moyen de formation de faisceau par réfraction et présente une efficacité de rayonnement élevée.

- Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, la permittivité diélectrique du matériau du corps
- 20 diélectrique résistant des zones de liaison du moyen de formation de faisceau par réfraction et du guide d'ondes est choisie de telle sorte qu'elle coïncide avec la permittivité diélectrique du matériau du corps diélectrique résistant du guide d'ondes de sorte que la réflexion au niveau de cette transition soit maintenue faible par un matériau diélectrique résistant de permittivité identique. Il s'ensuit qu'un très bon couplage est obtenu entre la lentille et le guide d'ondes et les pertes sont réduites. Par conséquent,
- 25 l'efficacité de rayonnement est optimisée de telle sorte que la consommation d'électricité puisse être diminuée.

- Il a été constaté que la transition incongrue du moyen de formation de faisceau par réfraction par rapport à l'air peut être en grande partie compensée par une construction appropriée du moyen de
- 30 formation de faisceau par réfraction. Par le choix de propriétés de réfraction appropriées il est encore possible d'obtenir la forme envisagée du faisceau en dépit de cette transition incongrue.

En particulier le moyen de formation de faisceau par réfraction a une forme avec une section transversale circulaire ou elliptique. Le choix de la forme en section transversale du moyen de formation

de faisceau permet d'adapter encore la caractéristique de rayonnement pour tenir compte de la configuration géométrique sur site.

En particulier la transition est favorisée par le fait qu'au moins une couche réalisée en un matériau diélectrique résistant relie le moyen de formation de faisceau par réfraction et le guide d'ondes l'un à l'autre. Par conséquent, l'au moins une couche du guide d'ondes et au moins une couche du corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction sont du même matériau de sorte qu'on obtienne au moins dans la direction de l'étendue longitudinale du guide d'ondes une transition de matériau homogène.

Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, le moyen de formation de faisceau par réfraction est disposé directement de manière adjacente au guide d'ondes de sorte qu'il n'y a pas de distance entre l'extrémité du guide d'ondes et le début du moyen de formation de faisceau par réfraction. Avec cet agencement la position de couplage du guide d'ondes est fixée de manière extrêmement précise.

Le guide d'ondes a de préférence une section transversale rectangulaire et comprend des parois latérales qui se trouvent sur la face supérieure et la face inférieure du guide d'ondes perpendiculairement à la couche métallique. Le long de la direction de propagation principale, le guide d'ondes se termine à l'extrémité la plus extérieure des parois latérales du guide d'ondes qui se trouvent sur la face supérieure et la face inférieure du guide d'ondes perpendiculairement à la couche métallique. Si les parois latérales sont réalisées sous la forme de contacts traversants, le guide d'ondes se termine au niveau du dernier contact traversant dans la direction de propagation principale.

Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, le moyen de formation de faisceau par réfraction est une lentille à gradient d'indice, en particulier une lentille de Luneburg généralisée. Selon ce mode de réalisation, le moyen de formation de faisceau peut former un rayonnement qui se produit à partir du guide d'ondes dans le moyen de formation de faisceau par réfraction, par exemple en un faisceau en forme d'éventail. Selon une caractéristique de rayonnement avec un faisceau en forme d'éventail la permittivité par exemple au centre de la lentille pourrait être plus élevée qu'à son bord. Cette modification de permittivité peut être provoquée par le fait que la densité du corps diélectrique résistant est modifiée par l'enlèvement du matériau diélectrique résistant. La permittivité maximale qui peut être atteinte est donc fournie par la permittivité du matériau diélectrique résistant elle-même.

De préférence le matériau diélectrique résistant est choisi de telle sorte qu'il satisfasse les conditions en termes de grandeur du guide d'ondes. La permittivité maximale peut être générée de préférence au centre de la lentille qui a approximativement la permittivité du guide d'ondes. En outre la permittivité du bord de la lentille peut être diminuée par l'enlèvement ou la diminution graduelle du matériau par rapport à la zone de bord.

Comme dans ce cas le matériau diélectrique résistant ne peut pas complètement manquer sur le bord, il subsiste un matériau diélectrique résistant de sorte que l'au moins une couche commune réalisée par un matériau peut s'étendre depuis le guide d'ondes jusqu'à la lentille. Bien que la permittivité du corps diélectrique résistant soit incongrue comme un tout, telle que perçue par l'onde électromagnétique, la permittivité du matériau diélectrique résistant est appropriée, ce qui permet de diminuer la réflexion de l'onde électromagnétique sur les zones de liaison adjacentes et d'augmenter l'efficacité de rayonnement.

Le matériau diélectrique résistant peut être un composite de matières, en particulier un matériau composite.

Les lentilles de Luneburg sont communément connues dans l'état de la technique et présentent des propriétés de rayonnement définies qui dépendent étroitement du positionnement du guide d'ondes par rapport à la circonférence du moyen de formation de faisceau et permettent en particulier un faisceau en forme d'éventail qui peut être utilisé avantageusement pour des applications d'imagerie radar.

Selon un aspect préféré de l'invention, le matériau diélectrique résistant de la couche commune s'étend sur une partie essentielle du guide d'ondes et est donc choisi de telle sorte qu'il ait une permittivité plus élevée que l'air pour diminuer les dimensions du guide d'ondes à une fréquence définie. Cela a cependant pour conséquence que la permittivité (Epsilon) au bord d'une lentille de ce type est augmentée par rapport à une lentille de Luneburg classique et est donc incongrue par rapport à la permittivité de l'air.

Comme l'effet de la transition incongrue est compensé par la construction de la lentille, il n'altère pas essentiellement les propriétés de rayonnement, mais permet une bonne transition entre guide d'ondes et lentille.

Selon un autre mode de réalisation préféré, le moyen de formation de faisceau par réfraction, en particulier la lentille, présente une forme cylindrique avec un axe central. En particulier dans ce cas l'Epsilon (la permittivité) de la lentille est ajustée au centre autour de l'axe central selon une règle de construction de telle sorte que la lentille concentre l'énergie électromagnétique de manière similaire à la

5 lentille de Luneburg classique, bien qu'elle présente une permittivité de bord déportée en regard de la lentille de Luneburg classique.

Comme la permittivité du matériau diélectrique résistant du guide d'ondes est identique à la permittivité du matériau diélectrique résistant au bord de la lentille, les propriétés de focalisation de la lentille

10 peuvent être garanties bien que la permittivité diélectrique au bord de la lentille soit supérieure à celle de l'air, lorsque l'Epsilon au centre de la lentille et au bord de la lentille est adapté selon une règle de construction de lentille définie.

Selon cette règle de construction particulière, la relation entre la permittivité diélectrique relative au

15 centre ϵ_{centre} et la permittivité diélectrique relative au bord $\epsilon_{\text{bord circonférentiel}}$ suit de préférence la relation suivante : $\epsilon_{\text{centre}} = 1,42\sqrt{\epsilon_{\text{bord circonférentiel}}} + 0,58$ avec une plage de tolérance de 0,2. Selon cette règle de construction, la permittivité de bord est dans certains cas plus faible au centre qu'au bord, tandis que dans d'autres cas c'est l'inverse.

20 Par conséquent, les propriétés de focalisation d'une lentille de Luneburg classique peuvent être pratiquement obtenues avec un bord Epsilon $>1,5$.

Selon un mode de réalisation extrêmement préféré, le moyen de formation de faisceau par réfraction a la même hauteur que le guide d'ondes, en particulier la distance de chacune des couches métalliques

25 opposées est identique, en particulier d'environ 2,2 mm. Dans le cas d'une lentille cylindrique, la hauteur est la dimension le long de l'axe central. La hauteur de la lentille est l'étendue perpendiculaire aux surfaces circulaires de la lentille. Plus la hauteur est grande, plus la deuxième dimension du faisceau en forme d'éventail est petite.

30 Les couches métalliques parallèles du guide d'ondes et les couches métalliques parallèles de la lentille peuvent être reliées les unes aux autres. Selon un tel mode de réalisation, le guide d'ondes et le moyen de formation de faisceau par réfraction, en particulier la lentille cylindrique, peuvent être fabriqués en un matériau diélectrique résistant sous la forme d'une seule pièce plate qui est recouverte par une paire de couches individuelles métalliques sur les faces opposées du matériau diélectrique résistant.

La lentille, en particulier la lentille cylindrique, est de préférence fabriquée en un seul matériau diélectrique résistant, les propriétés de réfraction de la lentille étant influencées par des trous ménagés dans ce corps diélectrique résistant. En particulier les trous sont remplis d'air. Les trous sont ménagés de telle sorte que la densité de la lentille se modifie par la modification du nombre ou du diamètre des trous de sorte que la densité de la lentille varie, en particulier augmente, depuis la zone de bord jusqu'au centre de la lentille. Les trous sont ménagés de préférence parallèlement à l'axe central et s'étendent à travers toute l'épaisseur de la lentille.

