

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **3 130 080**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **21 13174**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **H 01 P 11/00** (2022.01), H 01 P 3/12, B 33 Y 10/00,  
B 33 Y 80/00

⑫

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ Procédé de fabrication d'un dispositif à guide d'ondes par fabrication additive et par polissage.

②② Date de dépôt : 08.12.21.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 09.06.23 Bulletin 23/23.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 10.05.24 Bulletin 24/19.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SWISSto12 SA Société Anonyme* —  
CH.

⑦② Inventeur(s) : de Rijk Emile, Billod Mathieu et Blanc  
Philippe.

⑦③ Titulaire(s) : *SWISSto12 SA Société Anonyme.*

⑦④ Mandataire(s) : *A.P.I. Conseil.*

**FR 3 130 080 - B1**



## Description

### Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'un dispositif à guide d'ondes par fabrication additive et par polissage

#### Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un dispositif à guide d'ondes par fabrication additive et par polissage et un 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'ondes. Ces dispositifs guide d'ondes sont utilisés pour canaliser les signaux RF ou pour les manipuler dans le domaine spatial ou fréquentiel.

[0003] La présente invention concerne en particulier les dispositifs RF passifs qui permettent de propager et de manipuler des signaux radiofréquences sans utiliser de composants électroniques actifs. Les dispositifs à guides d'onde passifs 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 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 fabrication de dispositifs à guide d'ondes selon la première catégorie ci-dessus, collectivement désignée par la suite comme dispositifs à guides d'ondes. Des exemples de tels dispositifs incluent des guides d'ondes en tant que tels, des filtres, des antennes, des polariseurs, 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.

[0005] Les guides d'ondes conventionnels sont constitués par des dispositifs creux, dont la forme et les proportions déterminent les caractéristiques de propagation pour une longueur d'onde donnée du signal électromagnétique. Les guides d'ondes 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.

- [0006] La fabrication de guides d'ondes avec des sections complexes est difficile et coûteuse. Afin d'y remédier, la demande de brevet US2012/0084968 propose de réaliser des guides d'ondes par impression 3D. A cet effet, une âme en plastique non conducteur est imprimée par une méthode additive puis recouverte d'un placage métallique par immersion. Les surfaces internes du guide d'ondes 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 et, d'autre part, de mettre en œuvre des méthodes d'impression 3D adaptées aux polymères ou aux céramiques et permettant de produire des pièces de haute précision avec une faible rugosité de paroi. Les pièces décrites dans ce document ont des formes complexes et comprennent d'une part un canal pour la propagation de l'onde, et d'autre part des trous de fixation sur un pied du guide d'onde, afin de le fixer à un autre élément.
- [0007] Différentes techniques d'impression 3D existent parmi lesquels l'impression 3D par fusion sélectif par laser (SLM). Il s'agit d'un procédé de fusion sélective sur lit de poudre dans lequel un laser est utilisé pour fusionner de fines particules de métal. Suivant le tracé déterminé par ordinateur, il va fondre les particules métalliques jusqu'à ce qu'elles fusionnent entre elles. Un système d'étalement de la poudre va ensuite appliquer une nouvelle couche de poudre. Le laser va dessiner la strate suivante. Ces étapes vont s'enchaîner jusqu'à l'impression totale de l'objet.
- [0008] Bien que l'impression SLM permet d'imprimer une épaisseur de couche variant de 0,02mm à 0,10mm sur l'axe Z, la résolution sur les axes X et Y dépend du diamètre du faisceau du laser de la machine. Les machines SLM standards travaillent avec des lasers de diamètre 0,080mm et 0,1mm. Le bain de fusion autour du faisceau laser pour de l'aluminium a un diamètre d'environ 0,250mm. Il faut idéalement 2 vecteurs au minimum pour fabriquer une paroi du guide d'ondes d'où une épaisseur minimale de 0,5mm.
- [0009] Les pièces en métal obtenues par ce procédé peuvent avoir, selon la forme désirée, des épaisseurs de couches allant bien au-delà de la résolution en Z de la machine qui sont imposées par les contraintes susvisées. Cela a un impact direct sur le poids des pièces produites.
- [0010] L'impression 3D par frittage sélectif par laser (SLS) est aussi connue, notamment pour l'impression de plastique. Elle présente cependant les mêmes problèmes de résolution liée au diamètre du faisceau laser notamment.
- Bref résumé de l'invention**
- [0011] Un but de la présente invention est par conséquent de proposer un procédé de fabrication additive du type SLM permettant de produire un dispositif à guide d'ondes plus léger.
- [0012] En particulier, un but de la présente invention est de permettre la fabrication d'un

