



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
27.12.2017 Bulletin 2017/52

(51) Int Cl.:
H01P 1/387 (2006.01) H01P 5/02 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17177380.7**

(22) Date de dépôt: **22.06.2017**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Etats d'extension désignés:
BA ME
 Etats de validation désignés:
MA MD

(72) Inventeurs:
 • **LEBOURGEOIS, Richard**
91767 Palaiseau Cedex (FR)
 • **TOLANT, Clément**
91470 Limours (FR)
 • **GALINDO, Christophe**
78851 Elancourt Cedex (FR)

(30) Priorité: **23.06.2016 FR 1601002**

(74) Mandataire: **Esselin, Sophie et al**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble Visium
22 avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(71) Demandeur: **Thales**
92400 Courbevoie (FR)

(54) **CIRCULATEUR HYPERFREQUENCE DOUBLE CELLULES A FAIBLE ENCOMBREMENT ET PROCEDE DE FABRICATION**

(57) L'invention a pour objet un circulateur hyperfréquence comprenant au moins:
 - la superposition d'une première cellule et d'une seconde cellule, chaque cellule comportant :
 o un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique, ledit noyau et ledit matériau diélectrique ou faiblement magnétique étant cofrittés;
 o au moins deux pistes d'accès et une piste de liaison jointes entre elles au niveau du noyau de matériau ferrite, sur une face active de la cellule ;
 - au moins une connexion de cellules permettant de relier électriquement ladite piste de liaison de ladite première cellule à ladite piste de liaison de ladite seconde cellule.
 - ladite superposition comprenant un plan de masse situé entre lesdites faces actives desdites cellules, le tout étant assemblé par cofrittage.

L'invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'un circulateur double cellules de l'invention.

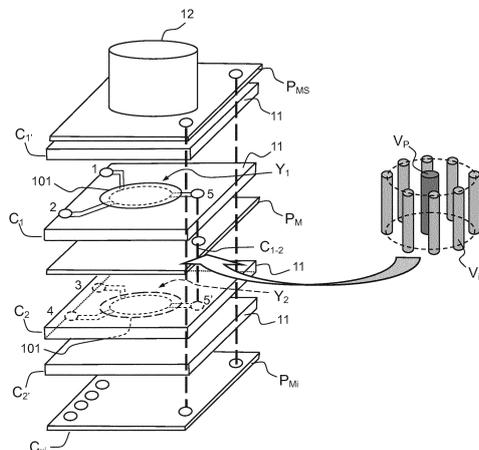


FIG.9

Description

[0001] Le domaine de l'invention est celui des circulateurs hyperfréquences. Ces composants passifs magnétiques à faibles pertes fonctionnent typiquement à des fréquences de l'ordre de quelques Gigahertz à quelques dizaines de Gigahertz. De tels composants sont particulièrement recherchés actuellement tant pour des applications civiles de télécommunications que pour des applications RADAR. Ce sont des composants essentiels car ils permettent d'isoler des réflexions parasites tout en présentant des pertes faibles pour transmettre des puissances importantes, et ce de manière complètement passive. La figure 1 illustre ce type de composant, comprenant trois ports dont un est connecté à une charge 50Ω pour assurer l'isolation des réflexions parasites.

[0002] Le fonctionnement de ces circulateurs hyperfréquences est basé sur l'effet non-réciproque d'un ferrite magnétiquement saturé. Ils sont fabriqués de manière conventionnelle en utilisant des technologies d'assemblage coûteuses car le ferrite qui constitue le coeur du composant, un grenat ferrimagnétique, est une céramique frittée à haute température ($> 1400^\circ\text{C}$). Ils sont volumineux et difficiles à intégrer avec d'autres composants employés dans les circuits de microélectronique parce qu'ils ne se présentent généralement pas comme des composants sous forme de puce mais qu'ils sont fabriqués comme des dispositifs à ferrite indépendants. Aussi les sous-ensembles émetteur/récepteur hyperfréquences utilisés dans les radars et les applications de télécommunications ont tendance à éviter leur utilisation en les remplaçant par d'autres solutions : diodes, MEMS...

[0003] Un circulateur est classiquement constitué d'une partie en ferrite, le plus souvent un disque, d'un aimant permanent placé au plus près du ferrite et de pistes métalliques permettant la propagation de l'onde électromagnétique. Dans un circulateur à 3 ports, les pistes métalliques forment un Y pour respecter la symétrie à 120° . La figure 2 illustre un circulateur 3 ports avec une voie 1, une voie 2 et une voie 3 matérialisées par des pistes métalliques Pi, le noyau en ferrite magnétique 10, couplé à un aimant 12.

[0004] Pour augmenter les performances d'isolation, les fabricants proposent des composants dits à 2 cellules constitués de 2 circulateurs reliés par un des ports. La figure 3a montre une telle configuration de deux cellules comprenant un noyau ferrite magnétique activées par des aimants 12. La première cellule comprend deux voies d'accès 1 et 2, la seconde cellule comportant deux voies d'accès 3 et 4, matérialisées par des pistes métalliques Pi, l'une de ces pistes métalliques assurant la liaison entre les deux cellules.

[0005] Pour réduire la désaimantation de chaque cellule due à la proximité des aimants 12, il est préférable que chaque circulateur soit aimanté en sens inverse, comme illustré en figure 3b.

[0006] La figure 4 illustre l'interconnexion d'un circulateur double cellule dans un module Radar d'émission-réception, l'émetteur comprenant un HPA pour « High Power Amplifier » et le récepteur comprenant un LNA pour « Low Noise Amplifier ». Dans cette configuration, sur l'un des ports, par exemple celui de la voie 2, une charge 50Ω est connectée. De cette manière, l'isolation côté émetteur est renforcée ce qui permet un meilleur contrôle du signal d'émission.

[0007] L'amélioration des performances d'isolation due à la présence d'une double cellule est cependant obtenue au détriment de la surface occupée par le composant qui est multipliée par deux.

[0008] Dans ce contexte, et pour résoudre notamment le problème précité, la présente invention a pour objet une solution permettant de réduire l'encombrement des circulateurs et notamment la surface occupée par le composant sur les cartes hyperfréquences.

