

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 048 556

②1 N° d'enregistrement national : **16 00370**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 01 P 11/00 (2017.01)**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 04.03.16.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 08.09.17 Bulletin 17/36.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *SWISSTO 12 SA — CH.*

⑦2 Inventeur(s) : *DE RIJK EMILE, FAVRE MIRKO, BILLOD MATHIEU, DIMITRIADES ALEXANDRE et MACOR ALESSANDRO.*

⑦3 Titulaire(s) : *SWISSTO 12 SA.*

⑦4 Mandataire(s) : *TWENANS.*

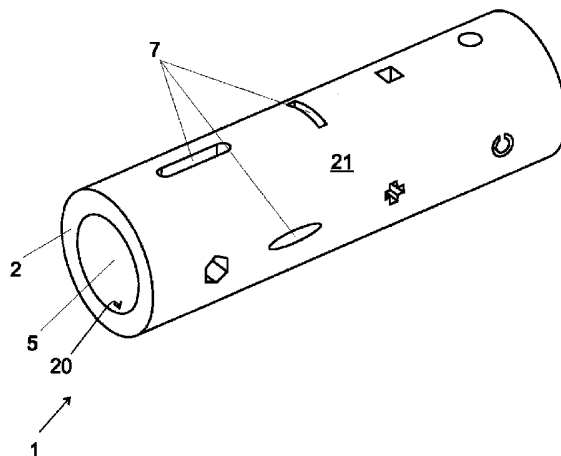
⑤4 **PROCEDE DE FABRICATION ADDITIVE D'UN GUIDE D'ONDE AINSI QUE DISPOSITIFS A GUIDE D'ONDE FABRIQUES SELON CE PROCEDE.**

⑤7 Procédé de fabrication de dispositif (1) à guide d'onde comprenant les étapes suivantes :

-fabriquer une âme (2) en matériau non conducteur, ladite âme comportant des parois latérales avec des surfaces externes (21) et internes (20), les surfaces internes définissant un canal de guide d'ondes (5);

déposer une couche de métal conducteur (3) sur les surfaces internes (20), par immersion dans un fluide de réactifs;

caractérisé en ce que ladite âme (2) comporte au moins un trou (7) entre lesdites surfaces externes et internes, spécifiquement destiné à favoriser l'évacuation de bulles dans ledit canal (5) et/ou la circulation du fluide lors de ladite immersion.



FR 3 048 556 - A1



Sto12-100-fr

Procédé de fabrication additive d'un guide d'onde ainsi que dispositifs à guide d'onde fabriqués selon ce procédé.

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication additive de dispositif à guide d'onde et un
5 guide d'onde fabriqué selon ce procédé.

Etat de la technique

[0002] Les signaux radiofréquence (RF) peuvent se propager soit dans un espace, soit dans des dispositifs guide d'onde. Ces dispositifs guide d'onde sont utilisés pour canaliser les signaux RF ou pour les manipuler dans le
10 domaine spatial ou fréquentiel.

[0003] La présente invention concerne en particulier les dispositifs RF passifs qui permettent de propager et de manipuler des signaux radiofréquence sans utiliser de composants électroniques actifs. Les guides d'onde passifs
15 peuvent être répartis en trois catégories distinctes :

- Les dispositifs basés sur le guidage d'ondes à l'intérieur de canaux métalliques creux, couramment appelés guides d'ondes.
- Les dispositifs basés sur le guidage d'ondes à
20 l'intérieur de substrats diélectriques.
- Les dispositifs basés sur le guidage d'ondes au moyen d'ondes de surface sur des substrats métalliques tels que des circuits imprimés PCB, des microstrips, etc.

[0004] La présente invention concerne en particulier la première catégorie ci-dessus, collectivement désignée par la suite comme guides d'ondes. Des exemples de tels dispositifs incluent des guides d'ondes en tant que tels, des filtres, des antennes, des convertisseurs de mode, etc. Ils peuvent être utilisés pour le routage de signal, le filtrage fréquentiel, la séparation ou recombinaison de signaux, l'émission ou la réception de signaux dans ou depuis l'espace libre, etc,

10 [0005] Un exemple de guide d'ondes conventionnel est illustré sur la figure 1. Il est constitué par un dispositif creux, dont la forme et les proportions déterminent les caractéristiques de propagation pour une longueur d'onde donnée du signal électromagnétique. Les guides d'onde classiques utilisés pour les signaux radiofréquence ont des ouvertures internes de section rectangulaire ou circulaire. Ils permettent de propager des modes électromagnétiques correspondant à différentes distributions de champ électromagnétique le long de leur section. Dans l'exemple illustré le guide d'onde a une hauteur b le long de l'axe y et une largeur a le long de l'axe z .

[0006] La figure 2 illustre schématiquement les lignes de champ électrique E et magnétique H dans un tel guide d'onde. Le mode de propagation dominant est dans ce cas le mode transversal électrique appelé TE_{10} . L'indice 1 indique le nombre de demi-longueurs d'onde à travers la largeur du guide, et 0 le nombre de demi longueur d'onde le long de la hauteur.

30 [0007] Les figures 3 et 4 illustrent un guide d'ondes à section circulaire. Des modes de transmission circulaires peuvent se propager dans un tel guide d'onde. Les flèches

sur la figure 4 illustrent le mode de transmission TE_{11} ;
les flèches sensiblement verticales montrent le champ
électrique, les flèches davantage horizontales le champ
magnétique. L'orientation du champ change à travers la
5 section du guide d'onde.

[0008] Mis à part ces exemples d'ouvertures de guide
d'ondes rectangulaires ou circulaires, d'autres formes
d'ouverture ont été imaginées ou peuvent être imaginées
dans le cadre de l'invention et qui permettent de maintenir
10 un ou plusieurs mode(s) électromagnétique(s) à une
fréquence de signal donnée afin de transmettre un signal
électromagnétique. Des exemples d'ouverture de guide d'onde
possibles sont illustrés sur la figure 5. La surface
illustrée correspond à la section de l'ouverture du guide
15 d'onde, délimitée par des surfaces conductrices
électriquement. La forme et la surface de la section
peuvent en outre varier le long de la direction principale
du dispositif à guide d'ondes.

[0009] La fabrication de guides d'ondes avec des sections
20 complexes est difficile et coûteuse. Des travaux récents
ont cependant démontré la possibilité de réaliser des
composants guide d'onde, y compris des antennes, des guides
d'ondes, des filtres, des convertisseurs, etc, à l'aide de
méthodes de fabrication additives, par exemple d'impression
25 3D. On connaît en particulier la fabrication additive de
guides d'ondes comportant à la fois des matériaux non
conducteurs, tels que des polymères ou des céramiques, et
des métaux conducteurs.

[0010] Des guides d'ondes comportant des parois céramiques
30 ou polymères fabriquées par une méthode additive puis
recouvertes d'un placage métallique ont notamment été
suggérés. Les surfaces internes du guide d'onde doivent en

effet être conductrices électriquement pour opérer.

L'utilisation d'une âme non conductrice permet d'une part de réduire le poids et le coût du dispositif, d'autre part de mettre en œuvre des méthodes d'impression 3D adaptées
5 aux polymères ou aux céramiques et permettant de produire des pièces de haute précision avec une faible rugosité de paroi.

[0011] Un exemple de guide d'onde 1 réalisé par fabrication additive est illustré sur la figure 6. Il
10 comporte une âme 2 non conductrice, par exemple en polymère ou céramique, qui est fabriquée par exemple par stéréolithographie ou par un autre procédé additif et qui définit une ouverture interne 5 pour la propagation du signal RF. Dans cet exemple, la fenêtre a une section
15 rectangulaire de largeur a et de hauteur b . Les parois internes de cette âme autour de l'ouverture 5 sont revêtues d'un revêtement électriquement conducteur 3, par exemple d'un placage métallique. Dans cet exemple, les parois
20 externes du guide d'onde sont également revêtues d'un placage métallique 4 qui peut être du même métal et de la même épaisseur. Ce revêtement externe renforce le guide d'onde face aux sollicitations mécaniques ou chimiques externes.

[0012] La figure 7 illustre une variante de guide d'onde
25 similaire à celui de la figure 6, mais sans le revêtement conducteur sur les faces externes.

[0013] Différentes techniques peuvent être mises en œuvre pour la déposition du revêtement métallique sur les faces internes et éventuellement externe de l'âme. Le problème
30 est cependant complexe en raison de la taille réduite de l'ouverture, des formes complexes qu'il s'agit souvent de recouvrir, et de la nécessité de contrôler avec une grande

précision les dimensions de l'ouverture et donc l'épaisseur du revêtement.