- 10 De préférence le guide d'ondes est un guide d'ondes rectangulaire où la hauteur de la lentille correspond à la hauteur du guide d'ondes et est ajustée à la largeur du guide d'ondes de telle sorte qu'il puisse être utilisé dans une bande de fréquence définie.

- 15 La longueur du guide d'ondes dans la direction de propagation principale correspond à un multiple de la moitié de la longueur d'onde dirigée L_G . La longueur d'onde dirigée est définie comme la distance entre deux plans de phase identiques le long du guide d'ondes. Ainsi, on a $L_G = L / (\sqrt{1 - (f_c/f)^2})$, où f_c = la fréquence limite, f représente la fréquence de fonctionnement (centrale) et L la longueur d'onde correspondant à la fréquence f .

- 20 La fréquence limite est définie par les dimensions du guide d'ondes : $f_c = c/2a$, où a est la largeur du guide d'ondes en cas de polarisation verticale, ou $f_c = c/2b$, où b est la hauteur du guide d'ondes, en particulier la hauteur de la lentille, en cas de polarisation horizontale.

- 25 La hauteur du guide d'ondes est $h > \lambda$ en considérant le DSM du guide d'ondes / 2 ; dans une polarisation où le champ E se trouve perpendiculaire à l'axe central de la lentille cylindrique qui peut être atteint par une sonde avançant dans le guide d'ondes perpendiculairement à l'axe de lentille.

- 30 La largeur du guide d'ondes, c'est-à-dire la dimension perpendiculaire l'axe en hauteur de la lentille, est de préférence $w > \lambda$ en considérant le DSM du guide d'ondes / 2 ; dans une polarisation parallèlement à l'axe central de la lentille cylindrique, qui peut être atteint par une sonde avançant dans le guide d'ondes parallèlement à l'axe de lentille.

Par conséquent, la ligne de transmission peut être un câble coaxial et la structure de couplage peut être l'âme intérieure d'un câble coaxial qui s'étend dans un trou, en particulier un trou borgne du corps

diélectrique massif du guide d'ondes, l'âme intérieure traversant une paroi du guide d'ondes sans entrer en contact électrique avec celui-ci.

Selon l'invention, pour la sonde qui s'étend parallèlement à l'axe central, la largeur du guide d'ondes est inférieure à la hauteur du guide d'ondes, tandis que la largeur tout comme la hauteur du guide d'ondes sont supérieures à la moitié d'une longueur d'onde, à savoir une longueur d'onde en tenant compte du matériau diélectrique résistant du guide d'ondes. Dans ce cas un mode de propagation est activé par la sonde, dans lequel elle présente la deuxième fréquence limite la plus basse, à savoir TE_{10} , selon la notation standard pour les guides d'ondes, qui se rapporte à (TE_{mn}) , où m est un indice qui se rapporte à la largeur du guide d'ondes et n se rapporte à la hauteur du guide d'ondes.

Selon l'invention le guide d'ondes est rempli d'un matériau diélectrique résistant qui présente une permittivité relative plus élevée que l'air de sorte que la longueur d'onde dans le matériau diélectrique résistant est inférieure à l'air, et donc la largeur du guide d'ondes peut être diminuée par rapport au diamètre de lentille. Le diamètre de lentille s'obtient à partir du diamètre des couches métalliques parallèles.

La largeur plus faible du guide d'ondes produit une résolution plus élevée de guides d'ondes adjacents, en particulier le long de la circonférence d'une lentille cylindrique.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de l'invention, la ligne de transmission, la structure de transmission et le moyen de formation de faisceau par réfraction sont fabriqués intégralement dans une seule pièce. Cela signifie que le corps diélectrique de la ligne de transmission, le corps diélectrique du guide d'ondes et le corps diélectrique de la lentille présentent au moins une couche commune du même matériau diélectrique.

Dans ce cas la structure de couplage comprend en particulier une sonde. Bien que la sonde puisse être située perpendiculairement à l'axe central de la lentille, elle s'étend de préférence parallèlement à l'axe central de la lentille.

Lorsque la sonde s'étend parallèlement à l'axe central, la longueur de la sonde à l'intérieur du guide d'ondes représente en particulier la moitié de la hauteur du guide d'ondes. Le diamètre de la sonde comparé à la longueur d'onde dirigée L_G est ainsi idéalement le plus petit possible.

De préférence le matériau diélectrique résistant du guide d'ondes et de la lentille et les couches

métalliques font partie d'une structure de circuit imprimé (structure PCB) à plusieurs couches qui est composée de couches qui sont des couches de préimprégné et/ou des couches de noyau, les couches de noyau comprenant aussi bien une (des) couche(s) métallique(s) que diélectrique(s). La (les)

5 couche(s) de noyau et les couches de préimprégné sont empilées dans la direction de l'axe central, les couches comprenant à chaque fois une couche diélectrique réalisée en un matériau diélectrique résistant qui s'étend d'une seule pièce depuis le guide d'ondes jusqu'à la lentille. Le corps diélectrique résistant est dans ce cas composé d'une pluralité de couches de matériau composite. Une telle couche de matériau diélectrique résistant, en particulier une couche de noyau ou une couche de préimprégné,
10 peut contenir un tissu de fibre, en particulier un tissu de fibre de verre, et une matrice polymère, en particulier une résine artificielle. Comme un matériau diélectrique résistant s'étend depuis le guide d'ondes jusqu'à la lentille, il existe une transition monolithique depuis le guide d'ondes jusqu'à la lentille le long de la direction de propagation principale. En utilisant plusieurs couches de matériau composite, on obtient un appareil mince et mécaniquement robuste. De préférence la permittivité des couches
15 s'accorde entre elles de telle sorte que le matériau diélectrique résistant de chaque couche présente une permittivité identique. En utilisant plusieurs couches de noyau entre les couches métalliques les plus extérieures, les couches intermédiaires métalliques sont enlevées des couches de noyau dans la zone de lentille et dans la zone de guide d'ondes où un corps diélectrique résistant est nécessaire. Le revêtement est ainsi enlevé de l'assemblage des couches individuelles.

20

Selon un mode de réalisation préféré, la permittivité relative de toutes les couches diélectriques est comprise dans une plage entre 3,4 et 3,8. Par conséquent, la permittivité est non seulement maintenue constante le long de la direction de propagation principale mais est également maintenue dans la hauteur dans une plage étroite.

25

En particulier la ligne de transmission et la structure de couplage sont également réalisées sous la forme d'une structure de circuit imprimé. Dans ce cas la structure de couplage, s'agissant d'une sonde qui s'étend parallèlement à l'axe de lentille, est fabriquée sous la forme d'un trou de liaison borgne métallisé (Blind Via).

30

Le circuit imprimé à plusieurs couches comprend alors une couche de noyau centrale qui présente au moins une couche métallique, ce qui permet une liaison de la couche métallique avec la ligne de transmission à l'aide du trou de liaison borgne, la ligne de transmission comprenant de préférence une première piste conductrice métallisée qui est disposée en particulier sur la couche supérieure du corps

diélectrique résistant. La piste conductrice n'est alors pas reliée à la couche de revêtement métallisée avec laquelle le matériau diélectrique du guide d'ondes est recouvert.

La piste conductrice de la ligne de transmission peut également comprendre une seconde piste

- 5 conductrice qui s'étend parallèlement à la première piste conductrice et présente une distance dans le prolongement de la longueur de l'axe central de la lentille, la première et la seconde piste conductrice étant séparées l'une de l'autre par une couche réalisée en un matériau diélectrique résistant. La piste conductrice peut être fabriquée par l'utilisation des couches métalliques des deux côtés de la couche diélectrique résistante d'une couche de noyau.

10

La seconde piste conductrice est de préférence une couche de mise à la masse de la structure de circuit imprimé. Avec cette topologie, une transmission de guide d'ondes coplanaire avec plan de masse inférieur (GCPW) est possible. Comparée à la première piste conductrice, la seconde piste conductrice ne vient pas en contact avec le trou de liaison borgne, mais peut s'étendre autour de celui-ci de manière

15 semi-circulaire. Elle peut même entourer complètement le trou de liaison borgne, mais s'étendre alors non essentiellement jusque dans le guide d'ondes sur le trou de liaison borgne dans la direction de propagation principale.

Les parois latérales du guide d'ondes sont réalisées en particulier sous la forme de contacts

20

traversants, les contacts traversants de la même paroi ayant une distance adjacente qui est petite comparée à la longueur d'onde dirigée. La distance est inférieure à $\lambda/2$ dans le corps diélectrique résistant. Selon l'invention la distance entre l'axe central des trous de liaisons dans la direction de propagation principale de l'onde est inférieure à 0,8 mm, de préférence inférieure à 0,5 mm.