[0009] Plus précisément la présente invention a pour objet un circulateur hyperfréquence comprenant au moins :

- la superposition d'une première cellule et d'une seconde cellule, chaque cellule comportant :
 - un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique, ledit noyau et ledit matériau diélectrique ou faiblement magnétique étant coffrités ;
 - au moins deux pistes d'accès et une piste de liaison jointes entre elles au niveau du noyau de matériau ferrite, sur une face active de la cellule ;
- au moins une connexion de cellules permettant de relier électriquement ladite piste de liaison de ladite première cellule à ladite piste de liaison de ladite seconde cellule.
- ladite superposition comprenant un plan de masse situé entre lesdites faces actives desdites cellules, le tout étant assemblé par cofrittage.

[0010] Selon des variantes de l'invention, les cellules comprennent une ou des couches de matériau ferrite/matériau diélectrique ou faiblement magnétique cofrittées.

[0011] Selon des variantes de l'invention, les cellules comprennent un empilement des couches de matériau ferrite/matériau diélectrique ou faiblement magnétique cofrittées. Dans ce cas, chaque couche comprend un noyau de matériau ferrite, entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique.

[0012] Selon des variantes de l'invention, ladite connexion de cellules comprend au moins un via conducteur principal

EP 3 261 170 A1

traversant ladite première cellule et ladite seconde cellule.

[0013] Selon des variantes de l'invention, le circulateur hyperfréquence comporte une structure triplaque cofrittée comprenant :

- 5
- un plan de masse supérieur ;
 - une première cellule ;
 - une seconde cellule ;
 - un plan de masse inférieur.

10 **[0014]** Dans une configuration triplaque, la première cellule peut être recouverte par un ensemble comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique, la seconde cellule étant recouverte par un ensemble comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique. Ainsi les pistes d'accès et les pistes de liaison sont enterrées dans ladite structure triplaque.

15 **[0015]** Selon des variantes de l'invention, lesdites cellules comprennent en outre des via conducteurs secondaires débouchant sur le ou les plan(s) de masse et répartis autour dudit via conducteur principal, permettant d'assurer un blindage autour de la connexion RF desdites cellules.

[0016] Selon des variantes de l'invention, le circulateur hyperfréquence comprend au moins un aimant rapporté sur au moins une cellule ou sur un des plans de masse supérieur ou inférieur.

[0017] Selon des variantes de l'invention, le matériau ferrite est de structure grenat.

20 **[0018]** Selon des variantes de l'invention, le matériau ferrite de structure grenat répond à la formule chimique suivante :



avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

25

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

30

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma ;$$

$$1 \leq a \leq 3,5 ;$$

35

$$0 \leq b \leq 1,5 ;$$

40

$$0 < b' \leq 1 ;$$

$$4 \leq c \leq 5 ;$$

45

$$0 \leq d \leq 1,5 ;$$

$$0 \leq e \leq 0,8 ;$$

50

$$0 \leq f \leq 1 ;$$

55

$$0 < g < 0,05 ;$$

$$0 \leq h \leq 1$$

EP 3 261 170 A1

$$0 \leq i \leq 0,8 ;$$

5

$$0 \leq j \leq 0,5 ;$$

$$0 \leq k \leq 0,5.$$

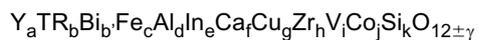
10

avec $b + d \leq 1$.

[0019] Selon des variantes de l'invention, le matériau diélectrique ou faiblement magnétique est un matériau de structure grenat à faible aimantation magnétique.

[0020] Selon des variantes de l'invention, le matériau de structure grenat à faible aimantation magnétique répond à la formule chimique suivante :

15



avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

20

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma$$

25

$$1 \leq a \leq 3,5 ;$$

30

$$0 \leq b \leq 1,5 ;$$

$$0 < b' \leq 1 ;$$

35

$$4 \leq c \leq 5 ;$$

40

$$0 \leq d \leq 1,5 ;$$

$$0 \leq e \leq 0,8 ;$$

45

$$0 \leq f \leq 1 ;$$

$$0 < g < 0,05 ;$$

50

$$0 \leq h \leq 1$$

55

$$0 \leq i \leq 0,8 ;$$

$$0 \leq j \leq 0,5 ;$$

$$0 \leq k \leq 0,5.$$

avec $b + d \geq 1,2$.

[0021] L'invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'un circulateur hyperfréquence selon l'invention comprenant :

- la réalisation d'une première structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique et d'une seconde structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique ;
- la réalisation de pistes d'accès et de liaison sur l'une des faces dite active de ladite première structure et sur l'une des faces dite active de ladite seconde structure ;
- la réalisation d'un plan de masse sur l'une des faces opposées à l'une des faces actives desdites structures ;
- l'assemblage de ladite première structure et de ladite seconde structure ;
- la réalisation d'une connexion entre la piste de liaison de ladite première structure et la piste de liaison de ladite seconde structure.
- une étape de cofrittage pour solidariser la structure dans les trois dimensions.

[0022] Selon des variantes de l'invention, le procédé comprend la réalisation d'au moins un via conducteur dans ledit assemblage pour obtenir ladite connexion entre la piste de liaison de ladite première structure et la piste de liaison de ladite seconde structure.

[0023] Selon des variantes de l'invention, le procédé comprend la réalisation d'une première structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré d'un matériau diélectrique ou faiblement magnétique et d'une seconde structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré d'un matériau diélectrique ou faiblement magnétique effectuée par cofrittage d'un empilement multicouches, chacune des couches comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique.

[0024] Ainsi, ce procédé de la présente invention permet de réaliser de manière collective et automatique des circulateurs double cellules présentant une surface d'implantation deux fois plus petite que celle de l'état de l'art.

[0025] Ce procédé de cofrittage d'empilement multicouches particulièrement intéressant peut notamment comprendre les étapes suivantes :

- la réalisation de bandes de matériau ferrite et de matériau diélectrique ou faiblement magnétique par coulage ;
- la découpe desdites bandes ;
- la réalisation d'au moins un via ;
- le remplissage d'au moins ledit via avec une encre métallique, le métal pouvant être de l'argent, de l'or, ou un alliage d'argent et de palladium Ag-Pd ;
- la réalisation de pistes d'accès et de liaison jointes entre elles au niveau du noyau de matériau ferrite sur un sous-ensemble de bandes et de plans de masse sur certaines autres bandes ;
- l'empilement desdites bandes par pressage à chaud ;
- le cofrittage dudit empilement conduisant à la solidarisation de la structure multicouches.