[0014] Des méthodes d'électrodéposition ont par exemple été mises en œuvre, basées sur l'utilisation d'un courant électrique entre une cathode sur la face à recouvrir et une anode immergée dans un liquide rempli d'ions métalliques. L'âme étant non conductrice, cette méthode requiert le dépôt d'une couche conductrice intermédiaire pouvant servir de cathode. Le dépôt de cette couche intermédiaire est difficile. La connexion électrique des portions de la cathode difficilement atteignable à l'intérieur du guide d'onde est également problématique.

[0015] Pour cette raison, des méthodes de déposition chimiques, sans courant électrique, sont souvent privilégiées. Elles mettent en œuvre l'immersion de la pièce à plaquer successivement dans un ou plusieurs bains contenant des réactifs qui déclenchent des réactions chimiques aboutissant à la déposition du matériau métallique choisi, par exemple du cuivre, de l'or, de l'argent, du nickel, etc, sur la surface à recouvrir.

[0016] L'efficacité et la dynamique de la déposition dépendent de nombreux facteurs, y compris notamment la concentration de réactifs et d'ions métalliques dans les différents bains à proximité des surfaces à recouvrir.

[0017] Des essais effectués dans le cadre cette invention ont cependant montré que la déposition chimique, sans courant électrique, de métal conducteur sur les parois de canaux guide d'onde de forme complexe présente cependant au moins deux difficultés :

[0018] Tout d'abord, la présence fréquente de bulles d'air piégées dans le canal du guide d'onde provoque souvent un plaquage insuffisant, ou même une absence totale de plaquage, sur certaines surfaces. Les bulles d'air
5 empêchent en effet tout contact entre les agents réactifs du liquide et certaines portions de la surface à recouvrir.

[0019] Ensuite, les réactifs liquides ont tendance à stagner dans les canaux du guide d'onde. La réaction chimique de déposition consomme alors rapidement tous les
10 réactifs du liquide stagnant dans les canaux. Lorsque tous les réactifs ont été consommés, la réaction de déposition s'arrête en laissant les canaux guide d'onde avec des défauts de plaquage ou un plaquage d'épaisseur insuffisante et irrégulière.

Bref résumé de l'invention

15 [0020] Un but de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication de dispositif à guide d'onde qui soit exempt des limitations ci-dessus.

[0021] Un autre but de l'invention est de proposer un dispositif à guide d'onde fabriqué selon ce procédé et qui
20 soit exempt des limitations des dispositifs à guides d'onde ci-dessus.

[0022] Selon l'invention, ces buts sont atteints notamment au moyen d'un procédé de fabrication de dispositif à guide d'onde comprenant les étapes suivantes :

25 -fabriquer une âme en matériau conducteur ou non conducteur, ladite âme comportant des parois latérales avec des surfaces externes et internes, les surfaces internes définissant un canal de guide d'ondes ;
déposer une couche de métal conducteur sur les

surfaces internes, par immersion dans un fluide de réactifs ;

ladite âme comportant au moins un trou entre lesdites surfaces externes et internes, spécifiquement
5 destiné à favoriser l'évacuation de bulles dans ledit canal et la circulation du fluide lors de ladite immersion.

[0023] Par dispositif à guide d'onde, on entend dans la présente demande tout dispositif comportant un canal creux délimité par des parois conductrices et destiné au guidage
10 d'ondes électromagnétiques RF dans le canal, par exemple pour la transmission d'un signal électromagnétique à distance, le filtrage, la réception et l'émission dans l'éther (antennes), la conversion de mode, la séparation de signaux, la recombinaison de signaux, etc.

15 [0024] L'invention concerne en particulier des dispositifs aptes à fonctionner dans les bandes de fréquence L, S, C, X, Ku, K, Ka, Q, V, W, F, D ou G.

[0025] Le ou les trous permettent une déposition de métal conducteur plus régulière en évitant l'accumulation de
20 bulles dans le canal, et en permettant un échange de fluide amélioré entre l'intérieur et l'extérieur du guide d'onde lors de la déposition.

[0026] La section du canal est nettement plus importante que celle du ou des trous, qui ne perturbent donc que peu
25 les performances radioélectriques, par exemple l'efficacité de transmission du guide d'onde.

[0027] Le ou les trous s'étendent de préférence perpendiculairement aux parois qu'ils traversent.

[0028] Le ou les trous s'étendent de préférence perpendiculairement à la direction principale du canal.

[0029] La fabrication de l'âme peut comporter une étape de fabrication additive, par exemple une étape de fabrication
5 par stéréolithographie.

[0030] L'expression « fabrication additive » décrit tout procédé de fabrication de pièces par ajout de matière, selon des données informatiques stockées sur un support informatique et définissant un modèle de la pièce. Outre la
10 stéréolithographie, l'expression désigne aussi d'autres méthodes de fabrication par durcissement ou coagulation de liquide ou de poudre notamment, y compris sans limitation des méthodes basées sur des jets d'encre (binder jetting), DED (Direct Energy Deposition), EBFF (Electron beam
15 freeform fabrication), FDM (fused deposition modeling), PFF (plastic freeforming), par aérosols, BPM (ballistic particle manufacturing), lit de poudre, SLS (Selective Laser Sintering), ALM (additive Layer Manufacturing), polyjet, EBM (electron beam melting), photopolymerisation,
20 etc

[0031] Le procédé peut comporter une étape de traitement de surface de l'âme afin de favoriser l'accrochage de la couche de métal conducteur. Le traitement de surface peut comporter une augmentation de la rugosité de surface, et/ou
25 la déposition d'une couche intermédiaire d'accrochage.

[0032] L'étape de fabrication additive peut générer une âme qui inclut déjà le ou lesdits trous. La forme et l'emplacement des trous sont donc définis par le fichier informatique utilisé pour l'impression additive de l'âme.

[0033] Dans une variante, le ou les trous sont percés après l'étape de fabrication additive. Cette variante implique cependant une étape supplémentaire.

[0034] Les bords du trou peuvent être métallisés au cours
5 de l'étape de déposition.

[0035] Les trous peuvent être rebouchés après la métallisation, par exemple par insertion d'une goupille ou remplissage d'une colle conductrice.

[0036] Les faces externes du dispositif peuvent être
10 métallisées au cours de l'étape de déposition. Le dispositif est ainsi plus rigide mécaniquement et protégé des agressions mécaniques et chimiques de l'extérieur.

[0037] La déposition de métal conducteur est de préférence effectuée par un procédé chimique sans utilisation de
15 courant électrique.

[0038] L'invention a aussi pour objet un dispositif à guide d'ondes produit par ce procédé et comportant :
une âme en matériau non conducteur, ladite âme comportant des parois latérales avec des surfaces externes
20 et internes, les surfaces internes définissant un canal de guide d'ondes ;
une couche de métal conducteur sur les surfaces internes ;
au moins un trou entre lesdites surfaces externes
25 et internes.

Brève description des figures

[0039] Des exemples de mise en œuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles :

- La figure 1 illustre une vue en perspective tronquée d'un dispositif guide d'onde conventionnel à section rectangulaire.
5
- La figure 2 illustre les lignes de champ magnétiques et électriques dans le dispositif de la figure 1.
- 10 • La figure 3 illustre une vue en perspective tronquée d'un dispositif guide d'onde conventionnel à section circulaire.
- La figure 4 illustre les lignes de champ magnétiques et électriques dans le dispositif de la figure
15 3.
- La figure 5 illustre différentes sections possibles de canaux de transmission dans des dispositifs à guide d'onde.
- La figure 6 illustre une vue en perspective tronquée d'un dispositif guide d'onde à section
20 rectangulaire produit par fabrication additive et dont les parois internes et externes sont toutes deux recouvertes d'une déposition de matériau électrique conducteur.
- La figure 7 illustre une vue en perspective tronquée d'un dispositif guide d'onde à section
25 rectangulaire produit par fabrication additive et dont

seules les parois internes sont recouvertes d'une
déposition de matériau électrique conducteur.