dispositif à guide d'ondes métallique ou plastique qui présentent une épaisseur inférieure à 0,5mm sur n'importe quelle portion du dispositif, et de préférence inférieure à 0,3mm, voire inférieure à 0,2mm.

- [0013] Selon l'invention, ces buts sont atteints notamment au moyen d'un procédé de fabrication d'un dispositif à guide d'ondes comportant une étape consistant à réaliser, par fabrication additive, une âme métallique ou plastique semi-finie. L'âme semi-finie comporte des parois latérales possédant des surfaces externes et internes. Les surfaces internes définissent un canal de guide d'ondes. Le procédé de fabrication comporte un outre une étape de polissage chimique de l'âme métallique afin de réduire, de préférence uniformément, l'épaisseur desdites parois latérales afin d'obtenir le dispositif à guide d'ondes.
- [0014] Dans une forme d'exécution, l'âme est métallique est réalisée par fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre afin d'obtenir une âme métallique semi-finie dont l'épaisseur des parois latérales est égale ou inférieure à 0,5mm.
- [0015] Dans une forme d'exécution, l'ouverture interne de guide d'ondes de l'âme métallique semi-finie comporte une section transversale de forme oblongue, hexagonale, pentagonale, ovoïde ou circulaire.
- [0016] Dans une forme d'exécution, l'épaisseur desdites parois latérales est inférieure à 0,3mm, voire inférieure à 0,2mm après l'étape de polissage chimique.
- [0017] Dans une forme d'exécution, le procédé de fabrication comporte en outre en étape consistant à générer un modèle numérique de l'âme métallique. Le modèle numérique est calculé afin d'optimiser la forme de l'âme métallique semi-finie en fonction de l'épaisseur à ôter par polissage chimique.
- [0018] Dans une forme d'exécution, l'étape de polissage chimique consiste à immerger l'âme métallique semi-finie dans un bain acide. Le bain acide peut comporter un mélange de deux acides. Par exemple le bain acide peut comporter de l'acide orthophosphorique et de l'acide sulfurique, pour obtenir par exemple un brillantage.
- [0019] Dans une forme d'exécution, l'étape de polissage chimique consiste à immerger l'âme métallique semi-finie dans un bain basique, pour effectuer par exemple un satinage. Le bain basique pourra comporter une solution caustique et avoir un pH supérieur à 11,5.
- [0020] Dans une forme d'exécution, une étape d'immersion de l'âme métallique dans un bain acide de désoxydation à la suite de l'immersion dans ledit bain basique, afin de supprimer les résidus oxydés à la surface des pièces.
- [0021] Dans une forme d'exécution, le procédé pourra comporter une étape d'immersion de l'âme métallique dans un bain acide, par exemple un bain contenant de l'acide nitrique et du bi-fluorure d'ammonium, avec un pH de préférence inférieur à 2.
- [0022] Dans une forme d'exécution, le procédé pourra comporter une étape d'immersion de

l'âme métallique dans un bain d'acide chauffé avec application d'ultrasons pour la nettoyer.

