

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

①1 N° de publication : **3 092 205**

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

②1 N° d'enregistrement national : **19 00789**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 01 Q 15/10** (2019.01), **H 01 B 17/56**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Procédé de fabrication d'une pièce diélectrique à mailles formant un réseau solide tridimensionnel par ajout de matière.

②2 Date de dépôt : 29.01.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 31.07.20 Bulletin 20/31.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 25.03.22 Bulletin 22/12.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *ANYWAVES Société par actions
simplifiée — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : CAPET Nicolas.

⑦3 Titulaire(s) : ANYWAVES Société par actions
simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : IPSILON.

FR 3 092 205 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une pièce diélectrique à mailles formant un réseau solide tridimensionnel par ajout de matière

- [0001] L'invention concerne de manière générale un procédé de fabrication d'une pièce diélectrique comprenant un réseau solide tridimensionnel de mailles diélectriques réalisé par fabrication additive.
- [0002] Dans certaines applications telles que les antennes miniaturisées formées de méta-matériaux pour les transmissions dans le domaine des hyperfréquences (fréquences supérieures à 100 MHz), on cherche à utiliser des pièces substrats diélectriques présentant des caractéristiques électromagnétiques déterminées de façon à ce que le substrat diélectrique lui-même présente une certaine réponse électrique et/ou magnétique à un champ électrique et/ou magnétique.
- [0003] On sait qu'il est possible de contrôler la valeur effective d'au moins une constante électromagnétique relative (permittivité diélectrique relative ϵ_r et/ou perméabilité magnétique relative μ_r) d'une pièce diélectrique par imbrication de plusieurs matériaux diélectriques présentant des valeurs différentes pour cette constante électromagnétique relative. Une telle imbrication peut-être réalisée selon différents procédés connus.
- [0004] Le document FR 3 029 695 décrit notamment un procédé de fabrication particulièrement intéressant d'une pièce diélectrique dans lequel on choisit au moins un matériau diélectrique à l'état solide et au moins un matériau diélectrique à l'état fluide (liquide ou gazeux, y compris le vide spatial), les matériaux diélectriques choisis ayant au moins une constante électromagnétique relative ϵ_r , μ_r de valeurs différentes.
- [0005] Conformément au procédé décrit dans ce document, on peut choisir une structure de réseau solide tridimensionnel ayant des mailles dudit au moins un matériau diélectrique solide, ces mailles étant ouvertes dans au moins deux directions différentes non colinéaires, voire trois directions orthogonales entre elles, de manière à former un circuit de circulation pour ledit au moins un matériau diélectrique à l'état fluide.
- [0006] Le réseau solide tridimensionnel est réalisé par fabrication additive, autrement connue sous l'appellation d'impression tridimensionnelle par ajout de matière. Selon cette technique de fabrication, un fichier 3D caractéristique du réseau solide tridimensionnel à réaliser est traité par un logiciel spécifique qui organise le découpage en tranches des différentes couches nécessaires à la réalisation du réseau. Ce découpage est envoyé à une imprimante 3D qui dépose le matériau diélectrique couche par couche jusqu'à obtenir le réseau solide tridimensionnel final par empilement des couches. Ledit au moins un matériau à l'état fluide est ensuite incorporé au sein du réseau solide

tridimensionnel, par exemple par aspiration ou injection sous pression.

- [0007] Dans la suite, on définit par convention la notion de hauteur du réseau solide tridimensionnel comme correspondant à la dimension du réseau s'étendant parallèlement à la direction d'empilement des couches. Le contour du réseau solide tridimensionnel s'étendant sur ladite hauteur du réseau est désigné comme étant le contour latéral. De la même manière, les mailles périphériques formant le contour latéral du réseau solide tridimensionnel sont désignées comme étant des mailles latérales.
- [0008] En sélectionnant soigneusement les matériaux diélectriques et la géométrie de la structure de réseau solide tridimensionnel, un tel procédé de fabrication permet de concevoir une pièce diélectrique avec un contrôle précis, en tout point de la pièce diélectrique, de la valeur d'au moins une constante électromagnétique relative, et en particulier avec des gradients et/ou des anisotropies de cette valeur, c'est-à-dire une répartition tensorielle de valeurs de cette constante électromagnétique dans le volume de la pièce diélectrique.
- [0009] Un réseau solide tridimensionnel utilisant des mailles ouvertes dans plusieurs directions orthogonales entre elles est particulièrement avantageux dans les applications où l'on recherche l'obtention de pièces diélectriques utilisant le moins de matière possible, non seulement pour des raisons de coûts, mais aussi de poids. Ces exigences de coûts et de poids sont d'autant plus importantes dans l'industrie spatiale ou aéronautique.
- [0010] En outre, dans certains modes de réalisation décrits par FR 3 029 695, une composition gazeuse et/ou liquide peut être apportée au sein d'une pièce diélectrique depuis un volume de cette composition gazeuse et/ou liquide dans laquelle la pièce diélectrique est placée, par exemple depuis l'atmosphère terrestre ou le vide spatial. Pour ce faire, le réseau solide tridimensionnel de la pièce diélectrique présente des mailles ouvertes à la périphérie de la pièce diélectrique. Les mailles ouvertes à la périphérie permettent à ladite composition gazeuse et/ou liquide du volume dans lequel la pièce diélectrique est placée d'accéder à l'intérieur du réseau solide tridimensionnel de la pièce diélectrique de façon à pouvoir circuler à l'intérieur de la pièce diélectrique par l'intermédiaire de mailles ouvertes non périphériques du réseau solide tridimensionnel.
- [0011] Néanmoins, les ouvertures sur les mailles latérales peuvent induire une mauvaise tenue mécanique de la pièce diélectrique au niveau de ces mailles latérales. De ce fait, la pièce diélectrique est non seulement difficile à fabriquer par fabrication additive au niveau de sa périphérie, mais ne peut pas non plus être utilisée pour certaines applications nécessitant une bonne tenue mécanique de la pièce diélectrique. En particulier, une bonne tenue mécanique peut être nécessaire dans certains domaines tels que ceux du spatial, de l'aéronautique, de l'automobile, des drones, de l'internet des objets...