- La figure 8 illustre une vue en perspective d'un
dispositif guide d'onde à section rectangulaire produit par
5 fabrication additive et dont les parois internes sont
percées de trous pour l'évacuation des bulles et la
circulation de fluide lors de la déposition.
- La figure 9 illustre une vue en perspective d'un
dispositif guide d'onde à section circulaire produit par
10 fabrication additive et dont les parois internes sont
percées de trous pour l'évacuation des bulles et la
circulation de fluide lors de la déposition.
- La figure 10 illustre différentes sections
possibles de trous traversants dans des dispositifs à guide
15 d'onde, en montrant la dimension typique T_s à considérer
pour chaque section.
- La figure 11 est un diagramme qui illustre
l'atténuation en décibel produite par un seul trou de
diamètre variable dans une grande paroi d'un dispositif à
20 guide d'ondes à section rectangulaire, selon la fréquence
de transmission et le diamètre du trou.
- La figure 12 est un diagramme qui illustre
l'atténuation en décibel produite par un seul trou de
diamètre variable dans une petite paroi d'un dispositif à
25 guide d'ondes à section rectangulaire, selon la fréquence
de transmission et le diamètre du trou.
- La figure 13 est un diagramme qui illustre
l'atténuation en décibel produite par deux trous de
diamètre variable dans une grande paroi d'un dispositif à

guide d'ondes à section rectangulaire, selon la fréquence de transmission et le diamètre du trou. La figure 14 illustre schématiquement un exemple de dispositif guide d'onde qui peut être fabriqué avec le procédé de
5 l'invention.

Exemple(s) de mode de réalisation de l'invention

[0040] La figure 7 illustre une vue en perspective d'un dispositif guide d'onde 1 selon l'invention, dans ce cas un dispositif guide d'ondes à section rectangulaire. Il comporte une âme 2 en matériau non conducteur, par exemple
10 en polymère tel que l'époxy, ou la céramique, fabriqué par fabrication additive, par exemple par stéréolithographie. Cette âme délimite un canal interne 5 destiné au guidage d'ondes, et dont la section est déterminée selon la fréquence du signal électromagnétique à transmettre. Les
15 dimensions de ce canal interne a, b et sa forme sont déterminées en fonction de la fréquence opérationnelle du dispositif 1, c'est-à-dire la fréquence du signal électromagnétique pour lequel le dispositif est fabriqué et pour laquelle un mode de transmission stable et
20 optionnellement avec un minimum d'atténuation est obtenu.

[0041] L'âme 5 est fabriquée de manière monolithique, par exemple par stéréolithographie. Elle peut aussi être constituée de plusieurs parts formées par
25 stéréolithographie et assemblées entre elles avant le plaquage, par exemple par collage ou fusion thermique.

[0042] Les surfaces internes 20 de l'âme 2 délimitent le canal 5. Elles sont recouvertes d'une déposition de matériau conducteur non représentée, par exemple de cuivre, d'argent, d'or, de nickel etc, plaqué par déposition
30 chimique sans courant électrique.

[0043] L'épaisseur de ce revêtement conducteur doit être suffisante pour que la surface soit conductrice électriquement à la fréquence radio choisie. Ceci est typiquement obtenu à l'aide d'une couche conductrice
5 déposée sur les parois internes du guide d'onde avec une épaisseur au moins égale à la profondeur de peau δ :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu 2\pi f \sigma}}$$

dans laquelle μ est la perméabilité magnétique du métal plaqué, f est la fréquence radio du signal à transmettre et σ est la conductivité électrique du métal plaqué.

10 [0044] Cette épaisseur est sensiblement constante sur toutes les surfaces internes 20 afin d'obtenir une pièce finie avec des tolérances dimensionnelles pour le canal 5 précises. L'épaisseur est de préférence supérieure à 1 μm .

[0045] Les surfaces externes 21 autour de l'âme 2 peuvent
15 aussi être recouvertes d'une déposition du même matériau, d'un autre matériau, ou être nues.

[0046] La déposition de métal conducteur 3 sur les faces internes 20 et éventuellement externes 21 se fait en immergeant l'âme 5 dans une série de bains successifs,
20 typiquement 5 à 15 bains. Chaque bain implique un fluide avec un ou plusieurs réactifs. La déposition ne nécessite pas d'appliquer un courant sur l'âme à recouvrir. Un brassage et une déposition régulière sont obtenus en brassant le fluide, par exemple en pompant le fluide dans
25 le canal de transmission 5 et/ou autour du dispositif ou en vibrant l'âme 5 et/ou le bac de fluide, par exemple avec un dispositif vibrant à ultrasons pour créer des vagues ultrasoniques.

[0047] Selon un aspect de l'invention, un ou plusieurs trous traversants 7 traversent l'âme 2 entre les surfaces internes et externes 21, de manière à permettre une communication fluïdique entre le canal 5 et l'environnement
5 autour du dispositif 1. Dans l'exemple illustré sur cette figure, plusieurs trous de section variable sont prévus sur la grande paroi de largeur interne b et plusieurs trous 7 de section variable sont également prévus sur la petite paroi de hauteur a . Il est cependant aussi possible de
10 prévoir des trous seulement sur la grande paroi, ou seulement sur la petite paroi, ou sur un nombre quelconque des parois. Il est possible de prévoir, 0, 1 ou N trous sur chaque paroi. La section des trous traversants 7 et leur forme peut être identique ou variable.

15 [0048] La figure 8 illustre une variante de dispositif à guide d'ondes 1 avec un canal de guidage interne 5 à section circulaire et muni de trous traversants 7 pour l'échange fluïdique entre le canal 5 et l'extérieur lors de l'immersion.

20 [0049] La figure 9 illustre une variante de dispositif à guide d'ondes 1 avec un canal de guidage interne 5 à section rectangulaire, le canal 5 étant cependant ondulé et non parallélépipédique. Il est également muni de trous traversants 7 pour l'échange fluïdique entre le canal 5 et
25 l'extérieur lors de l'immersion.

[0050] Les trous s'étendent dans tous ces exemples perpendiculairement aux surfaces internes 20 et externes 21, et perpendiculairement à la direction principale selon laquelle s'étend le canal 5. Des trous orientés obliquement
30 peuvent aussi être réalisés.

[0051] La taille des trous 7, leur forme, leur orientation, leur espacement, leur distribution sur les surfaces internes et externes, leur nombre et leur densité affectent notamment les caractéristiques suivantes :

- 5 • Efficacité de l'échange de fluide depuis et vers le canal 5 lors de la déposition des surfaces conductrices sur l'âme 2.
- Efficacité de l'évacuation des bulles hors du canal 5 lors de cette étape de déposition.
- 10 • Performance du dispositif guide d'onde, par exemple atténuation du signal transmis ou autres perturbations du signal causées par les trous.

[0052] La figure 11 illustre l'atténuation de signal RF en décibels produite par un seul trou de section circulaire 7
15 de 50mm de long, le trou étant prévu à travers une des grandes parois d'un dispositif à guide d'ondes à section rectangulaire, pour différentes fréquences de transmission. Les différentes courbes correspondent à différents diamètres de trous 7. Dans la figure 11, où on montre un
20 exemple de guide d'ondes en bande Ka, on voit que l'atténuation est négligeable pour un trou de diamètre 0,6 et 0,7 mm, mais qu'elle augmente plus rapidement au-delà. Les valeurs absolues dépendent du type de dispositif à guide d'ondes et de ses dimensions. Le diagramme démontre
25 cependant que l'usage de trous de dimensions suffisantes pour le but décrit peut être considéré sans affecter le fonctionnement du dispositif.

[0053] La figure 12 illustre l'atténuation de signal RF en décibels produite par un seul trou 7 identique à celui de
30 la figure 11, mais prévu à travers une des petites parois

du même dispositif à guide d'ondes. Les différentes courbes correspondent à différents diamètres de trous 7. On voit que l'atténuation augmente également avec le diamètre du trou, mais qu'elle reste moins importante que lorsque le trou est prévu dans une des grandes parois de largeur b .
5 Cette simulation suggère qu'il est généralement préférable de prévoir des trous (possiblement traversants) sur les petites parois du dispositif à guide d'ondes, au moins dans le cas de dispositifs à section rectangulaire en mode de
10 transmission TE_{10} .

[0054] La figure 13 illustre l'atténuation de signal RF en décibels produite par deux trous 7 dans un dispositif identique à celui de la figure 11, les trous étant prévus à travers une des grandes parois à guide d'ondes. Les
15 différentes courbes correspondent à différents diamètres de trous 7. A nouveau, l'atténuation du signal électromagnétique a généralement tendance à augmenter avec le diamètre du trou. Elle est cependant aussi fortement dépendante de la fréquence ce qui suggère une perturbation
20 du mode de transmission à certaines fréquences.

[0055] De manière générale, les dimensions des trous 7 entre les parois internes et externes 20, 21 affectent les performances radiofréquence du dispositif. Cette dégradation de performance est cependant acceptable si la
25 dimension typique des trous T_s est inférieure au tiers de la longueur d'onde λ dans l'espace libre à la fréquence opérationnelle du dispositif :

$$T_s < \lambda / 3$$

[0056] Dans un mode de réalisation préférentiel, la
30 dimension typique des trous T_s est inférieure au cinquième de T_s .