[0026] Avantageusement le matériau diélectrique ou faiblement magnétique mis en oeuvre dans le procédé de la présente invention peut répondre à la formule suivante :



avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma$$

EP 3 261 170 A1

$$1 \leq a \leq 3,5 ;$$

5

$$0 \leq b \leq 1,5 ;$$

$$0 < b' \leq 1 ;$$

10

$$4 \leq c \leq 5 ;$$

15

$$0 \leq d \leq 1,5 ;$$

$$0 \leq e \leq 0,8 ;$$

20

$$0 \leq f \leq 1 ;$$

$$0 < g < 0,05 ;$$

25

$$0 \leq h \leq 1$$

30

$$0 \leq i \leq 0,8 ;$$

$$0 \leq j \leq 0,5 ;$$

35

$$0 \leq k \leq 0,5.$$

avec $b + d \geq 1,2$.

40

[0027] Avantagement, le matériau ferrite mis en oeuvre dans le procédé de la présente invention peut être de structure grenat et répondre à la formule suivante :



45

avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

50

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma ;$$

$$1 \leq a \leq 3,5 ;$$

55

$$0 \leq b \leq 1,5 ;$$

EP 3 261 170 A1

$$0 < b' \leq 1 ;$$

5

$$4 \leq c \leq 5 ;$$

$$0 \leq d \leq 1,5 ;$$

10

$$0 \leq e \leq 0,8 ;$$

15

$$0 \leq f \leq 1 ;$$

$$0 < g < 0,05 ;$$

20

$$0 \leq h \leq 1$$

$$0 \leq i \leq 0,8 ;$$

25

$$0 \leq j \leq 0,5 ;$$

30

$$0 \leq k \leq 0,5.$$

avec $b + d \leq 1$.

[0028] L'invention a également pour objet un circulateur hyperfréquence obtenu selon le procédé de fabrication de l'invention.

35 **[0029]** L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1 schématise le fonctionnement d'un circulateur hyperfréquence à trois ports dont un est isolé ;
- la figure 2 schématise un circulateur hyperfréquence comprenant un ferrite ;
- 40 - les figures 3a et 3b illustrent une vue de dessus et une vue en coupe d'un circulateur hyperfréquence double cellule de l'art antérieur utilisant un ferrite ;
- la figure 4 schématise l'intégration d'un circulateur hyperfréquence double cellule utilisant un ferrite dans une chaîne d'émission / réception ;
- la figure 5 illustre une variante de circulateur hyperfréquence selon l'invention schématisé avec le plan de masse incorporé dans la superposition des deux cellules ;
- 45 - la figure 6 illustre par des vues de dessus un mode de superposition des cellules utilisées dans une variante de circulateur hyperfréquence de l'invention ;
- la figure 7 met en évidence la connexion entre les cellules superposées dans une variante de circulateur hyperfréquence de l'invention ;
- 50 - la figure 8 illustre la même variante de circulateur hyperfréquence que celle illustrée en figure 7 et activée entre deux aimants rapportée sur un substrat ;
- la figure 9 illustre une variante de circulateur hyperfréquence de type triplaque, selon l'invention.
- La figure 10 illustre une variante de circulateur hyperfréquence de type triplaque selon l'invention.

55 **[0030]** De manière générale, le circulateur hyperfréquence double cellule de l'invention peut comprendre sans que cela soit restrictif, une configuration de circulateur en Y à trois voies, dont deux voies d'accès et une voie de liaison assurant une connexion RF entre les deux cellules. Ce type de circulateur comporte ainsi trois voies à 120° les unes des autres autour d'un corps central où se trouvent les éléments qui confèrent au circulateur sa non-réciprocité sous

l'action d'un champ magnétique.

[0031] Le circulateur de la présente invention comporte la superposition de deux cellules comprenant chacune un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique et assemblés par cofrittage. Chaque cellule comprend sur une de ses faces dite active des métallisations, comprenant des pistes reliées à des ports d'accès, et une piste de jonction, l'ensemble de ces pistes pouvant ainsi former une jonction Y et une connexion assurant la communication RF entre les deux cellules, la face opposée à la face active présentant un plan de masse, les deux cellules présentant ainsi un plan de masse mis en commun, une telle architecture permettant de réduire la surface occupée.

[0032] Selon une variante de l'invention schématisée en figure 5, le circulateur hyperfréquence comprend une première cellule C_1 superposée à une seconde cellule C_2 . Chaque cellule comprend sur une de ses faces dite active, des métallisations, comprenant des pistes P_i réalisant respectivement les voies 1, 2, 3 et 4.

[0033] Chaque cellule comporte un noyau de matériau ferrite dont la surface est métallisée, reliée aux pistes 1, 2 et 5 (pour la première cellule) et reliée aux pistes 3, 4 et 5' (pour la seconde cellule). Le circulateur double cellule comporte en outre une connexion C_{1-2} reliant les voies 5 et 5' sous forme de via conducteur traversant la première cellule et la seconde cellule. Le plan de masse schématisé par le plan P_M peut être constitué par exemple par la métallisation d'un des faces d'une des deux cellules et présentant une ouverture O_{PM} .

[0034] Pour aimanter l'ensemble, un aimant non représenté sur la figure est reporté sur la face externe d'une des cellules, directement sur le disque de matériau ferrite métallisé ou bien à une distance prédéfinie, à l'aide d'une couche de matériau diélectrique faibles pertes servant « d'espaceur ».

[0035] La hauteur totale d'aimant nécessaire peut ainsi être inférieure au cas classique où les deux cellules sont dans le même plan pour les deux raisons suivantes :

- en superposant les deux cellules, l'aimant qui aimante la première cellule aimante également la deuxième cellule ;
- le coefficient démagnétisant de l'ensemble des deux disques de matériau ferrite superposés diminuant, le champ démagnétisant diminue également.

[0036] De cette manière, on peut diminuer la hauteur totale des deux cellules superposées, on diminue ainsi le volume total du composant.

[0037] La superposition décrite précédemment est réalisée à l'aide de la technologie de cofrittage multicouches.

[0038] Dans ce cas, les étapes de fabrication sont les suivantes :

- réalisation de bandes de ferrite et de diélectrique par coulage ;
- découpe desdites bandes ;
- réalisation des vias par exemple par une opération de poinçonnage ;
- remplissage des vias avec une encre métallique cofrittible ;
- métallisation par sérigraphie des jonctions Y et des plans de masse ;
- empilement des bandes par pressage à chaud ;
- cofrittage de l'empilement.