[0023] Dans une forme d'exécution, la densité du bain se situe dans une plage comprise entre  $1,5 \text{ g/cm}^3$  et  $2 \text{ g/cm}^3$ , de préférence aux environs de  $1,7 \text{ g/cm}^3$ .

[0024] Dans une forme d'exécution, la température de traitement du bain acide se situe entre  $70^\circ\text{C}$  et  $120^\circ\text{C}$ .

[0025] Dans une forme d'exécution, le bain acide comporte en outre de l'aluminium dissous à une concentration comprise entre 20 et 50 g/l, de préférence entre 25 et 45 g/l.

[0026] Un autre aspect de l'invention porte sur un dispositif à guide d'ondes comportant une âme métallique comportant des parois latérales possédant des surfaces externes et internes. Les surfaces internes définissent un canal de guide d'ondes. L'épaisseur desdites parois latérales est inférieure à 0,3mm, voire inférieure à 0,2mm.

### **Brève description des figures**

[0027] Des exemples de mise en œuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles :

[0028] [Fig.1] illustre une vue en perspective d'un dispositif à guide d'ondes avec une ouverture interne ou canal, obtenu par un procédé SLM selon une forme de réalisation ;

[0029] [Fig.2] illustre une vue similaire à la [Fig.1] après une étape de polissage selon une forme de réalisation ;

[0030] [Fig.3] illustre une vue schématique d'une portion d'un dispositif à guide d'ondes plongé dans un bain de brillantage afin de niveler la rugosité microscopique en surface de l'aluminium.

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

[0031] Le dispositif à guide d'onde 1 selon les figures 1 et 2, comporte une âme en métal 2, par exemple en aluminium, titane ou acier.

[0032] L'âme 2 est fabriquée par fabrication additive, de préférence par stéréolithographie, par fusion laser sélective (« selective laser melting ») ou par « selective laser sintering » (SLS). L'épaisseur des parois de l'âme est par exemple d'au moins 0,5 mm.

[0033] La forme de l'âme peut être déterminée par un fichier informatique stocké dans un support de données informatique.

[0034] Cette âme 2 délimite une ouverture interne 5 formant un canal destiné au guidage d'ondes. L'âme 2 présente par conséquent une surface interne 22 et une surface externe 21 définissant l'ouverture interne 5 qui est par exemple de section transversale de forme oblongue.

[0035] Un bain 25 de polissage chimique fonctionne en nivelant la rugosité microscopique en surface de l'aluminium 30. Le polissage est un process qui permet de diminuer la

rugosité de l'aluminium et lui permet de mieux réfléchir la lumière (spécularité). Pour cela, on nivelle les pics et vallées à la surface de l'aluminium 30 comme on peut le voir à la [Fig.3]. Le polissage s'effectue par trempage des pièces dans un bain, sous agitation permanente.

[0036] Le bain peut être constitué par un mélange de 2 acides. Des additifs permettent d'obtenir un polissage homogène de la surface en termes de rugosité et d'épaisseur. Pour permettre un parfait lissage de surface de l'aluminium, l'attaque chimique doit être plus rapide sur les pics que dans les vallées. Quand l'aluminium est plongé dans un bain composé des 2 acides précédemment cités, l'acide sulfurique réagit avec l'aluminium pour former un film mince d'oxyde d'aluminium 40. Ce film est simultanément dissous par l'acide orthophosphorique. Ces réactions se produisent plus rapidement au niveau des pics que des vallées parce que le bain est très visqueux et qu'il y a moins de mouvements et d'agitation des fluides dans les vallées que sur les pics.

[0037] Les paramètres principaux du bain de polissage sont les suivants : Bain constitué de deux acides (par exemple orthophosphorique et sulfurique) ; Densité du bain : 1,7 g/cm<sup>3</sup> environ ; Températures de traitement : 80 – 110 °C ; Temps de trempage : 15 sec à 10 min ; Concentration en Alu dissous dans le bain (pour un meilleur démarrage et une bonne réactivité chimique) = de 25 à 45 g/l.