[0057] Différentes sections possibles pour les trous traversants 7 sont illustrés sur la figure 10 qui montre aussi la dimension typique T_s à considérer pour chaque forme. Dans le cas d'un canal 5 à section rectangulaire, la dimension typique est la hauteur b (c'est-à-dire la dimension perpendiculaire à la direction principale du canal de la plus petite paroi). Dans le cas d'un canal 5 à section circulaire, la dimension typique T_s est constituée par le diamètre. D'autres dimensions typiques sont illustrées sur la figure 10.

[0058] La figure 14 illustre schématiquement un exemple de dispositif guide d'onde 1 qui peut être fabriqué avec le procédé de l'invention. Il s'agit dans cet exemple non limitatif d'un réseau d'antennes comportant des pavillons 10 et des sections de transmission formant un réseau formeur de faisceau (beamforming network). Toutes les surfaces internes doivent être métallisées, c'est-à-dire recouvertes d'une déposition métallique. L'âme 5 est fabriquée par fabrication additive, par exemple par stéréolithographie, dans un polymère ou une céramique, ou une combinaison des deux. Le dispositif 1 comporte des trous 7 qui peuvent être soit obtenus directement par le processus de fabrication additives, soit, ou pour certains d'entre eux, percés après coup.

[0059] L'invention au aussi pour objet un procédé de fabrication comportant :

l'introduction de données dans un ordinateur représentant la forme d'une âme 2 de dispositif à guide d'ondes, telle que décrite ci-dessus ;

l'utilisation de ces données pour réaliser par fabrication additive une âme de dispositif à guide d'ondes.

[0060] Par ailleurs, l'invention concerne aussi un support de données informatique contenant des données destinées à être lues par un dispositif de fabrication additive pour fabriquer un objet, lesdites données représentant la forme
5 d'une âme pour dispositif 1 à guide d'ondes, ladite âme comportant des parois latérales avec des surfaces externes 21 et internes 20, les surfaces internes définissant un canal 5 de guide d'ondes ; ladite âme comportant au moins un trou 7 entre lesdites surfaces externes et internes.

10 [0061] Le support de données informatique peut être constitué par exemple par un disque dur, une mémoire flash, un disque virtuel, une clé USD, un disque optique, un support de stockage dans un réseau ou de type cloud, etc.

Revendications

1. Procédé de fabrication de dispositif (1) à guide d'onde comprenant les étapes suivantes :
 - fabriquer une âme (2) comportant des parois latérales
5 avec des surfaces externes (21) et internes (20), les surfaces internes définissant un canal de guide d'ondes (5) ;
déposer une couche de métal conducteur (3) sur les
10 surfaces internes (20), par immersion dans un fluide de réactifs ;
caractérisé en ce que ladite âme (2) comporte au moins un trou (7) entre lesdites surfaces externes et internes, spécifiquement destiné à favoriser l'évacuation de bulles dans ledit canal (5) et/ou la circulation du fluide lors de
15 ladite immersion.
2. Procédé selon la revendication 1, ledit canal (5) ayant une section plus importante que ledit trou (7).
3. Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, la dimension typique (T_s) du ou des trous (7) étant inférieure
20 au tiers de la longueur d'onde (λ) dans l'espace libre à la fréquence opérationnelle du dispositif.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, la dimension typique (T_s) du ou des trous (7) étant inférieure à 2 millimètres.
- 25 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, le ou les trous (7) s'étendant perpendiculairement auxdites parois (20, 21) et à la direction principale du canal.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, la fabrication de ladite âme (5) comportant une étape de fabrication additive.
7. Procédé selon la revendication 6, la fabrication de ladite âme étant réalisée par stéréolithographie.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, comportant une étape de traitement de surface de ladite âme (5) afin de favoriser l'accrochage de la couche de métal conducteur.
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, la déposition de métal conducteur (3) étant effectuée par un procédé chimique sans utilisation de courant électrique.
10. Procédé selon l'une des revendications 6 à 9, ladite étape de fabrication additive produisant une âme qui inclut le ou les trous (7).
11. Procédé selon l'une des revendications 6 à 9, ledit trou (7) étant percé après ladite étape de fabrication additive.
12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, ladite âme (5) comportant plusieurs dits trous (7) entre les parois internes et externes (20, 21), le diamètre de chaque trou étant inférieur à 1mm.
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, la déposition comprenant une étape de pompage de fluide é travers ledit au moins un trou (7).
14. Dispositif (1) à guide d'ondes comportant :
une âme (5) comportant des parois latérales avec des surfaces externes (21) et internes (20), les surfaces

internes définissant un canal (5) de guide d'ondes ;

une couche de métal conducteur (3) sur les surfaces internes (20) ;

5 au moins un trou (7) entre lesdites surfaces externes et internes.

15. Dispositif selon la revendication 14, ledit canal (5) ayant une section plus importante que ledit trou (7).

16. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 15, la dimension typique (T_s) du ou des trous (7) étant inférieure
10 au tiers de la longueur d'onde (λ) dans l'espace libre à la fréquence opérationnelle du dispositif.

17. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 16, la dimension typique (T_s) du ou des trous (7) étant inférieure à 1,6 millimètres.

15 18. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 17, ledit trou s'étendant perpendiculairement auxdites parois et à la direction principale du canal.

19. Un procédé de fabrication comportant :

20 l'introduction de données représentant la forme d'une âme pour dispositif (1) à guide d'ondes, ladite âme comportant des parois latérales avec des surfaces externes (21) et internes (20), les surfaces internes définissant un canal (5) de guide d'ondes ; ladite âme comportant au moins un trou (7) entre lesdites surfaces externes et internes ;
25 l'utilisation de ces données pour réaliser par fabrication additive une âme de dispositif à guide d'ondes.

20. Un support de données informatique contenant des données destinées à être lues par un dispositif de fabrication additive pour fabriquer un objet, lesdites

données représentant la forme d'une âme pour dispositif (1)
à guide d'ondes, ladite âme comportant des parois latérales
avec des surfaces externes (21) et internes (20), les
surfaces internes définissant un canal (5) de guide
5 d'ondes ; ladite âme comportant au moins un trou (7) entre
lesdites surfaces externes et internes.