- [0012] Par ailleurs, pour ne pas limiter l'étendue des formes de pièces diélectriques à celles pouvant être obtenues par un réseau solide tridimensionnel présentant uniquement des mailles complètes (c'est-à-dire des mailles identiques à la maille élémentaire qui permet de modéliser l'ensemble des mailles non périphériques du réseau solide tridimensionnel), il est souhaitable de pouvoir fabriquer des pièces diélectriques comprenant des mailles périphériques partielles (c'est-à-dire des mailles ne constituant qu'une section de ladite maille élémentaire). En effet, l'utilisation de telles mailles partielles permet d'obtenir une plus grande diversité de formes de pièce diélectrique pouvant être conçues car les mailles périphériques partielles sont définies à partir de la forme souhaitée de la pièce diélectrique.
- [0013] Néanmoins, les mailles latérales partielles présentent chacune des parois de matériau diélectrique non soutenues de telle sorte que leur tenue mécanique peut être mauvaise. Du fait de cette mauvaise tenue mécanique, la fabrication additive d'une pièce diélectrique comprenant de telles mailles latérales partielles est difficile à mettre en œuvre. La difficulté de la fabrication des mailles partielles peut amener à renoncer à certaines formes de pièces diélectriques.
- [0014] L'invention vise à pallier ces inconvénients.
- [0015] L'invention vise également à proposer un procédé de fabrication d'une telle pièce diélectrique qui soit simple et peu coûteux à mettre en œuvre.
- [0016] L'invention concerne donc un procédé de fabrication d'une pièce diélectrique comprenant au moins un premier matériau diélectrique à l'état solide et au moins un matériau diélectrique à l'état fluide, ledit procédé comportant :
- une étape d'impression tridimensionnelle lors de laquelle on réalise un réseau solide tridimensionnel par fabrication additive, ledit réseau solide tridimensionnel comprenant des mailles dudit au moins un premier matériau diélectrique à l'état solide ouvertes dans au moins deux directions différentes non colinéaires de manière à former un circuit de circulation pour ledit au moins un matériau diélectrique à l'état fluide, ladite fabrication additive consistant à construire ledit réseau par dépôt dudit au moins un premier matériau électrique à l'état solide en couches successives selon une direction d'empilement de couches ; et
 - une étape lors de laquelle on incorpore ledit au moins un matériau diélectrique à l'état fluide au sein du réseau solide tridimensionnel,
- le procédé étant caractérisé en ce que, au cours de l'étape d'impression tridimensionnelle, on forme en outre, pour chaque couche, un dépôt d'au moins un deuxième matériau diélectrique à l'état solide selon au moins une portion continue d'un contour de la couche de manière à obtenir, par empilement des couches, au moins une paroi latérale formée d'un seul tenant avec le réseau solide tridimensionnel et délimitant latéralement au moins une portion d'un contour dudit réseau solide tridimensionnel.

- [0017] En d'autres termes, lors de la réalisation du réseau par fabrication additive, on forme au moins une paroi latérale conjointement au réseau, délimitant latéralement ledit réseau de mailles. Ladite au moins une paroi latérale étant formée d'un seul tenant avec les mailles latérales situées en périphérie du réseau tridimensionnel, on obtient une pièce dont la tenue mécanique est renforcée.
- [0018] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ledit au moins un premier matériau diélectrique à l'état solide et ledit au moins un matériau diélectrique à l'état liquide présentent au moins une constante électromagnétique relative ϵ_r , μ_r de valeurs différentes.
- [0019] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, au cours de l'étape d'impression tridimensionnelle, on forme, pour chaque couche, un dépôt dudit au moins un deuxième matériau diélectrique à l'état solide sur la totalité du contour de la couche, de sorte que ladite au moins une paroi latérale obtenue est une paroi fermée délimitant latéralement ledit réseau sur toute sa périphérie.
- [0020] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ladite au moins une paroi latérale présente une épaisseur supérieure ou égale à $100\mu\text{m}$.
- [0021] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ladite au moins une paroi latérale s'étend sur plusieurs mailles périphériques du réseau solide tridimensionnel.
- [0022] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ledit réseau solide tridimensionnel comprend une répétition de mailles dans toutes les directions de l'espace.
- [0023] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, plusieurs mailles périphériques non latérales formant ledit contour du réseau solide tridimensionnel présentent une face ouverte délimitant ce contour.
- [0024] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, les mailles non périphériques dudit réseau solide tridimensionnel sont ouvertes dans au moins deux directions différentes non colinéaires.
- [0025] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, la pièce diélectrique comprend un unique matériau diélectrique à l'état fluide qui est de l'air.
- [0026] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, les mailles du réseau solide tridimensionnel sont formées d'un unique premier matériau diélectrique à l'état solide.
- [0027] En particulier, dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ledit premier matériau diélectrique est choisi dans le groupe formé des oxydes métalliques, des carbures, des borures, des nitrures, des fluorures, des siliciures, des titanates, des sulfures, des polymères synthétiques et de leurs mélanges.
- [0028] Dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ladite au moins une paroi latérale est formée d'un unique deuxième matériau diélectrique.
- [0029] En particulier, dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ledit deuxième matériau diélectrique est choisi dans le groupe formé des oxydes métalliques, des