25

Dans la réalisation de l'unité de rayonnement sous la forme d'une structure de circuit imprimé, le corps diélectrique résistant de la lentille comprend plusieurs couches réalisées en un matériau diélectrique résistant, la densité de la lentille étant influencée par la répartition des trous traversants. La mise en place des trous traversants qui peuvent avoir une forme quelconque en section transversale se fait uniquement après l'assemblage de toutes les couches. Pour obtenir une précision élevée, les trous

30 traversants peuvent être ménagés avec un laser, ce qui s'avère particulièrement utile dans des zones spécifiques où une quantité élevée de trous est nécessaire pour obtenir une faible permittivité. De préférence les trous traversants ont une section transversale circulaire puisque celle-ci est facile à fabriquer.

Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, l'unité de rayonnement de micro-ondes comprend une lentille et une pluralité de lignes de transmission et de guides d'ondes, comme décrit ci-avant.

- 5 Selon un autre aspect, l'invention concerne un émetteur-récepteur de circuit imprimé (PCB) avec au moins une unité de rayonnement selon une des revendications précédentes. Ainsi, pour l'alimentation respectivement la réception de signaux depuis l'unité de rayonnement, au moins une ligne de transmission est reliée à au moins un circuit intégré, le circuit intégré étant disposé sur le même circuit imprimé à plusieurs couches que l'unité de rayonnement.

10

Selon un tel mode de réalisation, les pertes de l'unité de rayonnement sont faibles.

Le circuit intégré est de préférence disposé sur une couche de la structure de circuit imprimé, sur laquelle la ligne de transmission est accessible, de préférence sur la couche supérieure ou inférieure.

15

Cette mise en place permet d'obtenir un degré d'efficacité élevé et de réduire les perturbations.

- Selon un autre mode de réalisation préféré de l'émetteur-récepteur PCB, ce dernier comprend deux unités de rayonnement de micro-ondes décrites ci-avant, les deux unités de rayonnement de micro-ondes étant reliées à l'au moins un circuit intégré, où l'au moins un circuit intégré est en particulier un circuit de radar.

20

Cela permet une application radar à haute résolution à fréquence élevée, en particulier dans une gamme de fréquences de 60 GHz.

25

- Selon une autre amélioration de l'invention, l'émetteur-récepteur PCB comprend un circuit imprimé avec une première partie rigide avec une première unité de rayonnement de micro-ondes et avec une seconde partie rigide avec une seconde unité de rayonnement de micro-ondes et une partie de liaison, la première partie et la seconde partie étant reliées l'une à l'autre par une partie de liaison de telle sorte que la première partie peut être inclinée en regard de la seconde partie. De préférence la partie de liaison est réalisée de telle sorte que la première partie et la seconde partie et la partie de liaison présentent une couche commune, l'épaisseur de la partie de liaison étant inférieure à celle de la première et de la seconde partie de sorte que la partie de liaison soit flexible, en particulier déformable

30

de telle sorte que la première partie puisse être inclinée en regard de la seconde partie à la manière d'une charnière mobile.

5 Tant la lentille que le guide d'ondes font partie du même élément de structure qui est composé d'un empilement de couches, chaque couche diélectrique pouvant être composée d'un matériau diélectrique résistant monolithique. L'empilement de couches est composé de couches de noyau et de couches de préimprégné, les couches de préimprégné étant choisies pour des applications à haute fréquence et avec une permittivité diélectrique proche de celle du matériau diélectrique du noyau. Les couches empilées forment une structure sandwich stratifiée, telle un circuit imprimé, ou l'élément de structure est
10 un circuit imprimé.

D'autres améliorations de l'invention sont décrites dans les figures, dans lesquelles :

la figure 1 est une représentation isométrique du principe de base d'une unité de rayonnement de
15 micro-ondes ;

la figure 2 représente une vue de dessus d'une unité de rayonnement de micro-ondes ;

la figure 3 représente une vue en coupe transversale le long de la ligne III-III de la figure 2 ;
20

la figure 4 représente une vue détaillée de la coupe transversale de la figure 3 ;

la figure 5 représente une vue en coupe transversale le long de la ligne V-V de la figure 2 ;

25 la figure 6 représente une vue détaillée de la figure 5 ;

la figure 7 représente une vue en coupe DP détaillée en perspective de la figure 2, et

la figure 8 représente un appareil radar avec deux unités de rayonnement.
30

La figure 1 illustre une unité de rayonnement de micro-ondes 10 selon une mise en place qui représente un principe de base, en vue en perspective.

On rappellera que, selon ce mode de réalisation, seuls un guide d'ondes et une structure de transition sont représentés à titre d'exemple, mais qu'une pluralité de guides d'ondes et de structures de transition peuvent être assemblés de manière analogue conjointement avec le moyen de formation de faisceau par réfraction.

5

L'unité de rayonnement de micro-ondes 10 comprend un moyen de formation de faisceau par réfraction 12 et au moins une ligne de transmission 14. L'au moins une ligne de transmission 14 est reliée au moyen de formation de faisceau par réfraction 12 par le biais d'une structure de transition 16, la structure de transition 16 comprenant une structure de couplage 18 et un guide d'ondes 20 avec une direction de propagation principale T, dans laquelle la micro-onde électromagnétique se propage. Le long de la direction de propagation principale T la micro-onde se propage depuis la structure de couplage 18 jusqu'au moyen de formation de faisceau par réfraction 12.

10

Le moyen de formation de faisceau par réfraction 12 et le guide d'ondes 20 se composent chacun d'un corps diélectrique résistant. Le corps diélectrique du moyen de formation de faisceau par réfraction et le corps diélectrique du guide d'ondes comprennent une couche commune réalisée en un matériau diélectrique résistant M1.

15

Selon l'invention, comme représenté en figure 1, on a une couche diélectrique commune L1 du corps diélectrique résistant du guide d'ondes et du corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction. La couche réalisée en un matériau diélectrique M1 s'étend depuis le guide d'ondes jusqu'au moyen de formation de faisceau dans la direction de propagation principale de l'onde. Par conséquent, la micro-onde se propage par exemple à l'intérieur de la couche supérieure L1 dans le même matériau diélectrique résistant depuis le guide d'ondes 20 jusque dans le moyen de formation de faisceau par réfraction 12. Dans cet exemple, l'au moins une couche commune L1 s'étend sur tout le corps diélectrique du guide d'ondes et tout le corps diélectrique du moyen de formation de faisceau par réfraction 12 dans l'étendue latérale.

20

25

En outre la zone de liaison de guide d'ondes 32 est représentée et s'étend depuis l'extrémité la plus extérieure du guide d'ondes 20 sur un certain segment en direction de la sonde. La position illustrée à l'extrémité du guide d'ondes 20 représente la limite fonctionnelle du guide d'ondes 20. L'étendue de la zone de liaison de guide d'ondes 32 est ainsi inférieure à 2 mm, jusqu'à moins de 20 micromètres.

30

De plus la zone de liaison 34 du moyen de formation de faisceau est représentée et s'étend depuis le bord du moyen de formation de faisceau 12 jusqu'à son centre. L'étendue de la zone de liaison du moyen de formation de faisceau 34 est ainsi inférieure à 2 mm, jusqu'à moins de 20 micromètres. Dans l'exemple représenté, la zone de liaison de guide d'ondes 32 et la zone de liaison de moyen de formation de faisceau 32 se croisent. La couche commune L1 s'étend selon l'invention complètement sur la zone de liaison de guide d'ondes 32 et la zone de liaison de moyen de formation de faisceau 34. La couche commune L1 s'étend depuis l'extrémité de la zone de liaison de guide d'ondes 32 jusqu'à l'extrémité de la zone de liaison de moyen de formation de faisceau 34.

- 10 Dans cet exemple, chacune des quatre couches L1, L2, L3, L4 s'étend depuis guide d'ondes 20 jusqu'au moyen de formation de faisceau par réfraction 12 réalisé en un matériau diélectrique. En principe, la permittivité de chaque matériau diélectrique résistant M1, M2, M3, M4 est à peu près identique de sorte que tout le substrat diélectrique présente la même permittivité en continu. En variante le substrat ne doit pas être absolument construit en couches de matériau diélectrique résistant, mais
- 15 peut également être un corps diélectrique résistant réalisé en un seul matériau. Dans cet exemple, chaque couche L1, L2, L3, L4 est alors une couche commune qui s'étend depuis le guide d'ondes 20 jusqu'au moyen de formation de faisceau par réfraction 12.