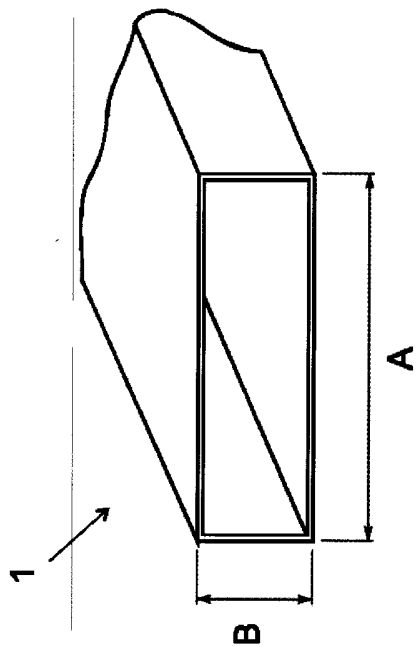


Fig. 1

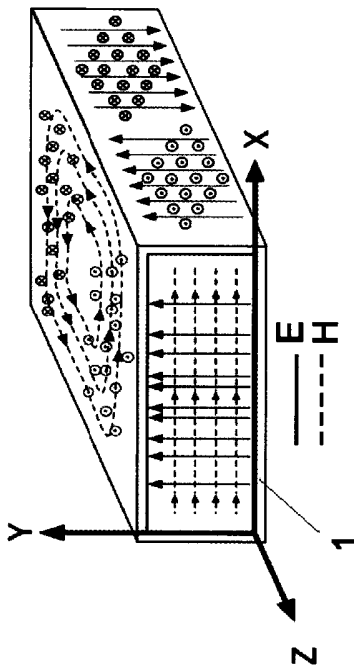


Fig. 2

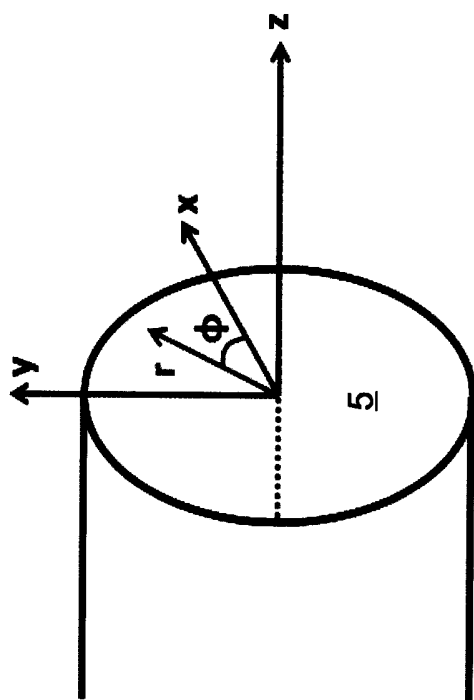


Fig.3

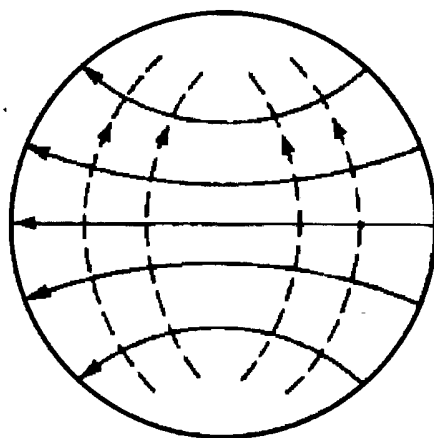
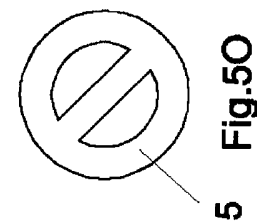
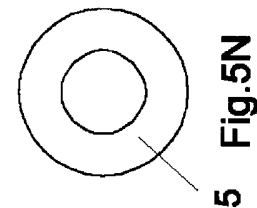
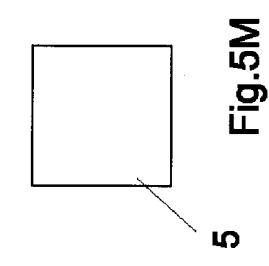
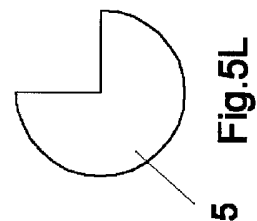
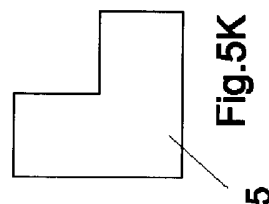
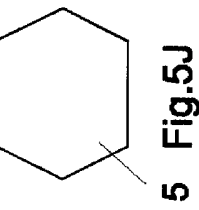
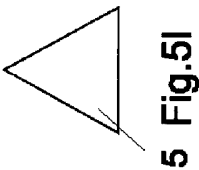
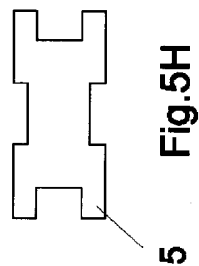
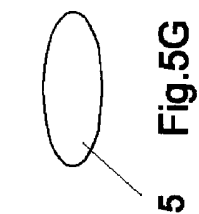
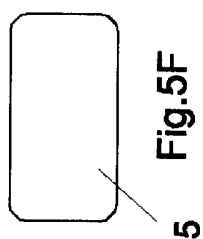
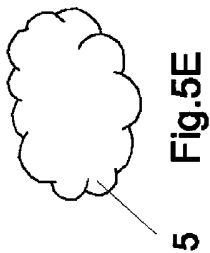
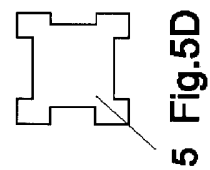
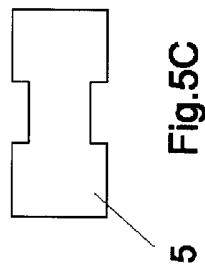
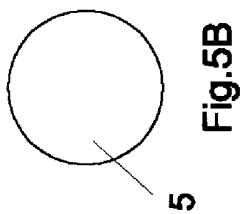
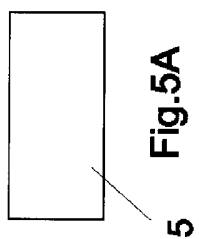