[0038] Dans un autre mode de réalisation, le polissage peut mettre en œuvre un mélange basique, pour effectuer par exemple un satinage. Le procédé comporte l'immersion du guide d'onde semi-fini dans une solution en la présence de sels d'acides organiques et inorganiques, d'alcalis et de composés hydroxyles organiques polyfonctionnels. La solution peut comporter par exemple :

- Solution caustique : 70-90 g/l
- Matière active de satinage : 5-10 g/l
- Aluminium dissous : 10 g/l

Le pH de la solution est de préférence supérieur à 11,5.

[0039] Dans le cas d'un guide d'onde en aluminium ou en alliage d'aluminium, la pièce ainsi satinée avec le bain précédent peut être immergée dans un bain de désoxydation, afin de supprimer les résidus oxydés à la surface des pièces après le satinage, et d'éliminer la couche d'oxyde d'aluminium à la surface des pièces. Le bain de désoxydation peut être un bain acide, par exemple un bain contenant de l'acide nitrique, avec un pH de préférence inférieur à 2.

[0040] La pièce ainsi satinée peut en outre être blanchie par immersion dans un bain acide, par exemple un bain contenant de l'acide nitrique et du bi-fluorure d'ammonium, avec un pH de préférence inférieur à 2. Ce blanchissage peut notamment être appliqué à un guide d'onde en aluminium ou en alliage d'aluminium.

[0041] La pièce ainsi satinée peut en outre être immergée dans un bain d'acide, par exemple

concentré à 10%, par exemple avec un pH inférieur à 3, avec application d'ultrasons pour la nettoyer. Dans un mode opératoire, les pièces peuvent être plongées dans une solution avec une température de 60 à 65 °C, avec des ultrasons appliqués pendant une durée comprise entre 2 et 30 minutes, suivie d'une séquence de 30 min à 1h00 de trempage sans ultrasons, avec une température maintenue à 60 °C. Ces séquences doivent être répétées 5 fois pour obtenir un bon nettoyage. Après chaque séquence d'ultrasons, la solution acide est éliminée et remplacée par une solution fraîche, permettant une activité chimique et ultrasonique efficace.

- [0042] Le bain permet par conséquent de diminuer l'épaisseur des parois 20 de l'âme 2 de sorte à ce que cette épaisseur entre les surfaces externes 21 de l'âme 2 et les surfaces internes de l'âme 2 définissant l'ouverture interne (canal) 5 soit réduite à 0,3mm, voire inférieure à 0,2mm après l'étape de polissage chimique.
- [0043] Ceci a pour avantage de réduire le poids des dispositifs à guide d'ondes.
- [0044] L'invention concerne aussi un dispositif à guide d'ondes obtenu selon l'une des modes de réalisation ci-dessus et comportant une âme métallique 2 comportant des parois latérales 20 possédant des surfaces externes 21 et internes 22, les surfaces internes 22 définissant une ouverture interne 5 de guide d'ondes, dans lequel l'épaisseur desdites parois latérales 20 est inférieure à 0,3mm, voire inférieure à 0,2mm.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'un dispositif à guide d'ondes (1) comportant une étape consistant à réaliser, par fabrication additive, une âme métallique en aluminium (2) semi-finie comportant des parois latérales (20) possédant des surfaces externes (21) et internes (22), les surfaces internes (22) définissant une ouverture interne (5) de guide d'ondes, **caractérisé en ce que** le procédé de fabrication comporte un outre une étape de polissage chimique de l'âme métallique en aluminium (2) afin de réduire l'épaisseur desdites parois latérales (20) afin d'obtenir le dispositif à guide d'ondes, ladite étape de polissage chimique comportant une immersion de l'âme métallique en aluminium (2) semi-finie dans un bain basique.
- [Revendication 2] Procédé de fabrication selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'âme métallique en aluminium (2) est réalisée par fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre (SLM) afin d'obtenir une âme métallique en aluminium (2) semi-finie dont l'épaisseur des parois latérales (20) est égale ou inférieure à 0,5mm.
- [Revendication 3] Procédé de fabrication selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'ouverture interne (5) de guide d'ondes de l'âme métallique en aluminium (2) semi-finie comporte une section transversale de forme oblongue, pentagonale, hexagonale, ovoïde ou circulaire.
- [Revendication 4] Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'épaisseur desdites parois latérales (20) est inférieure à 0,3mm, voire inférieure à 0,2mm après l'étape de polissage chimique.
- [Revendication 5] Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre en étape consistant à générer un modèle numérique de l'âme métallique en aluminium (2), ledit modèle numérique étant calculé afin d'optimiser la forme de l'âme métallique en aluminium semi-finie en fonction de l'épaisseur à ôter par polissage chimique.
- [Revendication 6] Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en que l'étape de polissage chimique comporte une immersion de l'âme métallique en aluminium (2) semi-finie dans un bain acide.
- [Revendication 7] Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, ledit bain basique comportant une solution caustique et ayant un pH supérieur à 11,5.