- Grâce à cette transition passant du guide d'ondes 20 au moyen de formation de faisceau par réfraction
- 20 12, il est possible d'éviter des réflexions qui diminueraient le degré d'efficacité au niveau de la transition entre le guide d'ondes 20 et le moyen de formation de faisceau 12.

- Le moyen de formation de faisceau par réfraction 12 forme l'onde électromagnétique et la rayonne dans l'air environnant.

25

- En outre, l'unité de rayonnement comprend des couches métalliques sur des faces opposées du matériau diélectrique résistant, à savoir sur une face supérieure sur le matériau diélectrique résistant de la couche supérieure L1 et sous la couche inférieure L4. Les couches métalliques délimitent aussi bien le moyen de formation de faisceau par réfraction 12 que l'au moins un guide d'ondes. Pour des raisons
- 30 de clarté, les couches métalliques ne sont pas représentées dans cette figure.

Le guide d'ondes 20 est un guide d'ondes rectangulaire dont la réalisation particulière est illustrée dans les figures ci-après. Le guide d'ondes rectangulaire 20 a une largeur w et une hauteur h , dont la hauteur

s'étend parallèlement à l'axe central A du moyen de formation de faisceau par réfraction de forme cylindrique.

- 5 L'unité de couplage 18 est une sonde qui s'étend parallèlement à l'axe central A du moyen de formation de faisceau cylindrique par réfraction 12.

Dans cette mise en place, une onde est générée dans le mode TE_{10} , dans lequel le champ E et donc la polarisation de la micro-onde s'étend parallèlement à l'axe central A.

- 10 La figure 2 illustre une vue de dessus d'une unité de rayonnement de micro-ondes 40 avec un moyen de formation de faisceau par réfraction sous la forme d'une lentille cylindrique 42 et de cinq structures de transition 50a, 50b, 50c, 50d, 50e avec un guide d'ondes 52a, 52b, 52c, 52d, 52e. La lentille 42 est une lentille cylindrique et est munie d'une pluralité de trous 44 pour influencer la permittivité de la lentille 42. Tous les guide d'ondes 52a, 52b, 52c, 52d, 52e sont reliés au même moyen de formation de
- 15 faisceau par réfraction 42. Les structures de transition 50a, 50b, 50c, 50d, 50e sont raccordées à un circuit par le biais des lignes de transmission respectives 62a, 62b, 62c, 62d, 62e. Les pistes conductrices des lignes de transmission 62a, 62b, 62c, 62d, 62e sont gravées à partir d'une couche métallique intégrale. Le matériau métallique est représenté en noir.
- 20 En raison de la permittivité relativement élevée du corps diélectrique du guide d'ondes 52a, 52b, 52c, 52d, 52e, les dimensions du guide d'ondes 52a, 52b, 52c, 52d, 52e peuvent être plutôt faibles en largeur, de sorte qu'elles peuvent être alignées étroitement ce qui leur permet de générer potentiellement des faisceaux intermédiaires.
- 25 La couche métallique de la lentille présente un diamètre D qui est important pour les calculs de la lentille. Le corps diélectrique résistant entre les couches métalliques parallèles peut avoir de préférence le même diamètre D ou un diamètre D légèrement plus grand. Un diamètre légèrement plus grand du corps diélectrique résistant pourrait être nécessaire puisque, lors de la fabrication du circuit imprimé, le circuit imprimé ne peut être découpé qu'après stratification des couches. Comme il faut s'assurer que la
- 30 couche métallique présente une circonférence très précise, la découpe de la lentille doit être faite avec une certaine distance de sécurité.

Les trous traversants 44 influent sur la permittivité du corps diélectrique, où les trous 44 présentent la distance la plus petite par rapport à la circonférence qui représente de préférence moins de 100 μm .

Les trous traversants 44 dans le présent mode de réalisation ont une forme de section transversale circulaire, mais peuvent également avoir tout autre forme.

5 La grandeur des trous 44 varie dans le sens où ils présentent un plus grand diamètre plus près du bord et un diamètre plus petit plus près du centre de la lentille. De préférence les trous 44 sont disposés de manière symétrique en azimut.

10 Cependant, il est également possible d'envisager des solutions en variante qui présentent une asymétrie par rapport à la répartition latérale. Il est possible que les trous 44 varient plus ou moins de manière aléatoire en termes de forme et de répartition, mais pour cette variation un gradient spécifique de la permittivité relative est obtenu de manière à arriver à un indice de réfraction de gradient qui se comporte de préférence de manière quadratique avec la distance radiale.

15 Le guide d'ondes se termine à proximité immédiate du bord virtuel de la lentille. La distance entre le guide d'ondes et la circonférence virtuelle de la lentille est alors de préférence inférieure à la distance du diamètre d'un contact traversant. La circonférence virtuelle est définie par exemple par le diamètre de la couche métallique de la lentille. De manière particulièrement préférée, la distance du centre de la lentille jusqu'à son foyer est supérieure à la distance jusqu'à l'extrémité du guide d'ondes qui se situe à l'extérieur de la circonférence des trous, mais à l'intérieur de la circonférence de la couche métallique.

20 La lentille 42 représentée génère une caractéristique de rayonnement avec un faisceau en forme d'éventail.

25 Dans cet exemple, cinq structures de transition 50a, 50b, 50c, 50d, 50e sont présentes, dont la permittivité relative ϵ_r du corps diélectrique résistant est supérieure à 2,5 et de préférence supérieur à 3. En raison de la permittivité relativement élevée, la grandeur du guide d'ondes peut être diminuée à une fréquence définie. Par conséquent, une pluralité de structures de transition peut être prévue pour augmenter la résolution qui peut être obtenue avec un seul moyen de formation de faisceau par réfraction pour une fréquence définie.

30 La figure 3 illustre une vue en coupe transversale le long de la ligne de coupe III-III de la figure 2. La vue en coupe transversale illustre un exemple de réalisation d'une unité de rayonnement de micro-ondes 40 empilée selon l'invention. La transition au niveau du point de transition TP montre que chacune des couches est composée d'un matériau diélectrique qui s'étend régulièrement depuis le

guide d'ondes jusque dans le moyen de formation de faisceau par réfraction 42. L'unité de rayonnement de micro-ondes 40 est réalisée sous la forme d'un circuit imprimé avec plusieurs couches. Les couches sont représentées de manière plus précise dans la vue détaillée de D1 de la figure 4.

- 5 La figure 4 illustre une vue détaillée du détail D1 de la figure 3. Ainsi, l'empilement comprend quatre noyaux C1, C2, C3, C4 qui sont reliés les uns aux autres par trois couches de préimprégné P1, P2, P3 réalisées en un matériau diélectrique. Ainsi, le noyau le plus haut C1 comprend sur sa face supérieure une couche métallique C1-M1, de préférence en cuivre, qui s'étend sur le guide d'ondes 52a, 52b, 52c, 52d, 52e et la lentille 42. Le noyau le plus bas C4 comprend sur sa face inférieure une couche
- 10 métallique C4-M2 qui s'étend également sur le guide d'ondes 52a, 52b, 52c, 52d, 52e et la lentille 42. Les couches métalliques C1-M1 et C4-M2 délimitent les micro-ondes dans la direction axiale parallèlement à l'axe central A.

- La couche métallique C1-M1 est interrompue au-delà de la structure de couplage 72, puisque la couche
- 15 métallique C1-M1 forme dans sa première partie une piste conductrice de la ligne de transmission jusqu'à ce qu'elle atteigne la structure de couplage 72. La seconde piste conductrice de la ligne de transmission dans cette partie est formée par la couche métallique inférieure C1-M2. Dans ce cas la couche métallique ne passe pas au-dessus de la structure de couplage 72. La structure de couplage 72 peut être reliée à la couche métallique inférieure C2-M2 du deuxième noyau C2. La structure de
- 20 couplage 72 est réalisé sous la forme d'un trou de liaison borgne (Blind Via) qui peut être rempli de métal. Comme cette représentation en coupe transversale l'illustre, les couches de métal intermédiaires des noyaux C1 à C4 ont été en grande partie enlevées, de telle sorte que le substrat résiduel est composé sensiblement des parties diélectriques C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL et du matériau diélectrique résistant de liaison des couches de préimprégné P1, P2, P3. La permittivité du matériau
- 25 diélectrique des couches de préimprégné et des couches de noyau diélectriques s'accorde étroitement entre elles pour obtenir des propriétés homogènes non seulement dans la direction de propagation T, mais également dans la direction en hauteur.

- Comme le matériau diélectrique à l'intérieur du guide d'ondes présente une permittivité diélectrique
- 30 relative élevée (>3), la hauteur h et en particulier la largeur w du guide d'ondes peuvent être diminuées par rapport à un guide d'ondes rempli d'air.