Fig.4



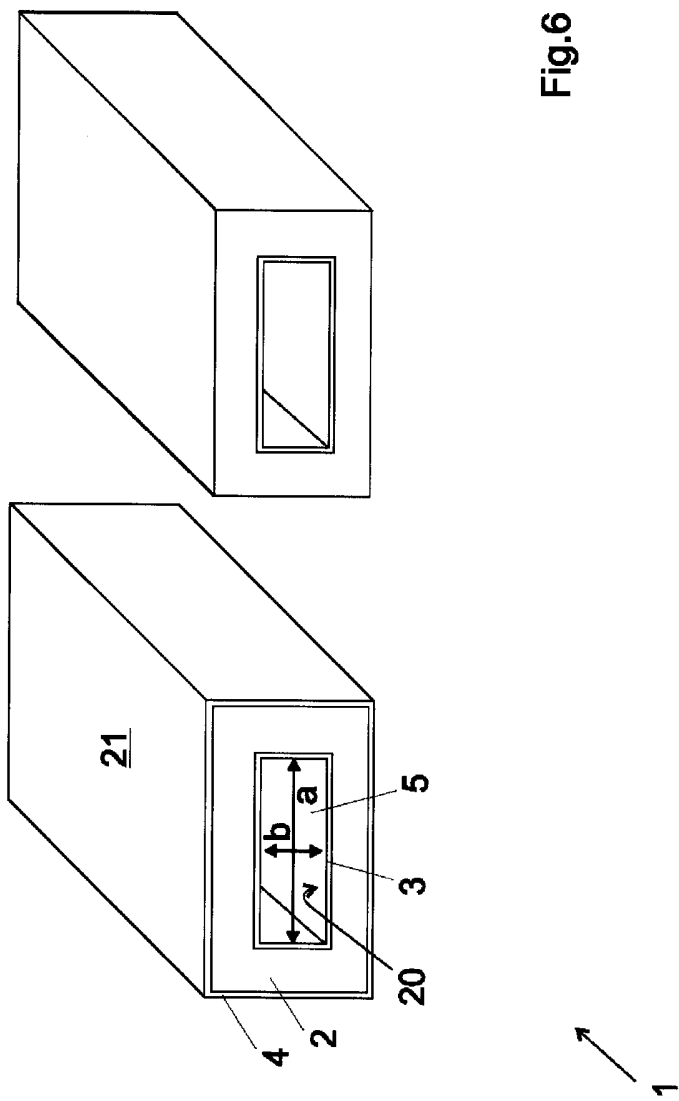


Fig.6

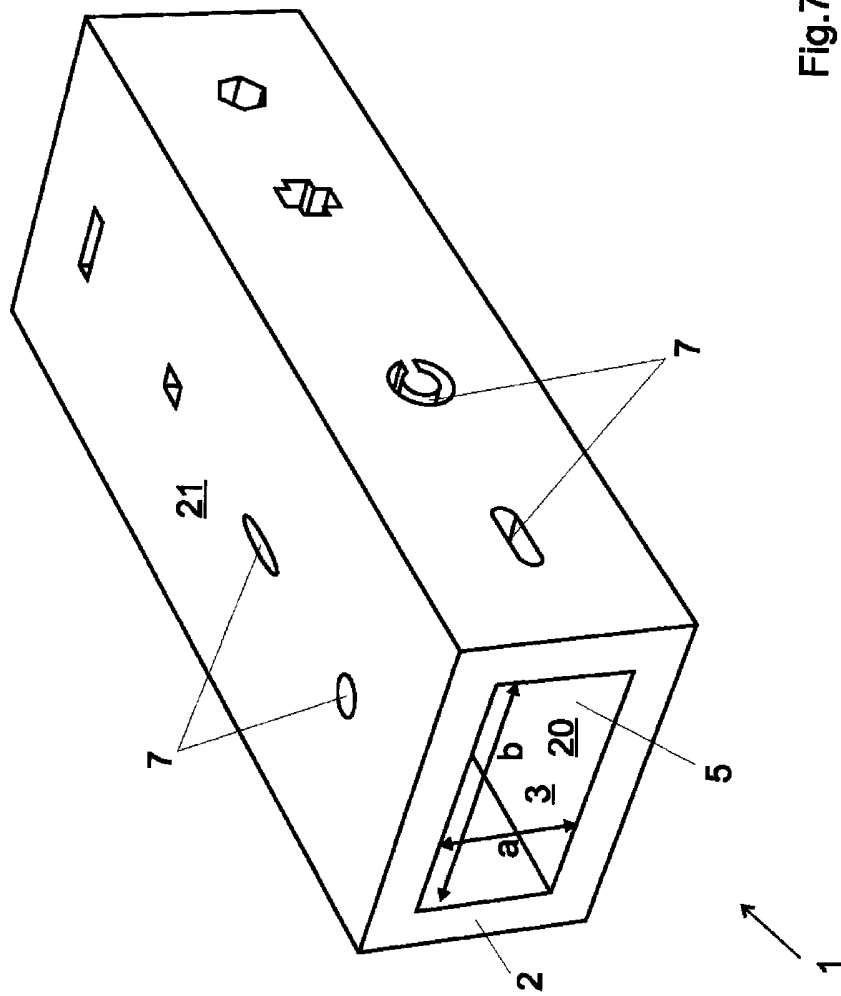


Fig.7

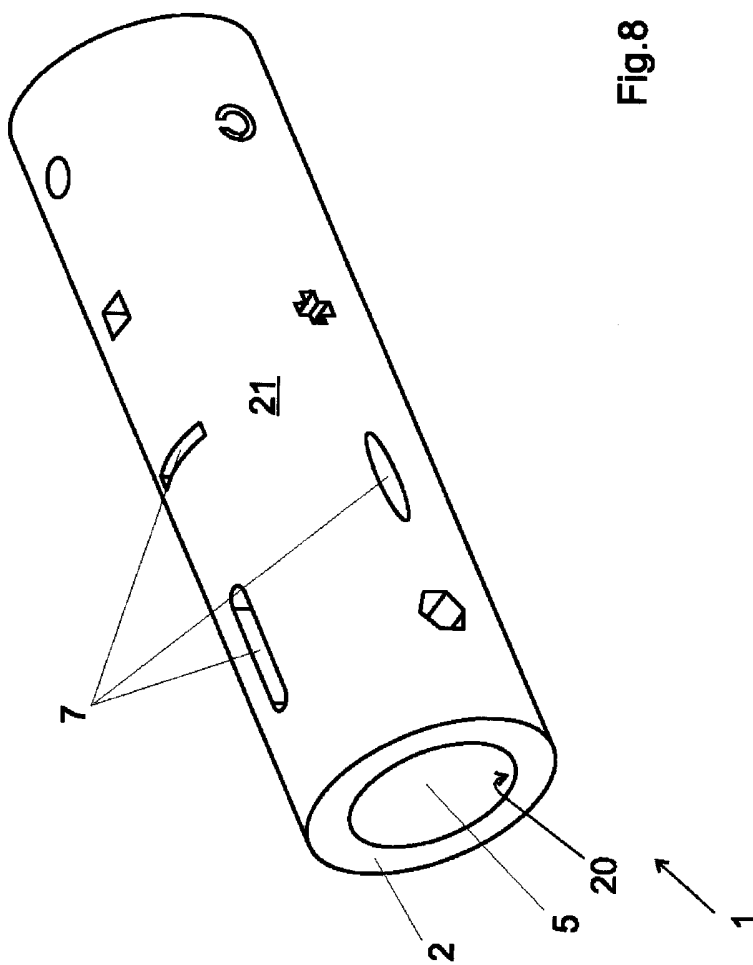
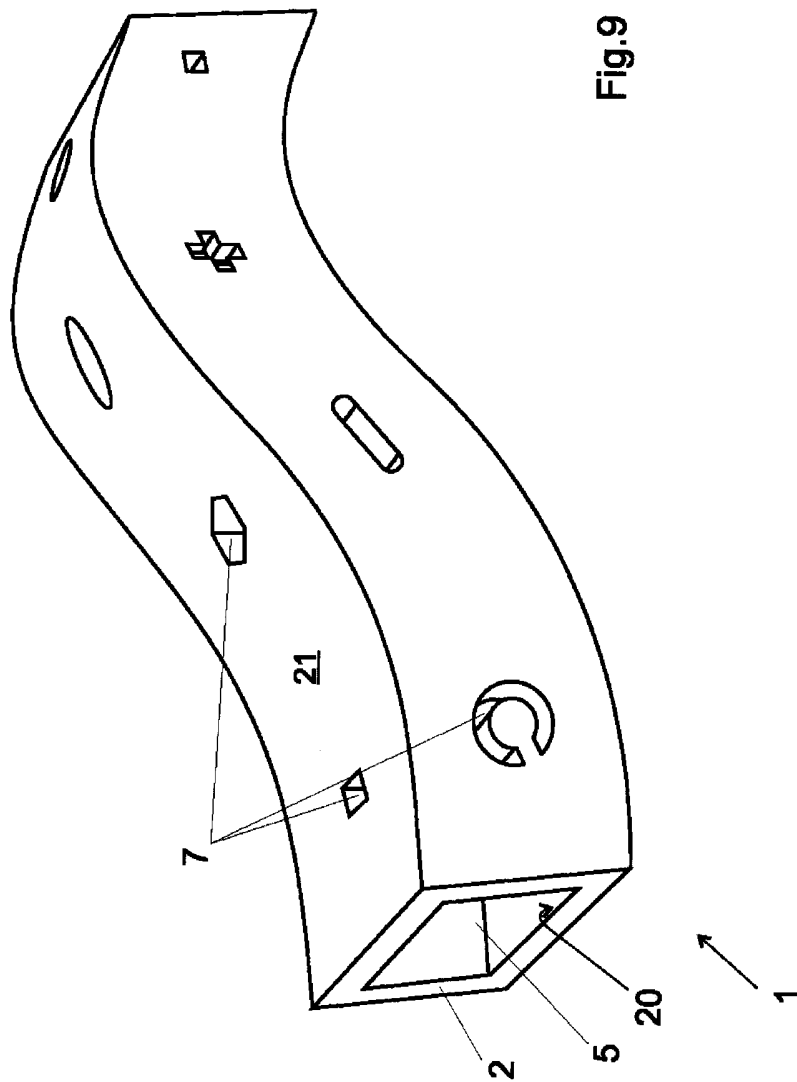