[0039] Les éléments réalisés par sérigraphie peuvent également être réalisés par jet d'encre.

[0040] Typiquement, les bandes coulées peuvent présenter une épaisseur d'une centaine de microns, l'épaisseur d'une structure présentant une épaisseur de quelques centaines de microns. Pour atteindre des épaisseurs de bandes de 500 microns, il est soit possible de disposer d'une unique bande de 500 microns d'épaisseur, soit de laminer 5 bandes de 100 microns.

[0041] Afin de réduire l'encombrement des cellules, il est possible de prévoir des ruptures d'axe au niveau des pistes métalliques comme montré sur la figure 6 qui illustre vues de dessus les faces actives de chacune des cellules. Afin de favoriser les accès des ports, il peut également être d'intérêt de ne pas positionner en regard les ports d'accès d'une cellule avec ceux de l'autre cellule, comme montré en figure 6 qui met en évidence les ports P_1 et P_2 de la première cellule C_1 au niveau de deux côtés opposés et les ports P_3 et P_4 de la seconde cellule C_2 sur un côté situé perpendiculairement aux côtés au niveau desquels sont positionnés les ports P_1 et P_2 , les extrémités des voies référencées 5 et 5' étant connectables par un via reliant P_5 et P_5'

[0042] Afin de réaliser la connexion RF entre les deux cellules, il peut avantageusement être prévu de réaliser au moins un via conducteur.

[0043] Des exemples de structure sont donnés ci-après. Dans ces structures, les connexions verticales sont réalisées à l'aide de vias blindés constitués d'un via principal entouré de plusieurs autres vias périphériques de blindage. Le via principal connecte les jonctions Y alors que les vias périphériques sont reliés au plan de masse incorporé dans la superposition.

[0044] Un exemple de circulateur de type microstrip ou micro-ruban est ainsi illustré en figure 7 qui met en évidence

la connexion réalisée entre les pistes de liaison. Cette connexion de cellules est assurée par un ensemble de via conducteurs comprenant un via central principal V_P , entouré de vias périphériques V_{iB} . Le plan de masse peut être réalisé par métallisation d'une des faces d'une cellule préalablement élaborée en ayant pris la précaution de laisser une ouverture O_P de manière à ce que le via principal ne soit pas en contact avec ledit plan de masse P_M . La figure 8 illustre le réglage du circulateur grâce à la présence de deux aimants 12, disposés de part et d'autre des jonctions Y, l'ensemble étant reporté sur un substrat S, présentant une partie diélectrique S_D et une partie métallisée S_M et comportant des pistes de connexion Pj.

[0045] Les variantes illustrées en figure 7 et en figure 8 concernent des structures de type microstrip ou micro-ruban, mais le concept peut aussi s'appliquer pour des structures de type triplaque. Il suffit pour cela de rajouter des parties symétriques comme indiqué en figure 9. Ainsi on réalise plus précisément la séquence suivante :

- On réalise des bandes de ferrite et de diélectrique (ou ferrite faiblement magnétique) à l'épaisseur souhaitée. On peut pour des raisons pratiques préférer laminer des couches de ferrite et de diélectrique pour obtenir l'épaisseur souhaitée.
- On découpe un disque de ferrite qu'on insère dans le diélectrique après l'avoir percé. On réalise ainsi 4 ensembles.
- Sur l'ensemble C_1 , on métallise une face.
- Sur l'ensemble C_1 , on métallise une face et on dépose une jonction Y1 sur l'autre face. On réalise un via au niveau de la piste 5 (perforation + remplissage d'encre métallique).
- Sur l'ensemble C_2 , on réalise une jonction Y2 et un via au niveau de la piste 5'.
- Sur l'ensemble C_2 , on métallise uniquement une face.

[0046] On empile les ensembles de façon à avoir du haut vers le bas la structure suivante : plan de masse P_{MS} - ensemble C_1 , avec jonction Y1 - ensemble C_1 - plan de masse P_M - ensemble C_2 avec jonction Y2 - ensemble C_2 - plan de masse P_{MI} , comme illustré en figure 9.

[0047] Les ensembles C_1 et C_2 ont un via d'encre métallique.

[0048] Le plan de masse 2 n'est pas métallisé sur toute la surface, pour laisser le passage du via reliant 5 et 5'. Pour les accès 1 2 3 4, la traversée des plans de masse est assurée en supprimant la métallisation autour des vias de connexion. Les accès 1 et 2 peuvent se trouver sur les faces perpendiculaires comme illustré en figure 10.

[0049] Même si la hauteur du composant réalisé est augmentée, on parvient ainsi à réduire les dimensions dans le plan (diamètre du disque de matériau ferrite, largeur et longueur des pistes métalliques) et à améliorer les performances en termes d'isolation et de pertes d'insertion.

[0050] Plus précisément, cette configuration triplaque comporte quatre ensembles de noyau de ferrite entouré de matériau diélectrique. On réalise sur deux d'entre eux des jonctions Y, pour réaliser les cellules C_1 et C_2 , sur les faces opposées aux faces comportant les jonctions Y, l'une des faces au moins est métallisée pour constituer le plan de masse interne référencé en figure 9, plan de masse P_M . La structure triplaque comporte de manière symétrique, deux autres ensembles C_1 et C_2 , présentant également un noyau de ferrite entouré de matériau diélectrique non représenté. L'ensemble C_1 est en regard de la cellule C_1 , l'ensemble C_2 est en regard de la cellule C_2 .

[0051] Un plan de masse supérieur est réalisé sur la face externe de l'ensemble C_1 , un plan de masse inférieur est réalisé sur la face externe de l'ensemble C_2 . Les trois plans de masse P_{MS} , P_M et P_{MI} sont reliés entre eux par des vias conducteurs périphériques V_{iB} , la connexion entre les jonctions Y des deux cellules est assurée par le via conducteur principal V_P .

[0052] Cette technologie de fabrication permet alors de réaliser des composants de type CMS : « Composant Monté en Surface » possédant des connexions Cxi sur une seule face qui peuvent être soudés de manière automatique.