- [Revendication 8] Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, comprenant une étape d'immersion de l'âme métallique dans un bain acide de désoxydation à la suite de l'immersion dans ledit bain basique, afin de supprimer les résidus oxydés à la surface des pièces.
- [Revendication 9] Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, comprenant une étape d'immersion de l'âme métallique dans un bain acide, par exemple un bain contenant de l'acide nitrique et du bi-fluorure d'ammonium, avec un pH de préférence inférieur à 2.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 6 à 9, comprenant une étape d'immersion de l'âme métallique dans un bain d'acide chauffé avec application d'ultrasons pour la nettoyer.
- [Revendication 11] Dispositif (1) à guide d'ondes obtenu selon l'une des revendications précédentes, comportant une âme métallique en aluminium (2) comportant des parois latérales (20) possédant des surfaces externes (21) et internes (22), les surfaces internes (22) définissant une ouverture interne (5) de guide d'ondes, **caractérisé en ce que** l'épaisseur desdites parois latérales (20) est inférieure à 0,3mm, voire inférieure à 0,2mm.

[Fig. 1]

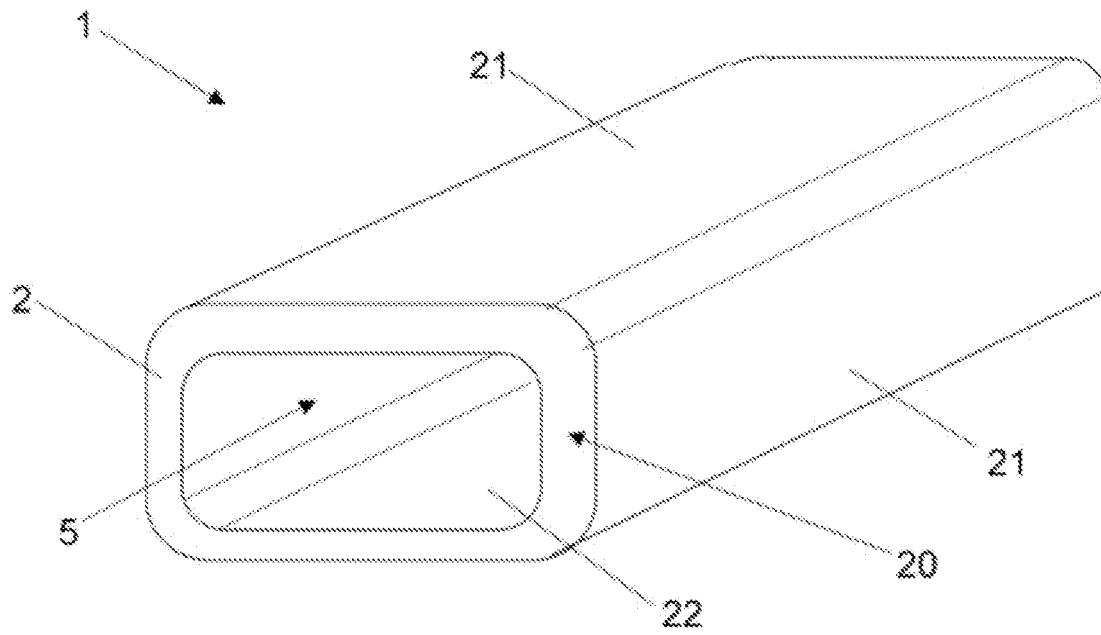


Fig. 1

[Fig. 2]

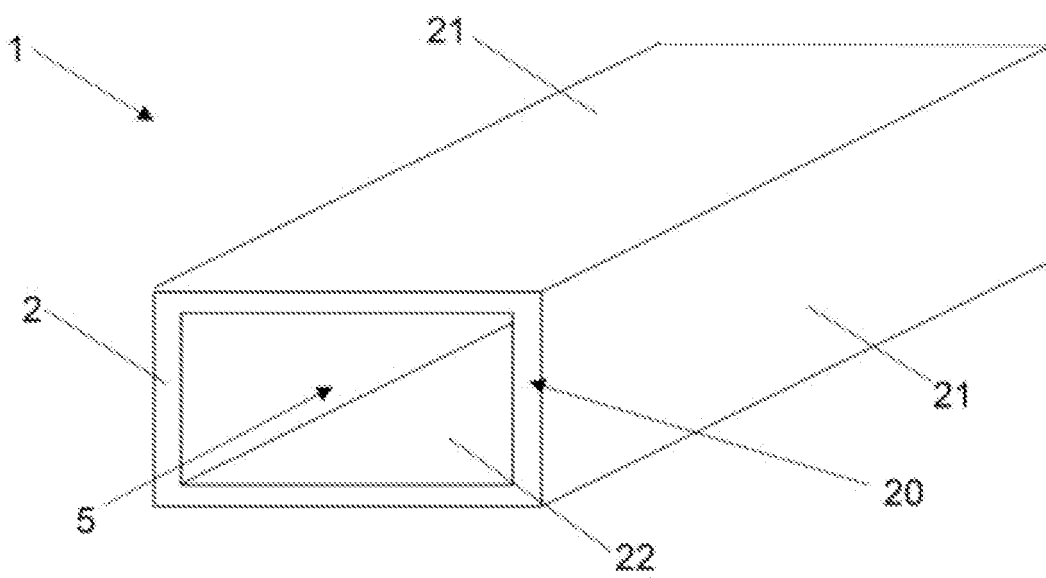


Fig. 2

[Fig. 3]