Fig.8



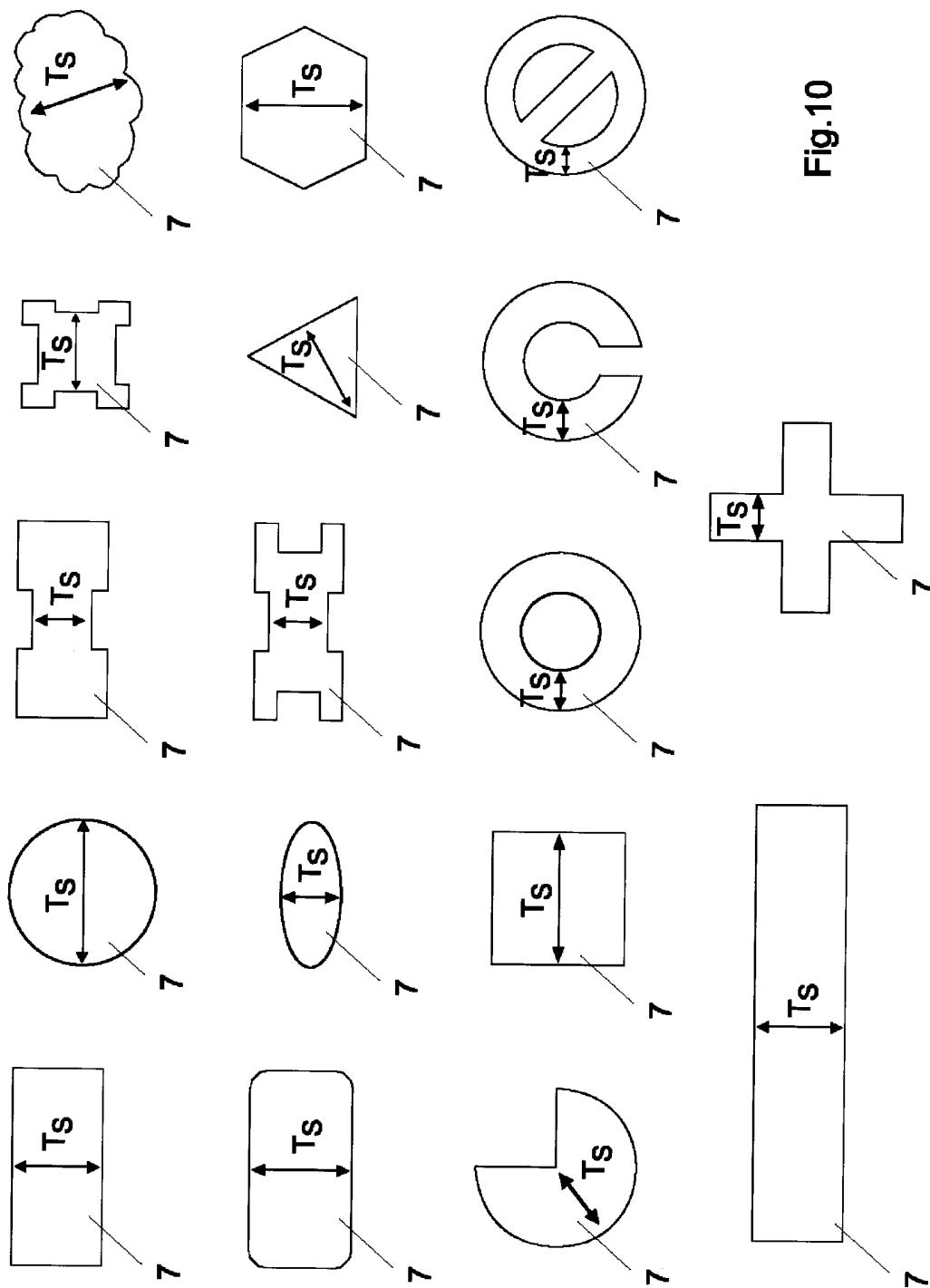


Fig.10

9/12

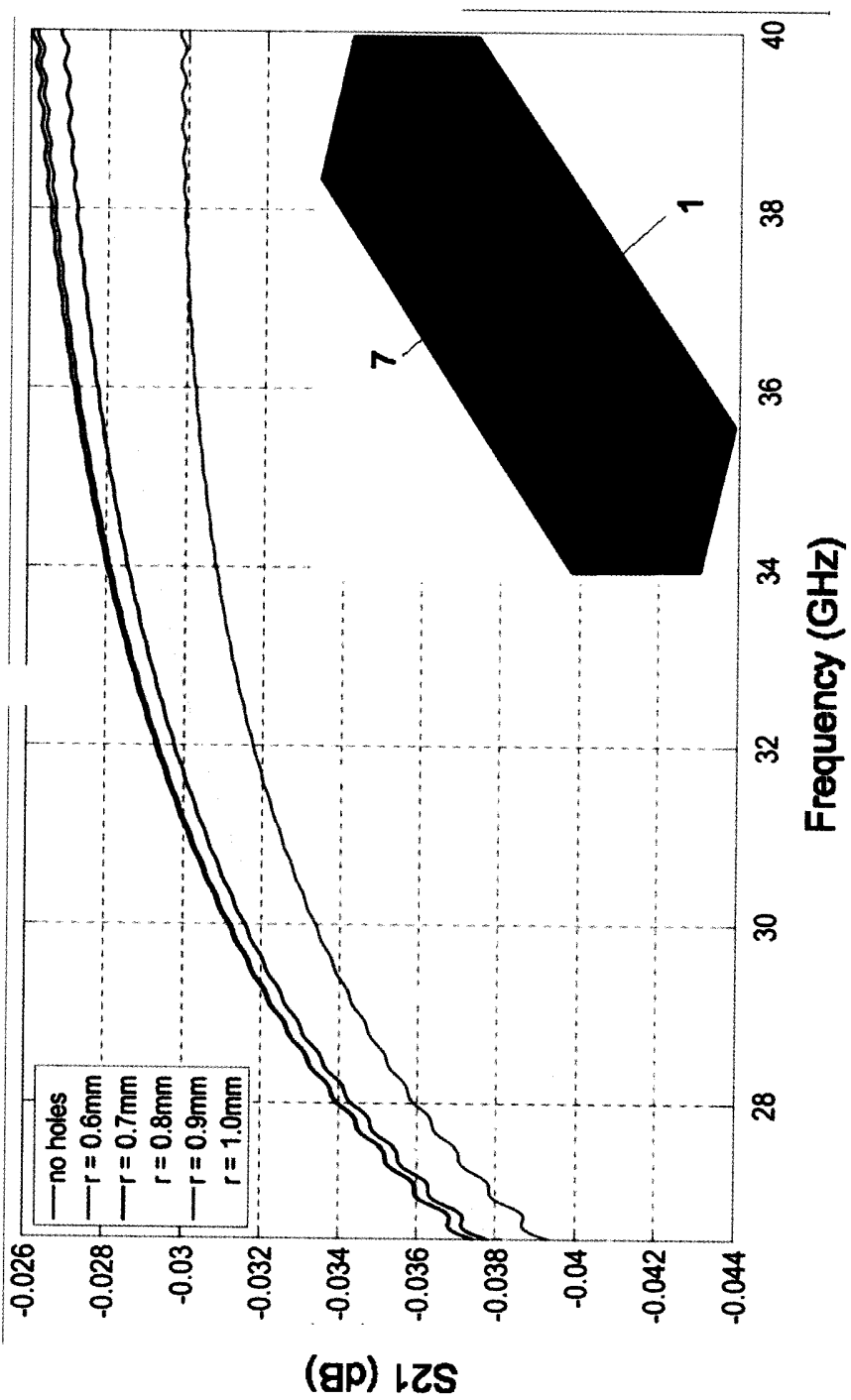


Fig.11

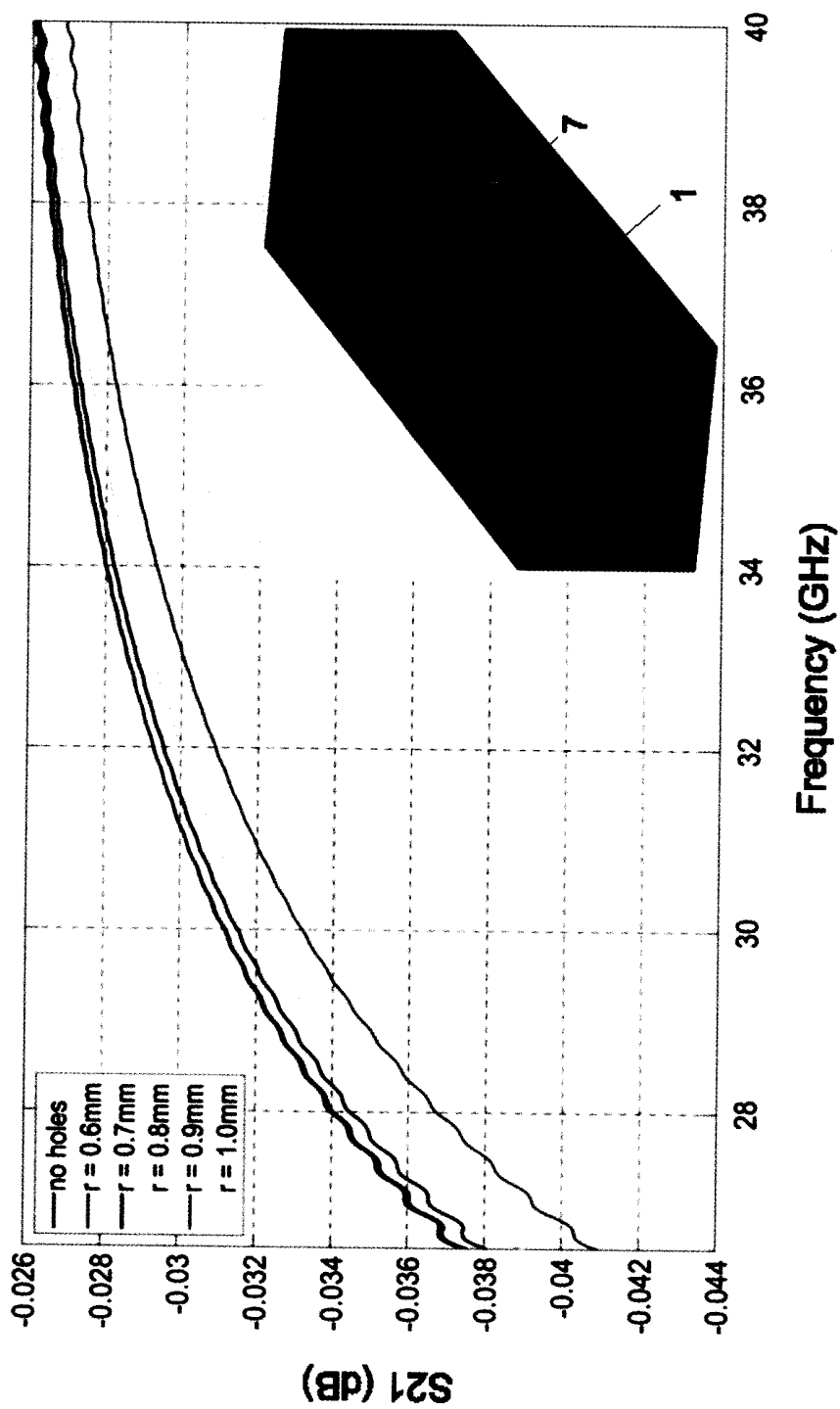


Fig.12

11/12

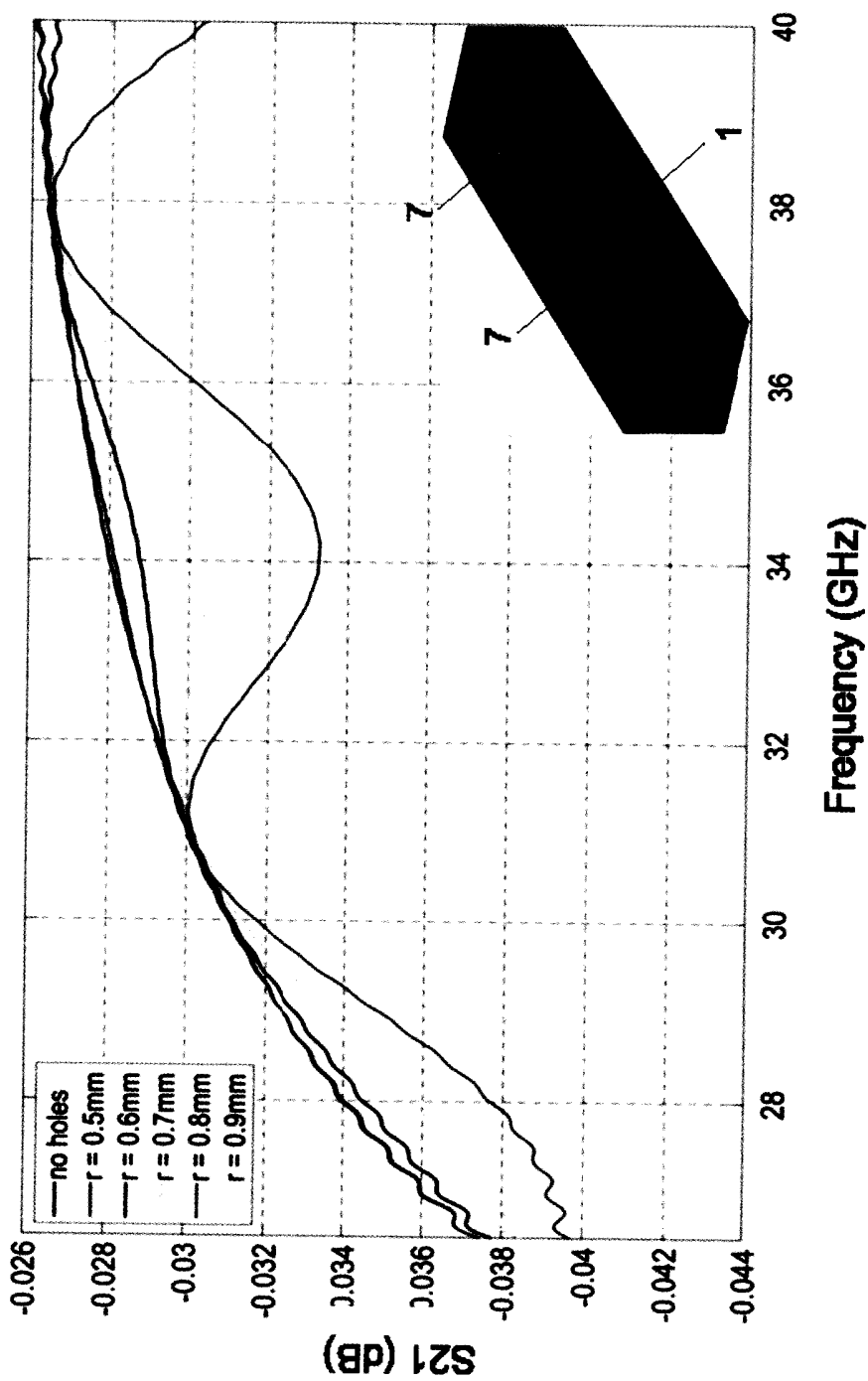


Fig.13

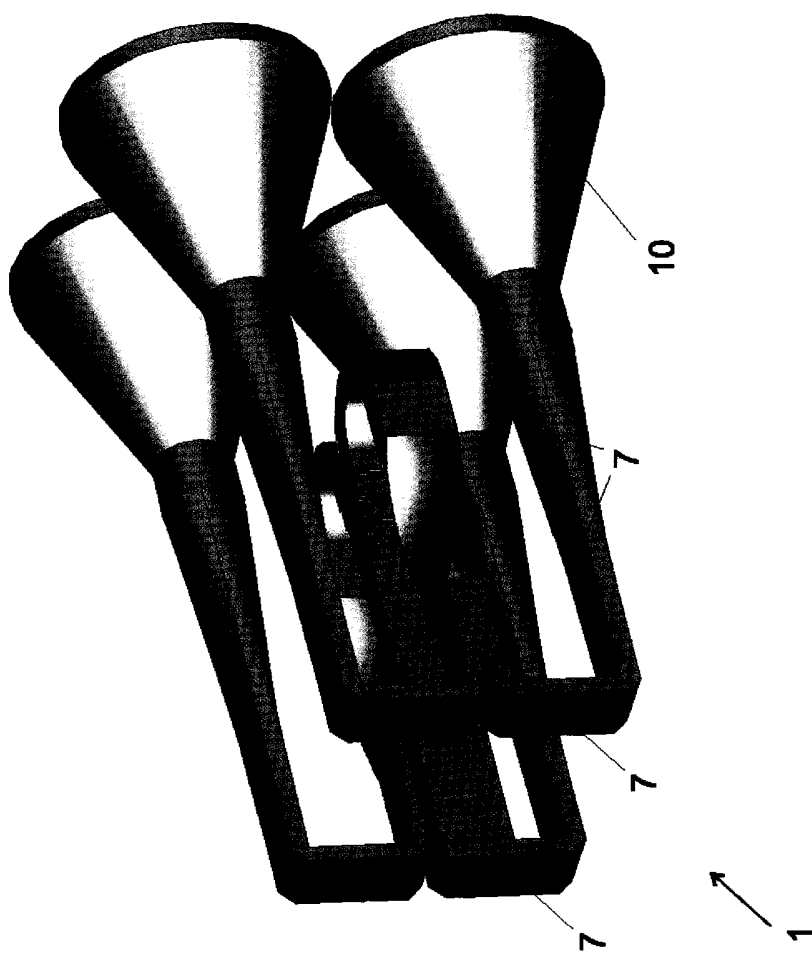


Fig.14



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 821302
FR 1600370

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, des parties pertinentes		
X	US 2012/084968 A1 (NATH JAYESH [US] ET AL) 12 avril 2012 (2012-04-12)	1-3,5,6, 8-11, 13-16, 18-20	H01P11/00
Y	* alinéas [0007], [0008], [0031] - alinéa [0099]; figures 1, 3, 8-12 *	4,12,17	
X	YILEI HUANG ET AL: "Layer-by-layer stereolithography of three-dimensional antennas", ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY SYMPOSIUM, 2005. IEEE WASHINGTON, DC, JULY 3 - 8, 2005, PISCATAWAY, NJ : IEEE, US, vol. 1A, 3 juillet 2005 (2005-07-03), page 276, XP010857862, ISBN: 978-0-7803-8883-3 * Chapitres 1 et 2; figures 1, 2 *	1-3,6,7, 9,10, 14-16, 19,20	
Y	US 6 265 703 B1 (ALTON WILLIAM J [US]) 24 juillet 2001 (2001-07-24)	4,12,17	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	* colonne 4 - colonne 5; figures 3, 4A, 4C *	1-3,5, 14-16,18	H01P H01Q