carbures, des borures, des nitrures, des fluorures, des siliciures, des titanates, des sulfures, des polymères synthétiques et de leurs mélanges.

- [0030] En outre, dans certains modes de réalisation et selon l'invention, ledit premier matériau diélectrique et ledit deuxième matériau diélectrique sont les mêmes.
- [0031] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une pièce diélectrique caractérisé, en combinaison ou non, par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après. Quelle que soit la présentation formelle qui en est donnée, sauf indication contraire explicite, les différentes caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après ne doivent pas être considérées comme étroitement ou inextricablement liées entre elles, l'invention pouvant concerner l'une seulement de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles, ou une partie seulement de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles, ou une partie seulement de l'une de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles, ou encore tout groupement, combinaison ou juxtaposition de tout ou partie de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles.
- [0032] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante donnée à titre non limitatif de certains de ses modes de réalisation possibles et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :
- la figure 1 représente une vue en perspective d'un premier mode de réalisation d'une pièce diélectrique obtenue par un procédé de fabrication selon l'invention,
 - la figure 2 représente une vue en perspective d'un deuxième mode de réalisation d'une pièce diélectrique obtenue par un procédé de fabrication selon l'invention,
 - la figure 3 représente une vue en perspective d'un troisième mode de réalisation d'une pièce diélectrique obtenue par un procédé de fabrication selon l'invention,
 - la figure 4 représente une vue en perspective d'un cornet comprenant une pièce diélectrique obtenue par un procédé de fabrication selon l'invention.
- [0033] Les pièces 10 diélectriques représentées aux figures 1 à 4 peuvent être obtenues par un procédé de fabrication selon l'invention.
- [0034] Dans un procédé de fabrication selon l'invention d'une pièce 10 diélectrique, un réseau 11 solide tridimensionnel de mailles en au moins un matériau diélectrique à l'état solide est formé par un procédé de fabrication additive lors d'une étape d'impression tridimensionnelle.
- [0035] En particulier, le réseau 11 solide tridimensionnel est formé par des dépôts successifs de couches d'au moins un matériau diélectrique à l'état solide selon une direction 18 d'empilement de couches. Ainsi, chaque couche est déposée sur la couche précédemment déposée. Les couches s'étendent parallèlement à un plan orthogonal à ladite direction 18 d'empilement.
- [0036] L'un au moins desdits matériaux diélectriques à l'état solide est choisi dans le groupe formé des oxydes métalliques, des carbures, des borures, des nitrures, des fluorures,

des siliciures, des titanates, des sulfures, des polymères synthétiques et de leurs mélanges. Rien n'empêche bien sûr de prévoir d'autres matériaux diélectriques, en variante ou en combinaison. De préférence, un seul matériau diélectrique est utilisé pour former le réseau 11 solide tridimensionnel par fabrication additive.

- [0037] Le dépôt de couches est effectué par une imprimante 3D à partir d'un fichier 3D caractéristique de la pièce 10 diélectrique à réaliser, ce fichier 3D étant généré par un logiciel informatique spécifique qui organise le découpage en tranches des différentes couches nécessaires à la réalisation du réseau 11 solide tridimensionnel.
- [0038] En particulier, la pièce 10 diélectrique est initialement conçue sur un logiciel informatique avant de générer le fichier 3D transmis à ladite imprimante 3D. En particulier, le réseau 11 solide tridimensionnel de la pièce 10 diélectrique est conçu selon le procédé décrit par FR 3 029 695.
- [0039] On conçoit le réseau 11 solide tridimensionnel de sorte que le réseau 11 solide tridimensionnel présente une partie non latérale de contour 12 comprenant au moins une portion délimitée par des faces ouvertes des mailles 13 périphériques. De telles faces ouvertes permettent la circulation d'au moins un matériau diélectrique fluide au travers du réseau 11 solide tridimensionnel.
- [0040] On conçoit également le réseau 11 solide tridimensionnel de sorte qu'au moins une partie des mailles non périphériques dudit réseau 11 solide tridimensionnel est ouverte dans au moins deux directions différentes non colinéaires de l'espace (formant entre elles un angle non nul différent de 180°). On peut ainsi par exemple définir au moins un circuit interne de circulation de fluide dans une pièce selon l'invention.
- [0041] Le réseau 11 solide tridimensionnel présente une forme conçue selon les propriétés souhaitées de la pièce 10 diélectrique. À titre d'exemples, le réseau 11 solide tridimensionnel peut présenter une forme de parallélépipède rectangle comme représenté à la figure 1, ou bien une forme cylindrique de révolution comme représenté à la figure 2. Le réseau 11 solide tridimensionnel peut également être un empilement de deux parallélépipèdes rectangles comme représenté à la figure 3. Selon la forme du réseau 11 solide tridimensionnel souhaitée, certaines mailles périphériques latérales peuvent être partielles (c'est-à-dire que ces mailles constituent qu'une section de la maille élémentaire qui permet de modéliser l'ensemble des mailles non périphériques du réseau solide tridimensionnel).
- [0042] Par ailleurs, et conformément à un mode de réalisation possible de l'invention, on conçoit également la pièce diélectrique de sorte qu'elle comprenne au moins une paroi 14 latérale autour du contour latéral du réseau solide tridimensionnel. Chaque paroi 14 latérale est ensuite formée par fabrication additive conjointement au réseau solide tridimensionnel.
- [0043] En particulier, ladite au moins une paroi 14 latérale est formée par dépôt d'au moins