Comme on peut le voir, les trous 44 sont des trous traversants qui sont simplement ménagés à travers toute la hauteur de l'empilement.

Les couches métalliques C1-M1 et C1-M2 formant la ligne de transmission peuvent être utilisées sur tout le dispositif pour fournir les lignes de transmission en liaison.

- 5 La figure 5 illustre une vue en coupe transversale le long de la ligne de coupe V-V de la figure 2. Elle illustre une section transversale à travers la paroi latérale du guide d'ondes rectangulaire. Les couches C1-M1 et C4-M2 forment la paroi supérieure et inférieure du guide d'ondes rectangulaire 52c.

- 10 De plus la zone de liaison de guide d'ondes 32 est représentée et s'étend depuis l'extrémité la plus extérieure du guide d'ondes 52c sur un certain segment dans la direction de la sonde. La position représentée à l'extrémité du guide d'ondes 52c est la limite fonctionnelle du guide d'ondes 52c. L'étendue de la zone de liaison 32 du guide d'ondes est ainsi inférieure à 2 mm, jusqu'à moins de 20 micromètres.

- 15 De plus, la zone de liaison 34 du moyen de formation de faisceau est représentée et s'étend depuis le bord du moyen de formation de faisceau jusqu'à son centre. L'étendue de la zone de liaison 34 du moyen de formation de faisceau est ainsi inférieure à 2 mm, jusqu'à moins de 20 micromètres.

- 20 Selon l'invention le moyen de formation de faisceau 42 et le guide d'ondes 52c présentent une couche diélectrique commune qui s'étend suffisamment au moins pour recouvrir la zone de liaison de moyen de formation de faisceau 34 et la zone de liaison de guide d'ondes 32.

- 25 La figure 6 illustre une vue détaillée de la figure 5 avec des contacts traversants 82 qui s'étendent depuis la couche métallique supérieure C1-M1 jusqu'à la couche métallique inférieure C2-M2. Cette distance entre les couches métalliques donne ainsi la hauteur du guide d'ondes. La distance VD entre deux contacts traversants est choisie de telle sorte qu'elle soit petite par rapport à la longueur d'onde que la micro-onde présente dans le matériau diélectrique.

- 30 La figure 7 illustre une vue en coupe transversale en perspective sur la ligne de coupe VII-VII de la figure 6 au niveau de la transition. La zone de liaison s'étend depuis l'extrémité située au plus près de la sonde de la zone de liaison de guide d'ondes 32 jusqu'au centre du moyen de formation de faisceau par réfraction à l'extrémité située au plus près de la zone de liaison de moyen de formation de faisceau 34. On comprend bien que le matériau diélectrique résistant s'étend sur la zone de liaison le long de la direction de propagation principale T du guide d'ondes depuis le guide d'ondes jusqu'à la lentille 42.

Comme la permittivité du matériau diélectrique résistant est identique sur le point de transition TP, aucune réflexion n'est générée. Dans la zone de transition il y a alors une permittivité équivalente. La permittivité du corps diélectrique résistant du moyen de formation de faisceau par réfraction se modifie à l'intérieur de la circonférence virtuelle VP de la lentille, et une réfraction se produit.

Aussi bien les contacts traversants 82 du guide d'ondes que les contacts traversants 44 de la lentille peuvent être fabriquée de manière extrêmement précise. Par conséquent, il est possible de fabriquer une position de transition positionnée très précisément entre guide d'ondes et lentille fabriquée et qui présente un comportement mécanique robuste et qui est cependant relativement petite. Comme on peut le voir, la permittivité globale diélectrique de la lentille et du guide d'ondes est certes différente en raison des trous 44 ménagés dans le circuit imprimé, mais les propriétés de réflexion sont toutefois améliorées lorsque la micro-onde se propage entre les trous 44 à l'intérieur du matériau homogène du guide d'ondes jusqu'à la lentille.

La figure 8 illustre un dispositif radar 100 avec deux unités de rayonnement de micro-ondes selon l'invention 110, 120, telles que représentées en particulier de la figure 2 à la figure 7.

Ainsi, la première unité de rayonnement de micro-ondes 110 est mise en œuvre sur une première partie rigide d'un circuit imprimé 70, comme décrit ci-avant, et la seconde unité de rayonnement de micro-ondes 120 est mise en œuvre sur une seconde partie rigide du circuit imprimé 70. Le circuit imprimé 70 est en particulier un circuit imprimé à plusieurs couches. La première unité de rayonnement de micro-ondes 110 et la seconde unité de rayonnement de micro-ondes 120 sont reliées à au moins une unité de commande radar 140 par le biais de lignes de transmission 116a, 116b, 126a, 126b.

La première partie 110 et la seconde partie 120 sont reliées l'une à l'autre par une partie de liaison 130. Cette partie de liaison 130 est composée uniquement d'une première couche de noyau dans laquelle les couches métalliques C1-M1 et C1-M2 sont utilisées pour la fabrication de la ligne de transmission 126a, 126b entre la première partie et la seconde partie du circuit imprimé 70. Cela permet une transmission de signaux extrêmement efficace et à faible bruit entre la première et la seconde partie. Comme la plupart des autres couches de noyau ont été enlevées, la couche C1-DL résiduelle est suffisamment flexible pour pouvoir se plier et permettre un angle de 90° entre les deux unités de rayonnement. Grâce à l'utilisation de la première unité de rayonnement sous la forme d'une antenne d'émission et de la seconde unité de rayonnement 120 sous la forme d'une antenne de réception, les

deux unités de rayonnement étant reliées à au moins une unité de commande radar 140, il est possible de fournir un appareil de formation d'image radar en 3D à haute fréquence très efficace.

Liste des signes de référence

5	10	unité de rayonnement de micro-ondes
	12	moyen de formation de faisceau par réfraction
	14	ligne de transmission
	16	structure de transition
	18	structure de couplage
10	20	guide d'ondes
	32	zone de liaison de guide d'ondes
	34	zone de liaison de moyen de formation de faisceau
	36	corps diélectrique du guide d'ondes
	38	corps diélectrique du moyen de formation de faisceau par réfraction
15	40	unité de rayonnement de micro-ondes
	50a	structure de transition
	50b	structure de transition
	50c	structure de transition
	50d	structure de transition
20	50e	structure de transition
	52a	guide d'ondes
	52b	guide d'ondes
	52c	guide d'ondes
	52d	guide d'ondes
25	52e	guide d'ondes
	62a	ligne de transmission
	62b	ligne de transmission
	62c	ligne de transmission
	62d	ligne de transmission
30	62e	ligne de transmission
	70	circuit imprimé
	72	structure de couplage
	82	contacts traversants
	100	appareil radar
	110	unité de rayonnement de micro-ondes

5	116a	ligne de transmission
	116b	ligne de transmission
	120	unité de rayonnement de micro-ondes
	126a	ligne de transmission
	126b	ligne de transmission
	130	partie de raccordement
10	140	unité de commande radar
	A	axe central
	C1	couche de noyau
	C1-M1	couche métallique
	C1-DL	couche diélectrique
	C1-M2	couche métallique
15	C2	couche de noyau
	C2-M1	couche métallique
	C2-DL	couche diélectrique
	C2-M2	couche métallique
	C3	couche de noyau
	C3-M1	couche métallique
20	C3-DL	couche diélectrique
	C3-M2	couche métallique
	C4	couche de noyau
	C4-M1	couche métallique
	C4-DL	couche diélectrique
	C4-M2	couche métallique
25	P1	couche de préimprégné
	P2	couche de préimprégné
	P3	couche de préimprégné
	T	direction de propagation principale
30	TP	point de transition

Revendications

1. Unité de rayonnement de micro-ondes (10) comprenant un moyen de formation de faisceau par réfraction (12) et au moins une ligne de transmission (14), l'au moins une ligne de transmission (14) étant reliée au moyen de formation de faisceau par réfraction (12, 42) par le biais d'une structure de transition (16 ; 50a, 50b, 50c, 50d, 50e), la structure de transition (16 ; 50a, 50b, 50c, 50d, 50e) comprenant une structure de couplage (18, 72) et un guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) avec une direction de propagation principale, **caractérisée en ce que** le moyen de formation de faisceau par réfraction (12) et le guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) comprennent à chaque fois des couches métalliques parallèles (C1-M1, C4-M2) et un corps diélectrique résistant (36 ; 38) entre les couches métalliques parallèles (C1-M1, C4-M2), le corps diélectrique résistant (36) du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) et le corps diélectrique résistant (38) du moyen de formation de faisceau par réfraction (18) présentant au moins une couche de liaison commune (L1, L2, L3, L4, C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3) réalisée en un matériau diélectrique (M1, M2, M3, M4) et qui s'étend depuis le guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) dans le moyen de formation de faisceau par réfraction (18) de telle sorte que le corps diélectrique résistant (36) du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) et le corps diélectrique résistant (38) du moyen de formation de faisceau par réfraction (12 ; 42) passent au moins partiellement l'un dans l'autre.
2. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'au moins une couche de liaison commune (L1, L2, L3, L4, C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3) comprend une zone de liaison entre le moyen de formation de faisceau par réfraction (12) et le guide d'ondes (20).
3. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** l'étendue de la couche de liaison commune orthogonale aux couches métalliques (C1-M1, C4-M2) correspond à la distance entre les couches métalliques parallèles (C1-M1, C4-M2).
4. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** le corps diélectrique résistant (36) du guide d'ondes (20) et le corps diélectrique résistant (38) du moyen de formation de faisceau par réfraction (12) sont composés de plusieurs couches

de liaison communes (L1, L2, L3, L4, C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3), dont les matériaux peuvent être différents mais qui présentent une permittivité identique.

5. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes,
5 **caractérisée en ce que** les couches de liaison communes (L1, L2, L3, L4, C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3) s'étendent sur toute l'étendue latérale du corps diélectrique (36) du guide d'ondes (20) et/ou du corps diélectrique (38) du moyen de formation de faisceau (12).
6. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes,
10 **caractérisée en ce qu'**une distance entre le moyen de formation de faisceau par réfraction (12) et le guide d'ondes (20) est inférieure à 0,2 mm.
7. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes,
15 **caractérisée en ce que** le moyen de formation de faisceau par réfraction (12) est cylindrique et présente une section transversale elliptique, en particulier circulaire, parallèle aux couches métalliques (C1-M1, C4-M2).
8. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes,
20 **caractérisée en ce que** le moyen de formation de faisceau par réfraction est une lentille à gradient d'indice, en particulier une lentille de Luneburg généralisée.
9. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** le
25 moyen de formation de faisceau par réfraction (12) présente une forme cylindrique avec un axe central (A), le moyen de formation de faisceau par réfraction (12) ayant la même hauteur que le guide d'ondes (20) - en particulier approximativement 2,2 mm, dans lequel en particulier les couches métalliques adjacentes (C1-M1, C4-M2) du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) et la lentille (42) sont reliées.
10. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications 8 ou 9, **caractérisée en**
30 **ce que** le corps diélectrique (38) de la lentille (42) comprend au moins une couche (C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3) réalisée en un matériau diélectrique résistant, les propriétés de réfraction de la lentille (42) étant définies par des trous (44) ménagés dans le corps diélectrique résistant (32), ces trous (44) étant en particulier remplis d'air.

11. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** les trous (44) sont ménagés de telle sorte que la densité du corps diélectrique résistant (38) de la lentille (42) se modifie par la modification du nombre et/ou du diamètre des trous (44), la densité de la lentille variant, en particulier augmentant, depuis sa zone de bord jusqu'à son centre.
- 5
12. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications 8 à 12, **caractérisée en ce que** la hauteur de la lentille (12, 42) est égale à la hauteur du guide d'ondes (20, 52a, 52b, 52c, 52d, 52e), la largeur (w) du guide d'ondes (20, 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) étant choisie pour un fonctionnement dans une bande de fréquences définie.
- 10
13. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la longueur (L) du guide d'ondes (20, 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) dans la direction de propagation principale (T) correspond à la moitié de la longueur d'onde dirigée L_G , la longueur d'onde dirigée étant définie comme la distance entre deux plans de phase identiques le long du guide d'ondes (20, 52a, 52b, 52c, 52d, 52e).
- 15
14. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la hauteur (h) du guide d'ondes est supérieure à λ_{den} en considérant le DSM du guide d'ondes $/2$; pour une polarisation perpendiculairement à l'axe central (A) de la lentille cylindrique.
- 20
15. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes 7 à 13, **caractérisée en ce que** la largeur (w) du guide d'ondes (20, 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) est supérieure à λ_{den} en considérant le DSM du guide d'ondes $/2$; pour une polarisation parallèlement à l'axe central (A) de la lentille cylindrique (42).
- 25
16. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 15, **caractérisée en ce que** la largeur (w) du guide d'ondes (20, 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) est inférieure à la hauteur (h) du guide d'ondes (20, 52a, 52b, 52c, 52d, 52e).
- 30
17. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la ligne de transmission (14), la structure de transmission (16) et le

moyen de formation de faisceau par réfraction (12, 42) sont fabriqués intégralement dans un seul corps diélectrique (36, 38).

- 5 18. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications 7 à 17, **caractérisée en ce que** la structure de couplage (18, 72) comprend une sonde, la longueur de la sonde à l'intérieur du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e) représentant en particulier la moitié de la hauteur (h) du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e), dans laquelle une sonde s'étend parallèlement à l'axe central (A) du moyen de formation de faisceau cylindrique par réfraction (12, 42).
- 10 19. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 18, **caractérisée en ce que** la longueur de la sonde correspond à la moitié de la largeur du guide d'ondes (20 ; 52a, 52b, 52c, 52d, 52e), la sonde s'étendant parallèlement à l'axe central (A).
- 15 20. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 18 ou 19, **caractérisée en ce que** le diamètre de la sonde est idéalement le plus petit possible comparé à la longueur d'onde dirigée L_G .
- 20 21. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'au moins une couche de liaison (L1, L2, L3, L4, C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3) s'étend sur tout le corps diélectrique (36, 38) et les couches métalliques (C1-M1, C4-M2) font partie d'un circuit imprimé à plusieurs couches, les couches diélectriques (L1, L2, L3, L4, C1-DL, C2-DL, C3-DL, C4-DL, PA, P2, P3) étant empilées dans la direction de l'axe central et en particulier comprennent le corps diélectrique réalisé de couches de noyau (C1, C2, C3, C4) et/ou de couches de préimprégné (P1, P2, P3).
- 25 22. Unité de rayonnement de micro-ondes selon les revendications 14, 15 et 17 et une des revendications 18 à 21, **caractérisée en ce que** la sonde (72) est façonnée sous la forme d'un trou de liaison borgne.
- 30 23. Unité de rayonnement de micro-ondes selon la revendication 22, **caractérisée en ce que** le circuit imprimé à plusieurs couches comprend une couche centrale (C2), ce qui permet que le trou de liaison borgne métallisé (72) relie la couche centrale (C2-M2) à la ligne de transmission (C1-M1 ; 62a, 62b, 62c, 62d, 62).

24. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications 21 à 23, **caractérisée en ce que** le circuit imprimé à plusieurs couches est empilé de telle sorte que la couche centrale (C2), jusqu'à laquelle s'étend le trou de liaison borgne, est distante de manière régulière des couches métalliques parallèles les plus extérieures (C1-M1, C4-M2), c'est-à-dire sur à peu près la moitié de la hauteur (h) du guide d'ondes (52a, 52b, 52c, 52d, 52e).
25. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications 21 à 24, **caractérisée en ce que** le circuit imprimé à plusieurs couches (70) qui fournit la ligne de transmission (62a, 62b, 62c, 62d, 62e) présente une piste conductrice métallique (C1-M1) sur le corps diélectrique (C1-DL) et une couche de mise à la terre (C1-M2) sous le matériau diélectrique de la couche supérieure en regard de la piste conductrice métallique afin de délimiter le champ électrique dans la direction parallèlement à l'axe de cylindre (A), la couche de mise à la terre (C1-M2) étant construite de manière à ne pas être reliée de manière conductrice au trou de liaison borgne (72).
26. Unité de rayonnement de micro-ondes selon une des revendications 20 à 26, **caractérisée en ce que** des parois latérales du guide d'ondes (52a, 52b, 52c, 52d, 52e) sont façonnées sous la forme de trous traversants (82) à une petite distance par rapport à la longueur d'onde dirigée (L_g), de préférence inférieure à 0,8 mm, de manière particulièrement préférée inférieure à 0,4 mm.
27. Émetteur-récepteur de circuit imprimé (100) avec un circuit imprimé à plusieurs couches (70) et au moins une unité de rayonnement de micro-ondes (110, 120) selon une des revendications précédentes, dans lequel le corps diélectrique du guide d'ondes et le corps diélectrique du moyen de formation de faisceau par réfraction sont formés par des couches du circuit imprimé à plusieurs couches (70), dans lequel l'au moins une ligne de transmission (116a, 116b, 126a, 126b) est reliée à au moins un circuit intégré (140) pour alimenter en signaux l'unité de rayonnement (110, 120) et/ou recevoir des signaux depuis l'unité de rayonnement (110, 120), le circuit intégré (140) étant appliqué sur le circuit imprimé à plusieurs couches (70) de préférence sur la couche sur laquelle la ligne de transmission est accessible, de manière particulièrement préférée sur la couche supérieure ou inférieure.