A	BORYSSENKO ANATOLIY ET AL: "300 GHz microfabricated waveguide slotted arrays", 2014 39TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFRARED, MILLIMETER, AND TERAHERTZ WAVES (IRMMW-THZ), IEEE, 14 septembre 2014 (2014-09-14), pages 1-2, XP032683622, DOI: 10.1109/IRMMW-THZ.2014.6956408 [extrait le 2014-11-13] * Chapitre III; figure 2 *	1-5, 12-18	
	----- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 novembre 2016		Hueso González, J	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 821302
FR 1600370

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	<p>ADAM ROWEN, ANDREW E. HOLLOWELL, MICHAEL WANKE, ET AL: "Multi-layer metal micromachining for THz waveguide fabrication", PROC. OF SPIE, vol. 7590, 16 février 2010 (2010-02-16), XP040517946, DOI: 10.1117/12.840247 * Chapitre 5; figures 4, 6 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-5, 12-18	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		22 novembre 2016	Hueso González, J
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	
<p>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</p>			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1600370 FA 821302**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 22-11-2016

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2012084968 A1	12-04-2012	EP 2622737 A1	07-08-2013
		SG 189128 A1	31-05-2013
		US 2012084968 A1	12-04-2012
		US 2014347144 A1	27-11-2014
		WO 2012047729 A1	12-04-2012

US 6265703 B1	24-07-2001	AUCUN	