un matériau diélectrique à l'état solide autour de chaque couche formant ledit réseau 11 solide tridimensionnel. Plus particulièrement, lors de l'impression tridimensionnelle de chaque couche du réseau 11 solide tridimensionnel, ledit au moins un matériau à l'état solide est déposé selon un contour continu de manière à obtenir au moins un empilement dudit au moins un matériau à l'état solide sur une hauteur du réseau solide tridimensionnel. La hauteur est définie ici comme étant la dimension du réseau s'étendant parallèlement à la direction 18 d'empilement des couches. Chaque empilement forme une paroi latérale qui délimite alors latéralement le réseau solide tridimensionnel sur toute sa périphérie. Ainsi, chaque paroi 14 latérale est formée d'un seul tenant avec le réseau solide tridimensionnel.

- [0044] Un tel procédé de fabrication permet par exemple d'obtenir les pièces 10 diélectriques représentées aux figures 1 à 4. Chacune de ces pièces 10 diélectriques comprend au moins une paroi 14 latérale formée tout autour du contour latéral du réseau 11 solide tridimensionnel. Chaque paroi 14 latérale s'étend donc selon une courbe fermée autour du contour latéral du réseau 11 solide.
- [0045] En particulier, dans le mode de réalisation représenté à la figure 1, le réseau 11 solide tridimensionnel présentant une forme de parallélépipède rectangle, on obtient une paroi 14 latérale présentant une section transversale rectangulaire, notamment carrée, et s'étendant sur la hauteur 15 du réseau 11 solide tridimensionnel. Par ailleurs, dans le mode de réalisation représenté à la figure 2, le réseau 11 solide tridimensionnel présentant une forme cylindrique de révolution, la paroi 14 latérale obtenue présente une section transversale circulaire et s'étend sur la hauteur 15 du réseau 11 solide tridimensionnel. Dans le mode de réalisation représenté à la figure 2, le réseau 11 solide tridimensionnel présentant la forme d'une superposition de deux parallélépipèdes rectangles de longueur et de largeur différentes, on obtient deux parois 14 latérales délimitant latéralement chaque parallélépipède rectangle sur la hauteur 15 de chaque parallélépipède rectangle.
- [0046] Bien que les modes de réalisation représentés sur les figures comprennent tous au moins une paroi latérale s'étendant tout autour du contour latéral du réseau solide périphérique, rien n'empêche de prévoir une ou plusieurs parois latérales formées uniquement autour d'une, respectivement plusieurs, portions du contour latéral du réseau solide tridimensionnel. En effet, certaines portions du contour latéral du réseau solide tridimensionnel peuvent présenter une tenue mécanique suffisante pour ne pas avoir à être renforcées par une paroi latérale. Ainsi, dans des modes de réalisation de l'invention non représentés, seules les portions du contour latéral du réseau solide tridimensionnel présentant une tenue mécanique insuffisante sont renforcées par une paroi latérale. Dans ce cas, lors de l'étape d'impression tridimensionnelle de chaque couche, on prévoit de déposer au moins un matériau diélectrique à l'état solide selon une ou

plusieurs portions continues d'un contour de la couche de manière à obtenir, par empilement des couches, une ou plusieurs parois latérales formées d'un seul tenant avec le réseau solide tridimensionnel et délimitant latéralement une ou plusieurs portions du contour latéral du réseau solide tridimensionnel.