28. Circuit imprimé selon la revendication 27, **caractérisé en ce qu'il** présente au moins deux unités de rayonnement de micro-ondes (110, 120) selon une des revendications 1 à 26, dans lequel les au moins deux unités de rayonnement de micro-ondes (110, 120) sont reliées à l'au moins un circuit intégré (140), le circuit intégré (140) étant en particulier un circuit de radar.

5

29. Circuit imprimé selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** le circuit imprimé à plusieurs couches (70) comprend une partie de liaison (130) qui relie les au moins deux unités de rayonnement de micro-ondes (110, 120) les unes aux autres, dans lequel la partie de liaison (130) comprend au moins trois couches (C1-M1 ; C1-DL, C1-M2), dans lequel pour la mise en œuvre de la ligne de transmission sur la partie de liaison deux couches sont nécessaires.

10

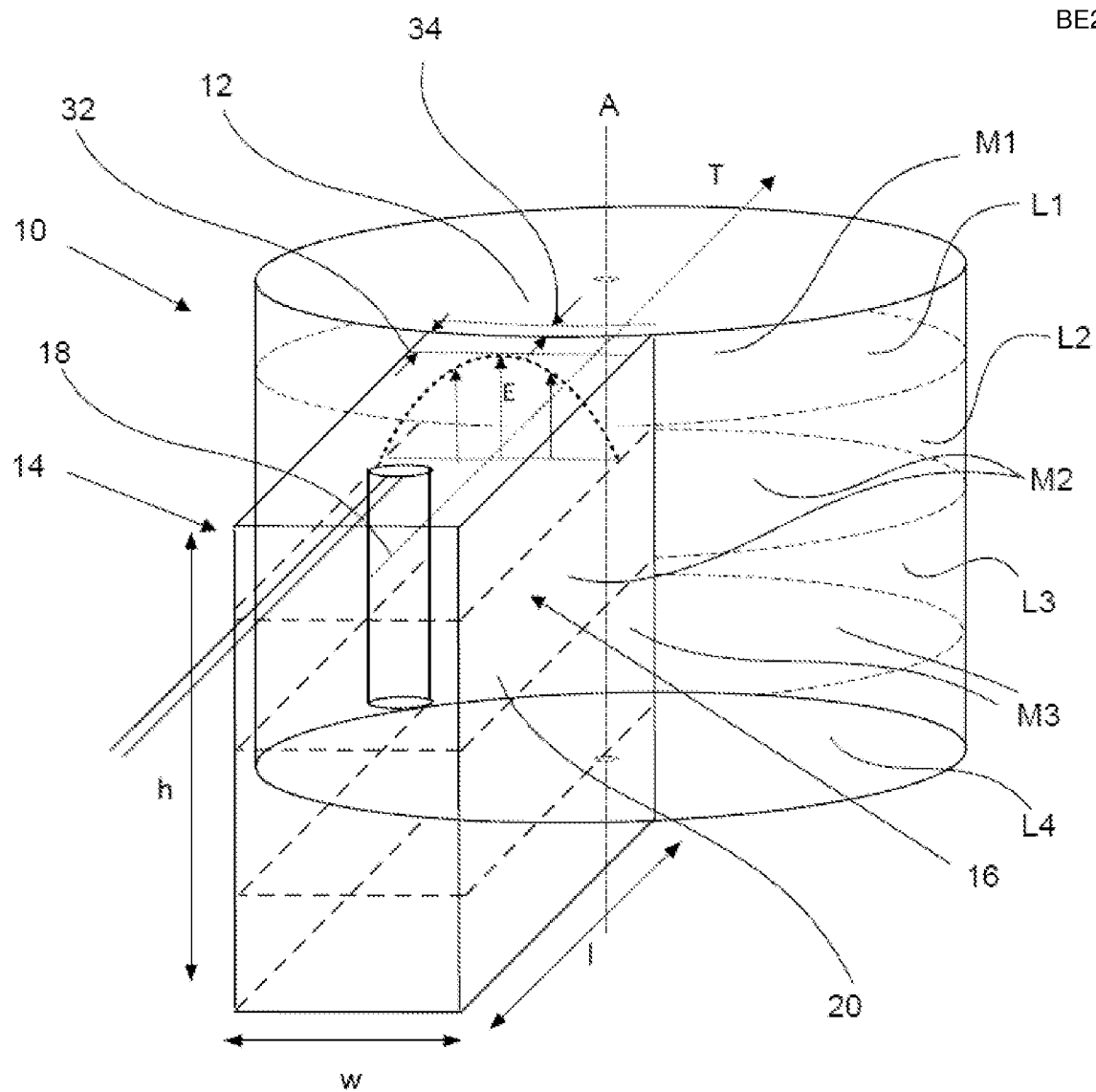


Fig. 1

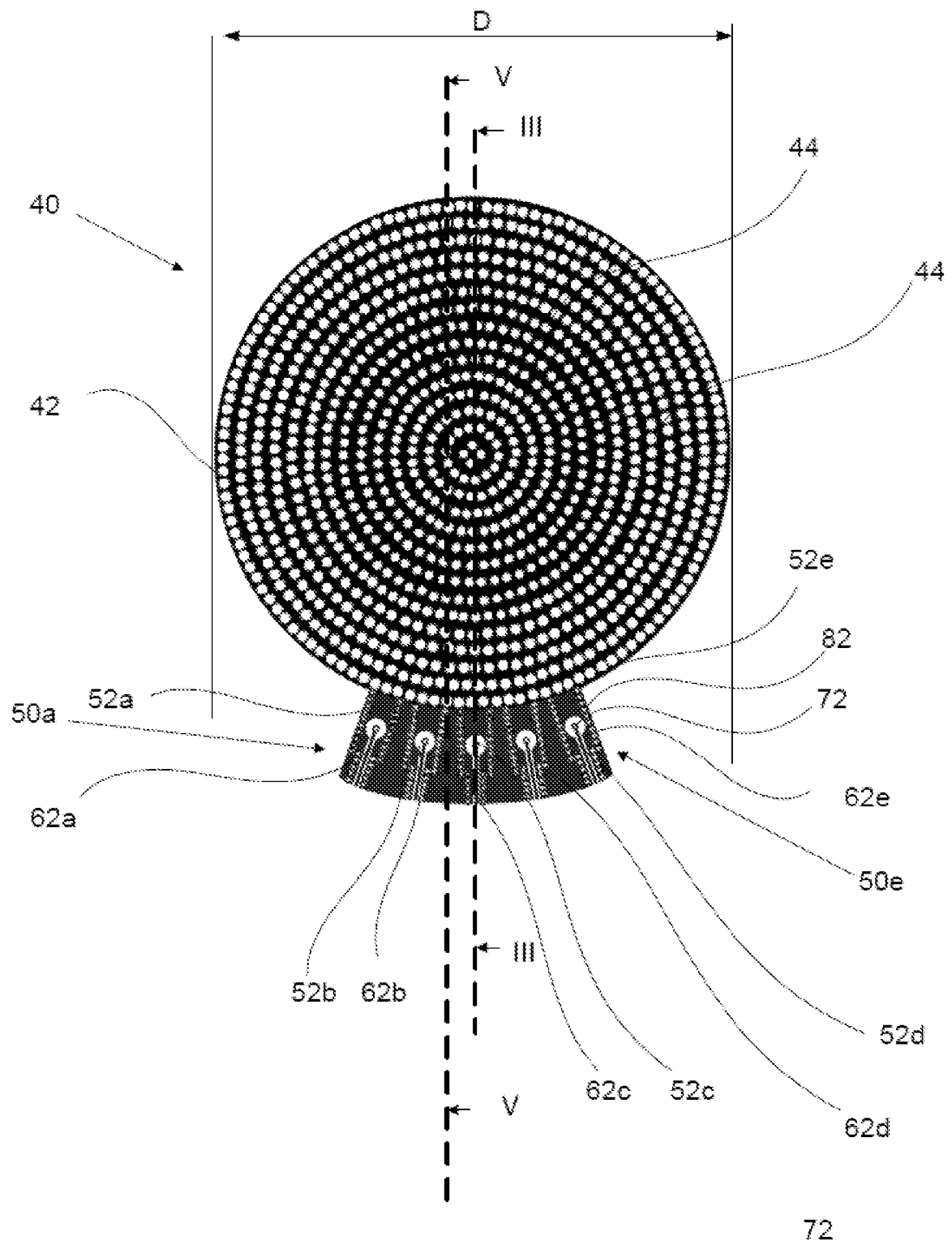


Fig. 2

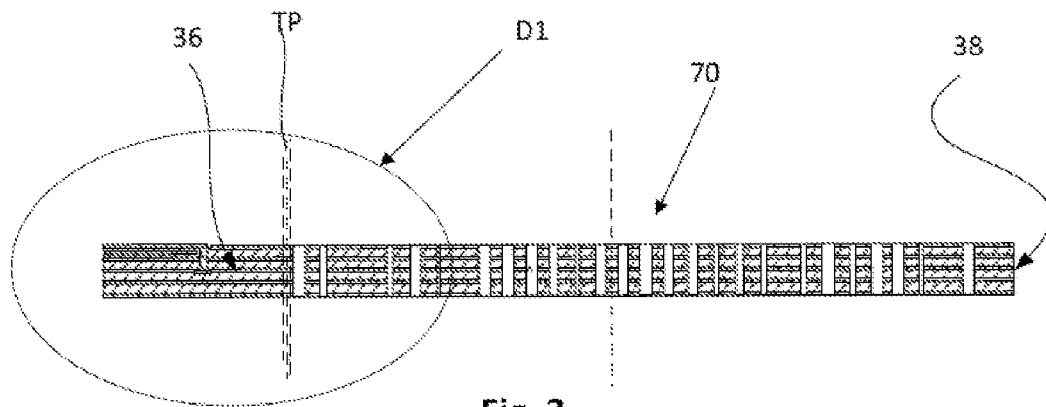


Fig. 3

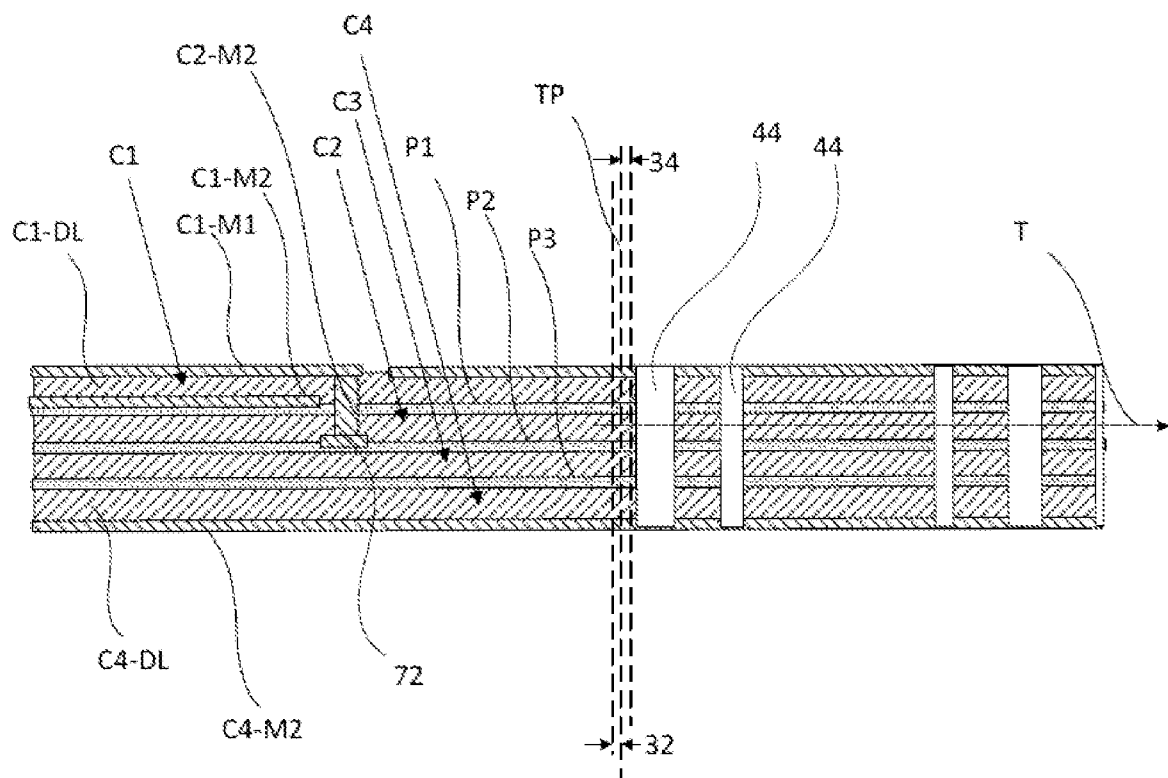


Fig. 4

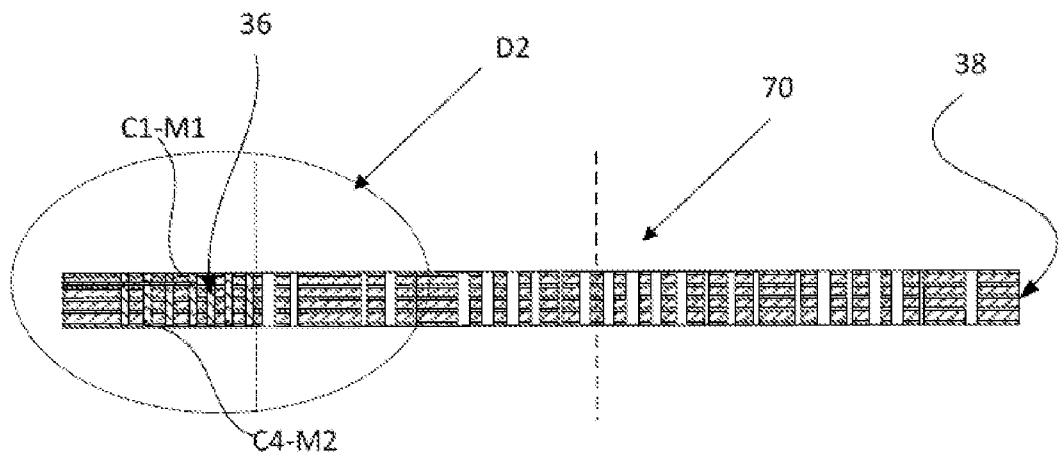


Fig. 5

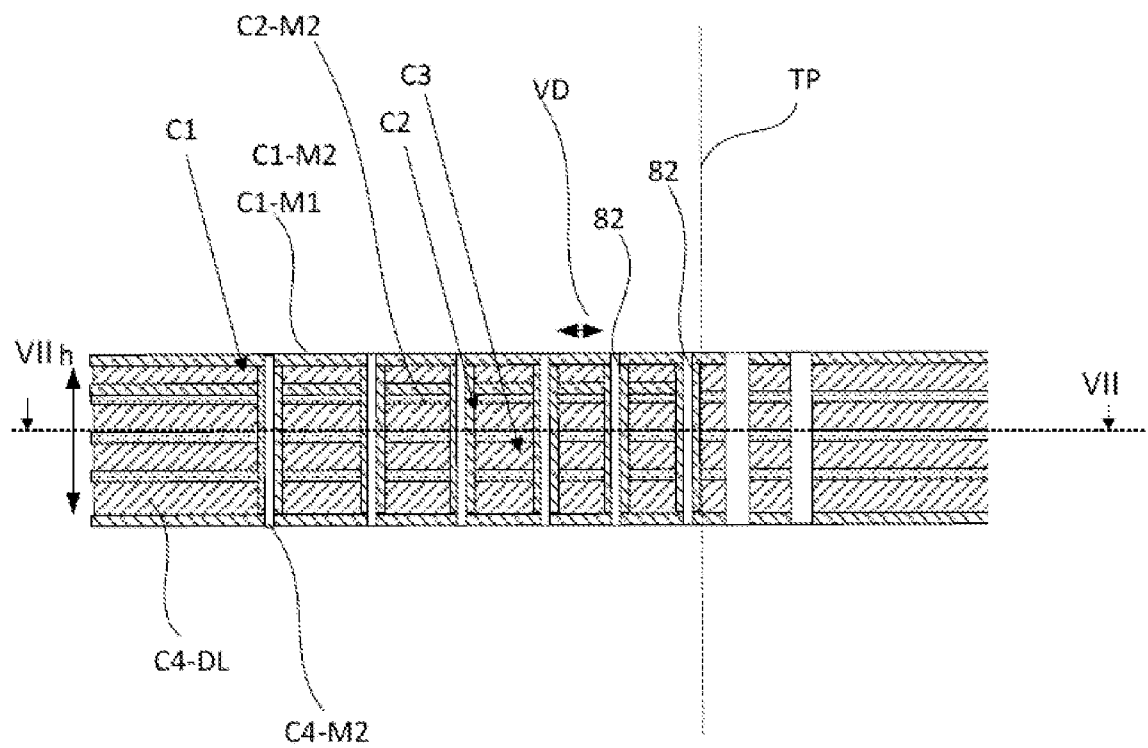


Fig. 6