Revendications

1. Circulateur hyperfréquence comprenant au moins :

- la superposition d'une première cellule et d'une seconde cellule, chaque cellule comportant :
 - un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique, ledit noyau et ledit matériau diélectrique ou faiblement magnétique étant coffrités ;
 - au moins deux pistes d'accès et une piste de liaison jointes entre elles au niveau du noyau de matériau ferrite, sur une face active de la cellule ;
- au moins une connexion de cellules permettant de relier électriquement ladite piste de liaison de ladite première cellule à ladite piste de liaison de ladite seconde cellule.

EP 3 261 170 A1

- ladite superposition comprenant un plan de masse situé entre lesdites faces actives desdites cellules, le tout étant assemblé par cofrittage.

- 5 2. Circulateur hyperfréquence selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les cellules comprennent une ou des couches de matériau ferrite/matériau diélectrique ou faiblement magnétique cofrittées.
3. Circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ladite connexion de cellules comprend au moins un via conducteur principal traversant ladite première cellule et ladite seconde cellule.
- 10 4. Circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications précédentes **caractérisé en ce qu'il** comporte une structure triplaque cofrittée comprenant :
- un plan de masse supérieur ;
 - une première cellule ;
 - 15 - une seconde cellule ;
 - un plan de masse inférieur.
5. Circulateur hyperfréquence selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la première cellule est recouverte par un ensemble comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique, la seconde cellule étant recouverte par un ensemble comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique
- 20 6. Circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications 3 à 5, **caractérisé en ce que** lesdites cellules comprennent en outre des vias conducteurs secondaires débouchant sur le ou les plan(s) de masse et répartis autour dudit via conducteur principal.
- 25 7. Circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications précédentes comprenant au moins un aimant rapporté sur au moins une cellule ou sur un des plans de masse supérieur ou inférieur.
- 30 8. Circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le matériau ferrite est de structure grenat.
9. Circulateur hyperfréquence selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le matériau ferrite de structure grenat répond à la formule chimique suivante :
- 35



avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma ;$$

$$1 \leq a \leq 3,5 ;$$

$$0 \leq b \leq 1,5 ;$$

$$0 < b' \leq 1 ;$$

$$4 \leq c \leq 5 ;$$

EP 3 261 170 A1

$$0 \leq d \leq 1,5 ;$$

5

$$0 \leq e \leq 0,8 ;$$

$$0 \leq f \leq 1 ;$$

10

$$0 < g < 0,05 ;$$

$$0 \leq h \leq 1$$

15

$$0 \leq i \leq 0,8 ;$$

20

$$0 \leq j \leq 0,5 ;$$

$$0 \leq k \leq 0,5.$$

25

avec $b + d \leq 1$.

10. Circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau diélectrique est un matériau de structure grenat à faible aimantation magnétique.

30

11. Circulateur hyperfréquence selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le matériau de structure grenat à faible aimantation magnétique répond à la formule chimique suivante :



35

avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

40

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma$$

45

$$1 \leq a \leq 3,5 ;$$

$$0 \leq b \leq 1,5 ;$$

50

$$0 < b' \leq 1 ;$$

$$4 \leq c \leq 5 ;$$

55

$$0 \leq d \leq 1,5 ;$$

EP 3 261 170 A1

$$0 \leq e \leq 0,8 ;$$

5

$$0 \leq f \leq 1;$$

$$0 < g < 0,05 ;$$

10

$$0 \leq h \leq 1$$

15

$$0 \leq i \leq 0,8 ;$$

$$0 \leq j \leq 0,5 ;$$

20

$$0 \leq k \leq 0,5.$$

avec $b + d \geq 1,2$.

25 **12.** Procédé de fabrication d'un circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications 1 à 11 comprenant :

- la réalisation d'une première structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique et d'une seconde structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique ;
- 30 - la réalisation de pistes d'accès et de liaison sur l'une des faces dite active de ladite première structure et sur l'une des faces dite active de ladite seconde structure ;
- la réalisation d'un plan de masse sur l'une des faces opposées à l'une des faces actives desdites structures ;
- l'assemblage de ladite première structure et de ladite seconde structure ;
- la réalisation d'une connexion entre la piste de liaison de ladite première structure et la piste de liaison de ladite seconde structure ;
- 35 - une étape de cofrittage pour solidariser la structure dans les trois dimensions.

40 **13.** Procédé de fabrication d'un circulateur hyperfréquence selon la revendication 12, comprenant la réalisation d'au moins un via conducteur dans ledit assemblage pour obtenir ladite connexion entre la piste de liaison de ladite première structure et la piste de liaison de ladite seconde structure.

45 **14.** Procédé de fabrication d'un circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications 12 ou 13, dans lequel la réalisation d'une première structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique et d'une seconde structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique est effectuée par assemblage de pièces usinées de matériau ferrite et de matériau diélectrique.

50 **15.** Procédé de fabrication d'un circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications 12 ou 13, dans lequel la réalisation d'une première structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique et d'une seconde structure comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique est effectuée par cofrittage d'un empilement multicouches, chacune des couches comprenant un noyau de matériau ferrite entouré de matériau diélectrique ou faiblement magnétique.

55 **16.** Procédé de fabrication d'un circulateur hyperfréquence selon la revendication 15 dans lequel le matériau diélectrique ou faiblement magnétique répond à la formule chimique suivante :



EP 3 261 170 A1

avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

5

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma$$

10

$$1 \leq a \leq 3,5 ;$$

$$0 \leq b \leq 1,5 ;$$

15

$$0 < b' \leq 1 ;$$

20

$$4 \leq c \leq 5 ;$$

$$0 \leq d \leq 1,5 ;$$

25

$$0 \leq e \leq 0,8 ;$$

$$0 \leq f \leq 1 ;$$

30

$$0 < g < 0,05 ;$$

35

$$0 \leq h \leq 1$$

$$0 \leq i \leq 0,8 ;$$

40

$$0 \leq j \leq 0,5 ;$$

45

$$0 \leq k \leq 0,5.$$

avec $b + d \geq 1,2$.

17. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 15 ou 16 dans lequel le matériau ferrite est de structure grenat et peut répondre à la formule chimique suivante :

50



avec TR : une terre rare ou une combinaison de terres rares et :

55

$$-1 \leq \gamma \leq 1 ;$$

$$3(a+b+b'+c+d+e) + 2(f+g+j) + 4(h+k) + 5i = 24 \pm 2\gamma ;$$

5 $1 \leq a \leq 3,5 ;$

$0 \leq b \leq 1,5 ;$

10 $0 < b' \leq 1 ;$

15 $4 \leq c \leq 5 ;$

$0 \leq d \leq 1,5 ;$

20 $0 \leq e \leq 0,8 ;$

$0 \leq f \leq 1 ;$

25 $0 < g < 0,05 ;$

30 $0 \leq h \leq 1$

$0 \leq i \leq 0,8 ;$

35 $0 \leq j \leq 0,5 ;$

40 $0 \leq k \leq 0,5.$

avec $b + d \leq 1.$

45 **18.** Procédé de fabrication d'un circulateur hyperfréquence selon l'une des revendications 15 à 17, comprenant les étapes suivantes :

- la réalisation de bandes de matériau ferrite et de matériau diélectrique ou faiblement magnétique par coulage ;
- la découpe desdites bandes ;
- la réalisation d'au moins un via ;
- le remplissage d'au moins ledit via avec une encre métallique ;
- 50 - la réalisation de pistes d'accès et de liaison jointes entre elles au niveau du noyau de matériau ferrite sur un sous-ensemble de bandes et de plans de masse sur certaines autres bandes;
- l'empilement desdites bandes par pressage à chaud ;
- le cofrittage dudit empilement conduisant à la solidarisation de la structure multicouches.

55 **19.** Circulateur hyperfréquence obtenu selon le procédé de fabrication d'une des revendications 12 à 18.