- [0047] Par ailleurs, dans certains modes de réalisation non représentés sur les figures, la pièce diélectrique peut présenter un creux intérieur, notamment un orifice traversant ou une cavité intérieure, de dimensions supérieures à plusieurs mailles du réseau solide tridimensionnel. Au moins une paroi latérale intérieure délimitant ledit creux peut alors être utilisée pour renforcer les mailles périphériques du réseau solide tridimensionnel disposées autour de ce creux intérieur. Ainsi, dans tout le texte, on entend par le terme « contour » non seulement une limite extérieure d'un objet (tel que le réseau solide tridimensionnel ou une couche de matériau diélectrique à l'état solide formant le réseau solide tridimensionnel) mais aussi une limite intérieure de cet objet si celui-ci présente un creux intérieur de dimensions supérieures à plusieurs mailles du réseau solide tridimensionnel.
- [0048] De préférence, chaque paroi 14 latérale est formée d'un unique matériau diélectrique à l'état solide.
- [0049] Avantagement, le réseau 11 solide tridimensionnel et chaque paroi 14 latérale sont formés d'un même matériau diélectrique à l'état solide. Néanmoins, rien n'empêche de prévoir une paroi 14 latérale et un réseau 11 solide tridimensionnel qui soient formés de matériaux distincts.
- [0050] De préférence, au moins une paroi latérale présente une épaisseur supérieure ou égale à 100 μ m.
- [0051] Chaque paroi 14 latérale permet d'améliorer la tenue mécanique du contour latéral du réseau 11 solide tridimensionnel.
- [0052] En particulier, lorsqu'un réseau solide tridimensionnel présente des mailles latérales partielles comme vu précédemment, une paroi 14 latérale s'étendant autour de ces mailles latérales partielles permet d'améliorer considérablement la tenue mécanique de la pièce 10 diélectrique et de faciliter la fabrication de cette pièce 10 diélectrique par fabrication additive. Ainsi, l'utilisation d'une paroi 14 latérale permet alors de fabriquer des pièces 10 diélectriques de toute forme.
- [0053] Au moins un matériau diélectrique à l'état fluide est également introduit dans le réseau 11 solide tridimensionnel de façon à obtenir une pièce diélectrique formée d'une imbrication de matériaux diélectriques entre ledit au moins un matériau diélectrique à l'état fluide et le réseau 11 solide tridimensionnel formé d'au moins un matériau diélectrique à l'état solide. Dans certains modes de réalisation, au moins un matériau diélectrique à l'état fluide est une composition à l'état liquide, notamment choisie dans le groupe formé des compositions aqueuses, des compositions hydroal-

cooliques, des huiles, des solvants, et des cristaux liquides. Dans certains modes de réalisation, au moins un matériau diélectrique à l'état fluide est une composition à l'état gazeux, notamment choisie dans le groupe formé des gaz atmosphériques et des gaz ionisés (plasmas). De préférence, un seul matériau diélectrique à l'état fluide est introduit dans le réseau 11 solide tridimensionnel.

[0054] Les matériaux diélectriques à l'état solide et les matériaux diélectriques à l'état fluide présentent au moins une constante électromagnétique relative ϵ_r , μ_r de valeurs différentes de sorte que la pièce diélectrique ainsi formée présente au moins un tenseur $[\epsilon_r]$, $[\mu_r]$ déterminé d'au moins une constante électromagnétique relative ϵ_r , μ_r .

[0055] Une pièce diélectrique ainsi obtenue comprend alors :

- le réseau solide tridimensionnel comprenant des mailles constituées d'au moins un matériau diélectrique à l'état solide,
- au moins un matériau diélectrique à l'état fluide incorporé dans le réseau solide tridimensionnel, et
- au moins une paroi périphérique délimitant latéralement au moins une portion du contour latéral -notamment la totalité du contour latéral- dudit réseau solide tridimensionnel sur sa hauteur, la paroi périphérique étant formée d'un seul tenant avec le réseau solide tridimensionnel.

[0056] Une pièce diélectrique selon l'invention peut faire office d'émetteur et/ou de récepteur d'un champ électromagnétique et/ou électrique et/ou magnétique. Elle peut être notamment avantageusement utilisée dans le domaine des hyperfréquences (fréquences supérieures à 100 MHz, notamment comprises entre 1 GHz et 60GHz), par exemple (liste non limitative) à titre de :

- substrat (ce terme englobant aussi les substrats de recouvrement dits « superstrats ») d'antenne,
- lentille diélectrique,
- radôme,
- substrat ou isolant pour circuit électrique hyperfréquence,
- résonateur diélectrique dans un filtre à résonateur diélectrique.

[0057] Par exemple, la pièce 10 diélectrique peut être utilisée dans un cornet comme représenté à la figure 4. Le cornet est alors formé d'une paroi 17 périphérique métallique délimitant une cavité dans laquelle la pièce 10 diélectrique est placée. La pièce 10 diélectrique présente alors une forme adaptée pour pouvoir être imbriquée dans le cornet. La paroi 14 latérale de la pièce 10 diélectrique s'étend alors contre la paroi 17 périphérique métallique du cornet.

[0058] Comme représenté à la figure 2, la pièce 10 diélectrique peut également être assemblée à un plan 16 de masse formé d'un matériau électriquement conducteur, notamment un matériau métallique. Le plan 16 de masse permet ainsi de définir une

fréquence de résonance de la pièce 10 diélectrique.

[0059] L'invention peut faire l'objet de nombreuses variantes et applications autres que celles décrites ci-dessus. En particulier, il va de soi que sauf indication contraire les différentes caractéristiques structurelles et fonctionnelles de chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus ne doivent pas être considérées comme combinées et/ou étroitement et/ou inextricablement liées les unes aux autres, mais au contraire comme de simples juxtapositions. En outre, les caractéristiques structurelles et/ou fonctionnelles des différents modes de réalisation décrits ci-dessus peuvent faire l'objet en tout ou partie de toute juxtaposition différente ou de toute combinaison différente.