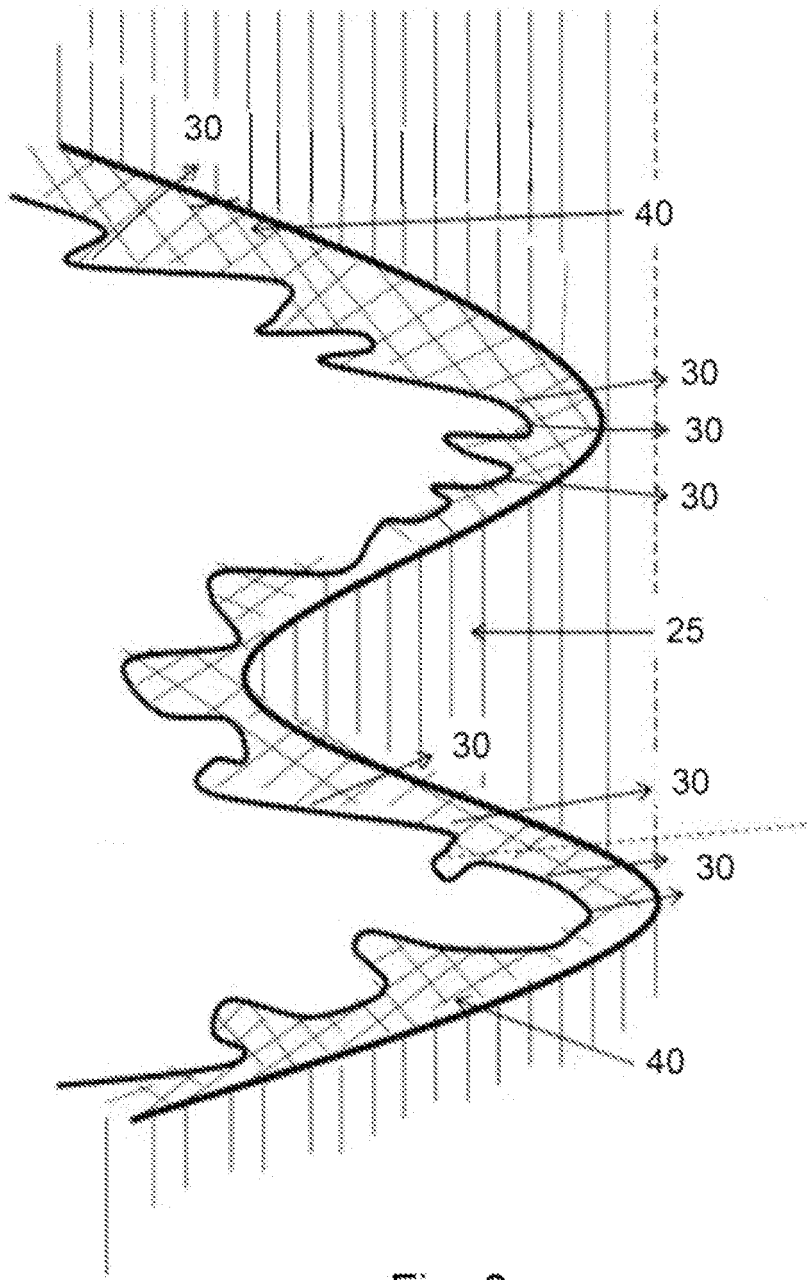


Fig. 3

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

PETRONILO MARTIN-IGLESIAS ET AL:  
"Additive Manufacturing for RF Passive Hardware",  
46TH EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE, 4-6  
OCTOBER 2016, LONDON, UK, [Online]  
3 octobre 2016 (2016-10-03), - 6 octobre  
2016 (2016-10-06), pages 1-174,  
XP055532431,  
Extrait de l'Internet:  
URL: <https://intranet.birmingham.ac.uk/eps/documents/public/emuw2/WM03.pdf>  
[extrait le 2018-12-10]

LORENTE J A ET AL: "Single part microwave filters made from selective laser melting",  
MICROWAVE CONFERENCE, 2009. EUMC 2009.  
EUROPEAN, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA,  
29 septembre 2009 (2009-09-29), pages  
1421-1424, XP031669976,  
ISBN: 978-1-4244-4748-0

ALI USMAN ET AL: "Internal surface roughness enhancement of parts made by laser powder-bed fusion additive manufacturing",  
VACUUM, PERGAMON PRESS, GB,  
vol. 177, 22 avril 2020 (2020-04-22),  
XP086158599,  
ISSN: 0042-207X, DOI:  
10.1016/J.VACUUM.2020.109314  
[extrait le 2020-04-22]

CN 106 757 039 B (UNIV ZHEJIANG)  
26 mars 2019 (2019-03-26)

GB 2 575 365 A (SOUTH WEST METAL FINISHING LTD [GB]) 8 janvier 2020 (2020-01-08)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT