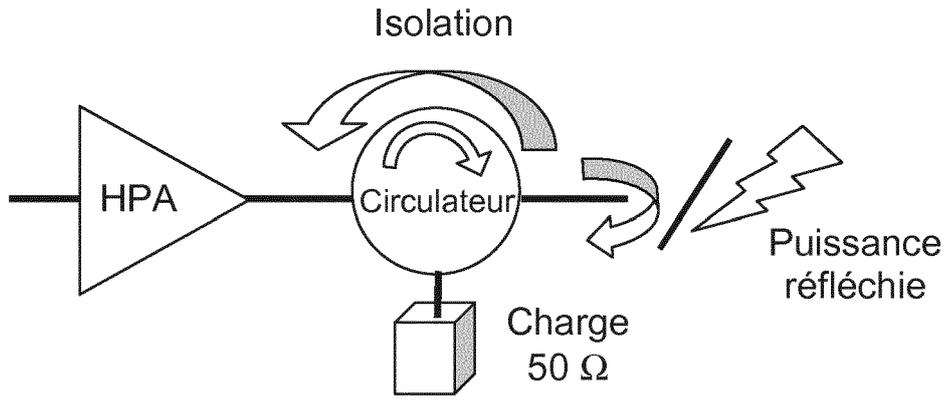


FIG.1

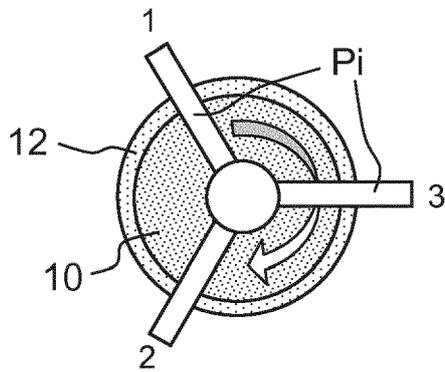


FIG.2

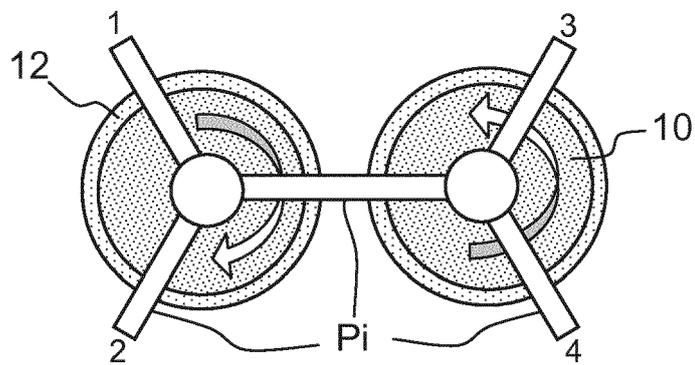


FIG.3a

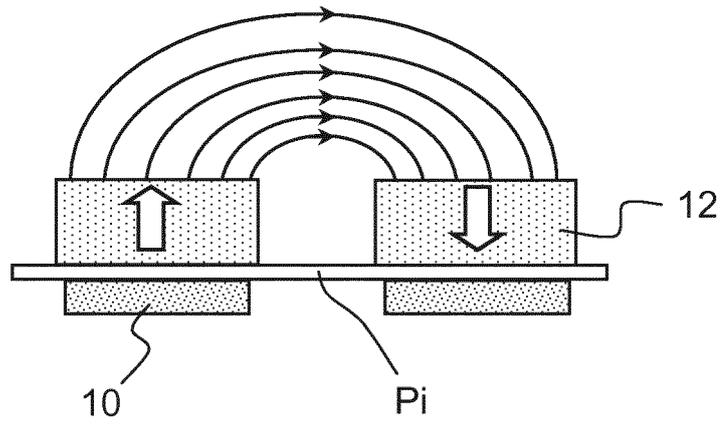


FIG.3b

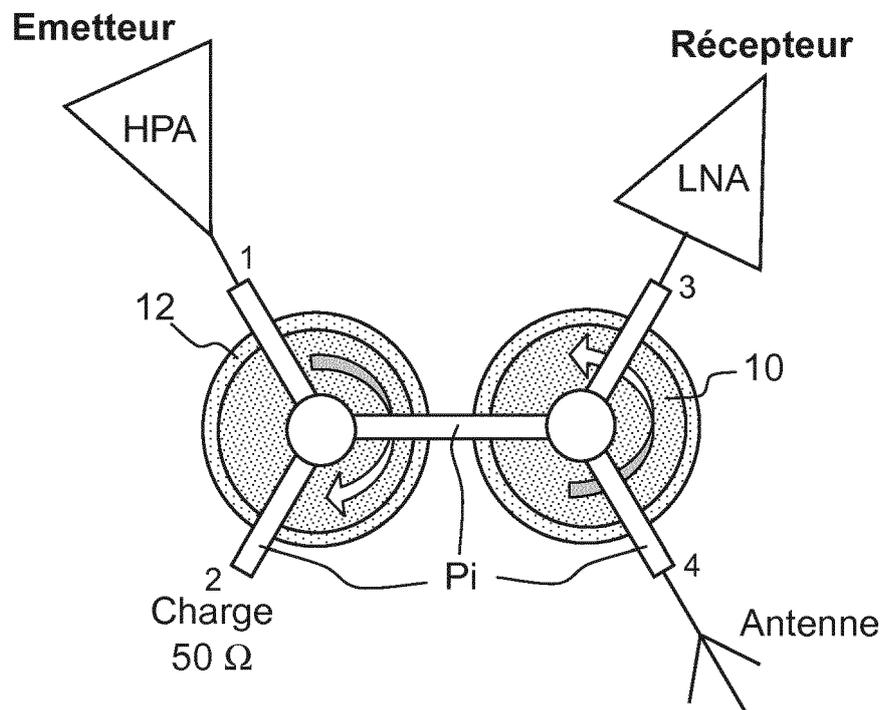


FIG.4