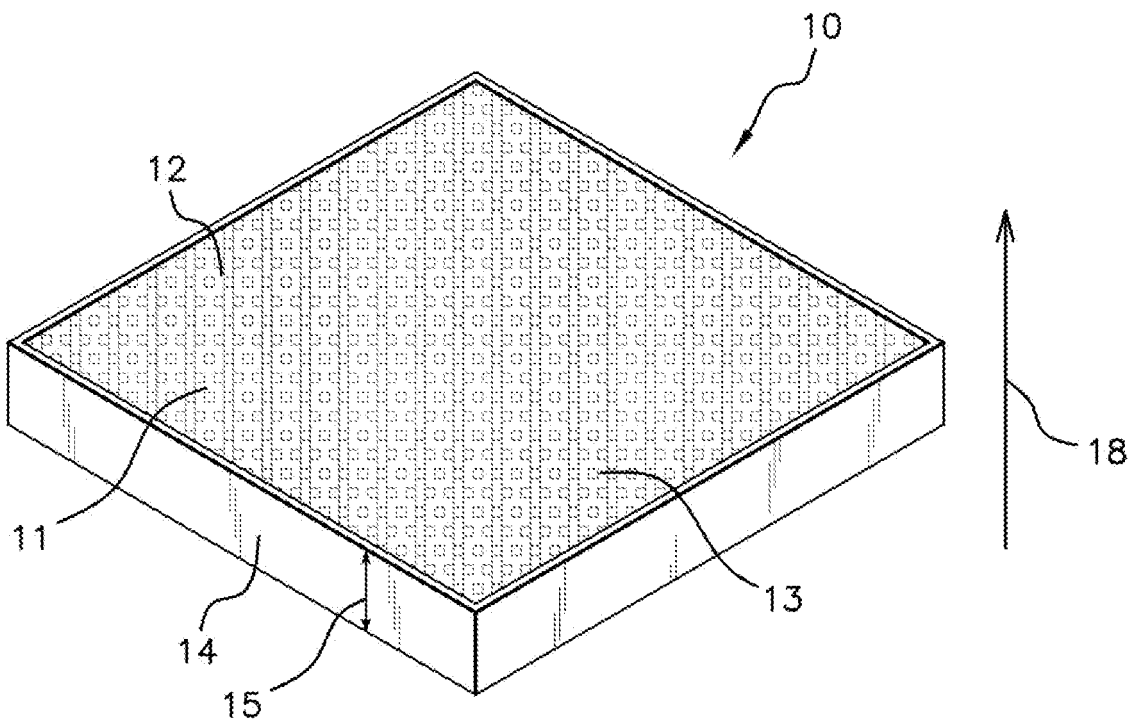
Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une pièce (10) diélectrique comprenant au moins un premier matériau diélectrique à l'état solide et au moins un matériau diélectrique à l'état fluide, ledit procédé comportant :
- une étape d'impression tridimensionnelle lors de laquelle on réalise un réseau (11) solide tridimensionnel par fabrication additive, ledit réseau (11) solide tridimensionnel comprenant des mailles dudit au moins un premier matériau diélectrique à l'état solide ouvertes dans au moins deux directions différentes non colinéaires de manière à former un circuit de circulation pour ledit au moins un matériau diélectrique à l'état fluide, ladite fabrication additive consistant à construire ledit réseau (11) par dépôt dudit au moins un premier matériau électrique à l'état solide en couches successives selon une direction (18) d'empilement de couches ; et
 - une étape lors de laquelle on incorpore ledit au moins un matériau diélectrique à l'état fluide au sein du réseau solide tridimensionnel, le procédé étant caractérisé en ce que, au cours de l'étape d'impression tridimensionnelle, on forme en outre, pour chaque couche, un dépôt d'au moins un deuxième matériau diélectrique à l'état solide selon au moins une portion continue d'un contour de la couche de manière à obtenir, par empilement des couches, au moins une paroi (14) latérale formée d'un seul tenant avec le réseau solide tridimensionnel et délimitant latéralement au moins une portion d'un contour (12) dudit réseau (11) solide tridimensionnel.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit au moins un premier matériau diélectrique à l'état solide et ledit au moins un matériau diélectrique à l'état liquide présentent au moins une constante électromagnétique relative ϵ_r , μ_r de valeurs différentes.
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'au cours de l'étape d'impression tridimensionnelle, on forme, pour chaque couche, un dépôt dudit au moins un deuxième matériau diélectrique à l'état solide sur la totalité du contour de la couche, de sorte que ladite au moins une paroi (14) latérale obtenue est une paroi fermée délimitant latéralement ledit réseau (11) sur toute sa périphérie.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ladite au moins une paroi (14) latérale présente une épaisseur supérieure ou égale à 100 μ m.

- [Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ladite au moins une paroi (14) latérale s'étend sur plusieurs mailles (13) périphériques du réseau (11) solide tridimensionnel.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ledit réseau (11) solide tridimensionnel comprend une répétition de mailles dans toutes les directions de l'espace.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que plusieurs mailles (13) périphériques non latérales formant ledit contour (12) du réseau solide tridimensionnel présentent une face ouverte délimitant ledit contour (12).
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la pièce diélectrique comprend un unique matériau diélectrique à l'état fluide qui est de l'air.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les mailles du réseau (11) solide tridimensionnel sont formées d'un unique premier matériau diélectrique à l'état solide.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une des revendications 1 à 9 caractérisé en ce que ladite au moins une paroi (14) latérale est formée d'un unique deuxième matériau diélectrique.
- [Revendication 11] Procédé selon les revendications 9 et 10, caractérisé en ce que ledit premier matériau diélectrique et ledit deuxième matériau diélectrique sont les mêmes.
- [Revendication 12] Procédé selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que ledit premier matériau diélectrique est choisi dans le groupe formé des oxydes métalliques, des carbures, des borures, des nitrures, des fluorures, des siliciures, des titanates, des sulfures, des polymères synthétiques et de leurs mélanges.
- [Revendication 13] Procédé selon l'une des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que ledit deuxième matériau diélectrique est choisi dans le groupe formé des oxydes métalliques, des carbures, des borures, des nitrures, des fluorures, des siliciures, des titanates, des sulfures, des polymères synthétiques et de leurs mélanges.

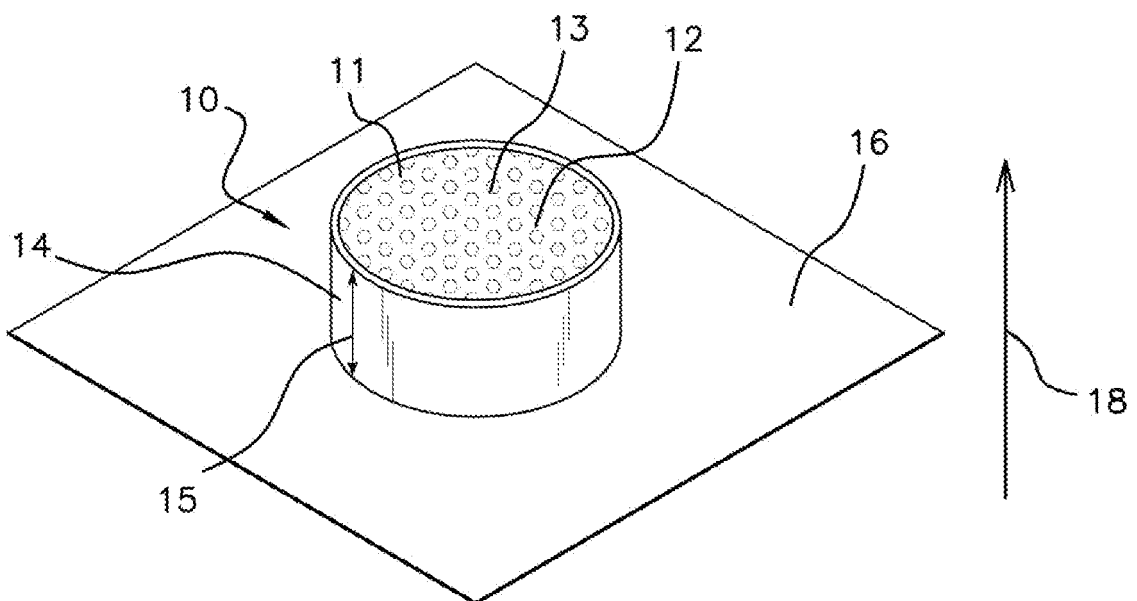
[Fig. 1]

Fig 1



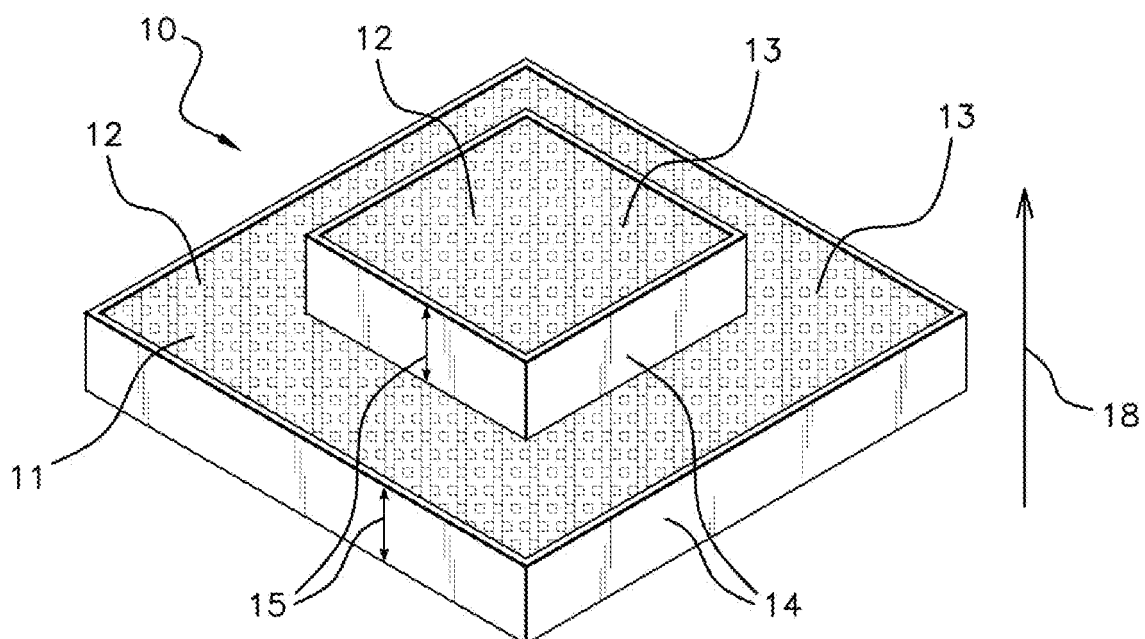
[Fig. 2]

Fig 2



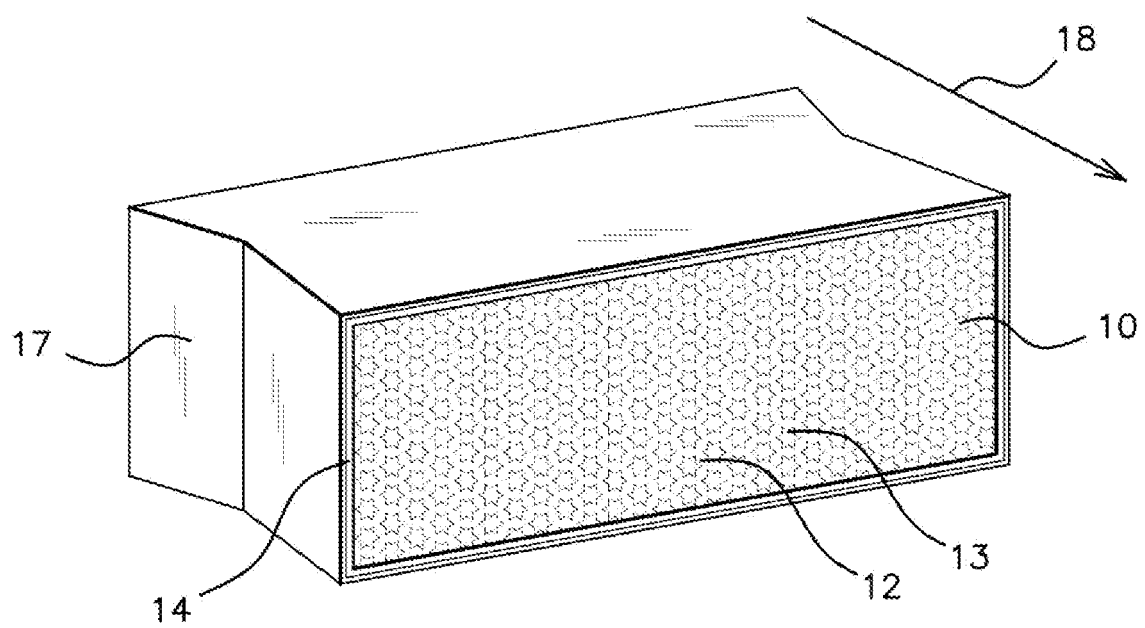
[Fig. 3]

Fig 3



[Fig. 4]

Fig 4



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

CESAR R. GARCIA ET AL: "3D PRINTING OF ANISOTROPIC METAMATERIALS",
PROGRESS IN ELECTROMAGNETICS RESEARCH LETTERS,
vol. 34, 23 août 2012 (2012-08-23), pages 75-82, XP055208428,
DOI: 10.2528/PIERL12070311

FR 3 029 695 A1 (CENTRE NAT D'ETUDES SPATIALES C N E S [FR])
10 juin 2016 (2016-06-10)

HABIB F N ET AL: "Fabrication of polymeric lattice structures for optimum energy absorption using Multi Jet Fusion technology",
MATERIALS AND DESIGN, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL,
vol. 155, 29 mai 2018 (2018-05-29), pages 86-98, XP085432004,
ISSN: 0264-1275, DOI:
10.1016/J.MATDES.2018.05.059

DANKOV PLAMEN I: "Uniaxial anisotropy estimation of the modern artificial dielectrics for antenna applications",
2017 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE WORKSHOP SERIES ON ADVANCED MATERIALS AND PROCESSES FOR RF AND THZ APPLICATIONS (IMWS-AMP), IEEE,
20 septembre 2017 (2017-09-20), pages 1-3, XP033292419,
DOI: 10.1109/IMWS-AMP.2017.8247430
[extrait le 2018-01-04]

DANKOV PLAMEN ET AL: "Practical Isotropy and Anisotropy of 3-D Printed Artificial Foam-Like Dielectrics with Antenna Applications",
2018 12TH INTERNATIONAL CONGRESS ON ARTIFICIAL MATERIALS FOR NOVEL WAVE PHENOMENA (METAMATERIALS), IEEE,
27 août 2018 (2018-08-27), pages 96-98, XP033445761,
DOI: 10.1109/METAMATERIALS.2018.8534070
[extrait le 2018-11-13]

US 2015/380824 A1 (TAYFEH ALIGODARZ MOHAMMADREZA [CA] ET AL)
31 décembre 2015 (2015-12-31)

BURGNIES L ET AL: "Textile inspired flexible metamaterial with negative refractive index",
JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, US,
vol. 117, no. 14,
14 avril 2015 (2015-04-14), XP012196549,
ISSN: 0021-8979, DOI: 10.1063/1.4918314
[extrait le 1901-01-01]

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