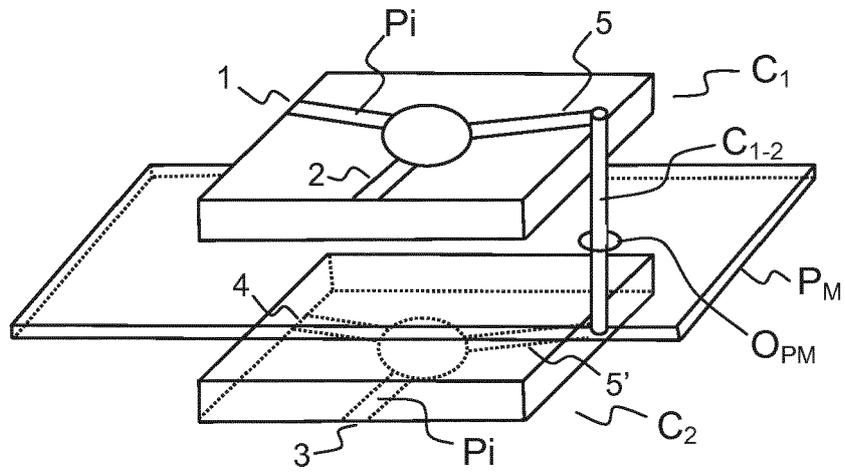


FIG.5

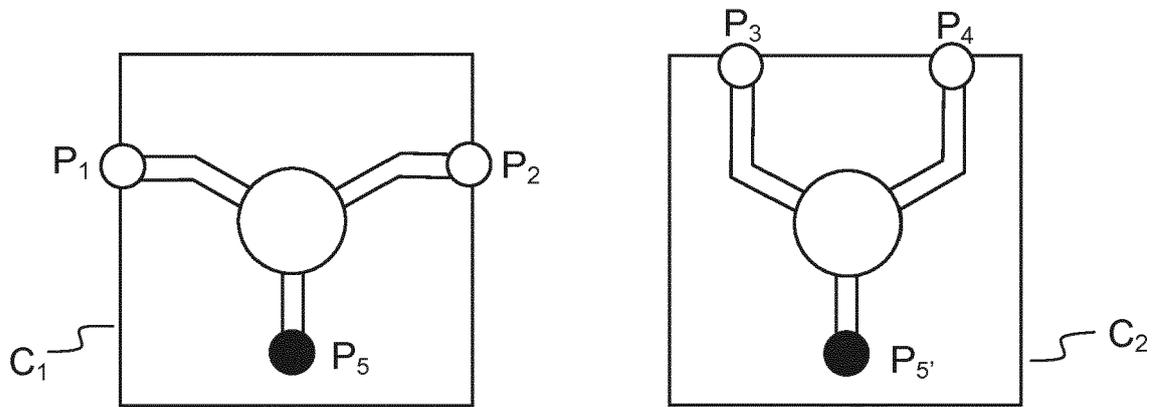


FIG.6

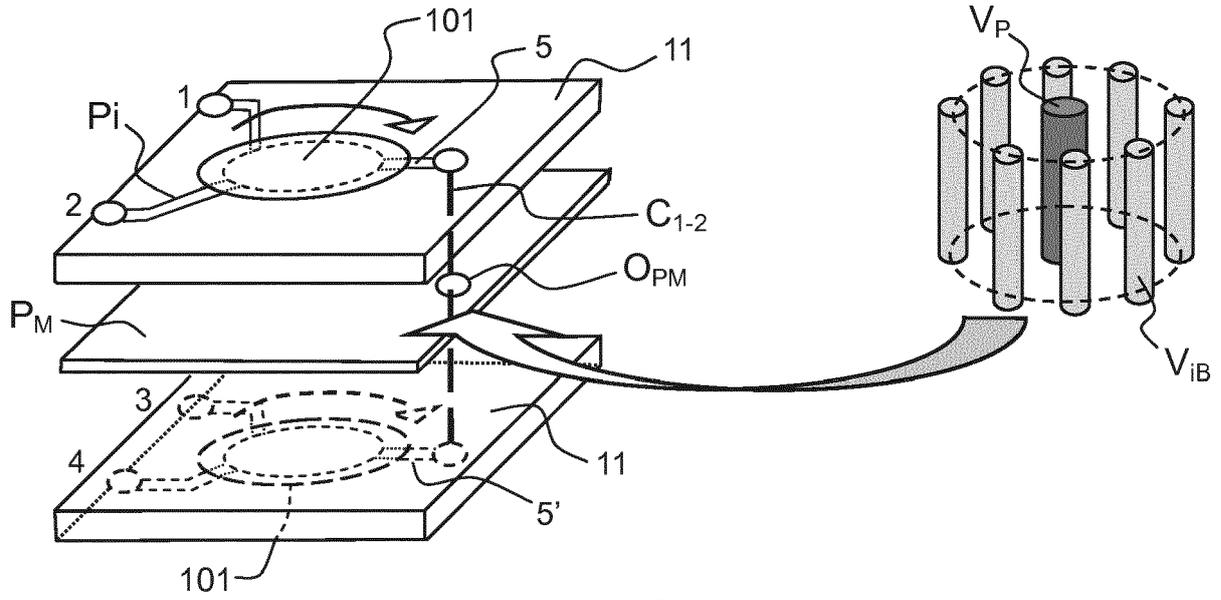


FIG. 7

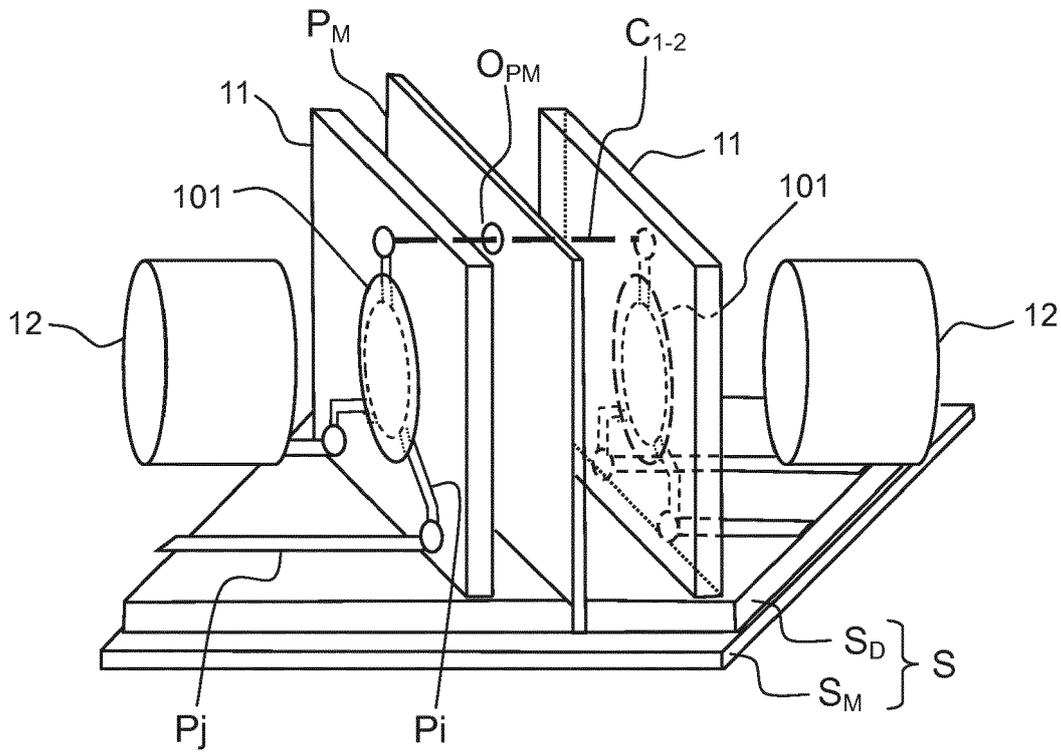


FIG. 8

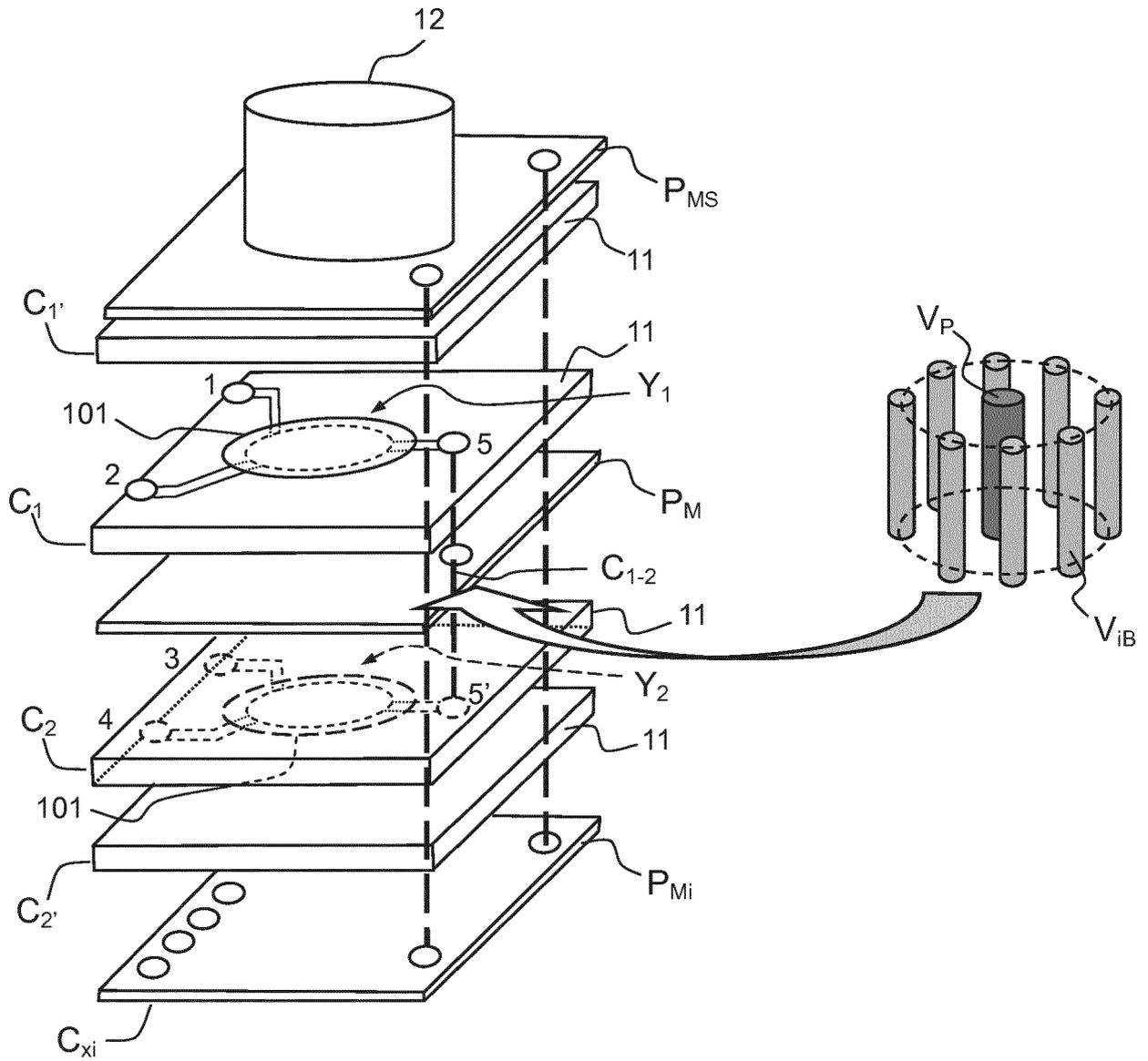


FIG.9

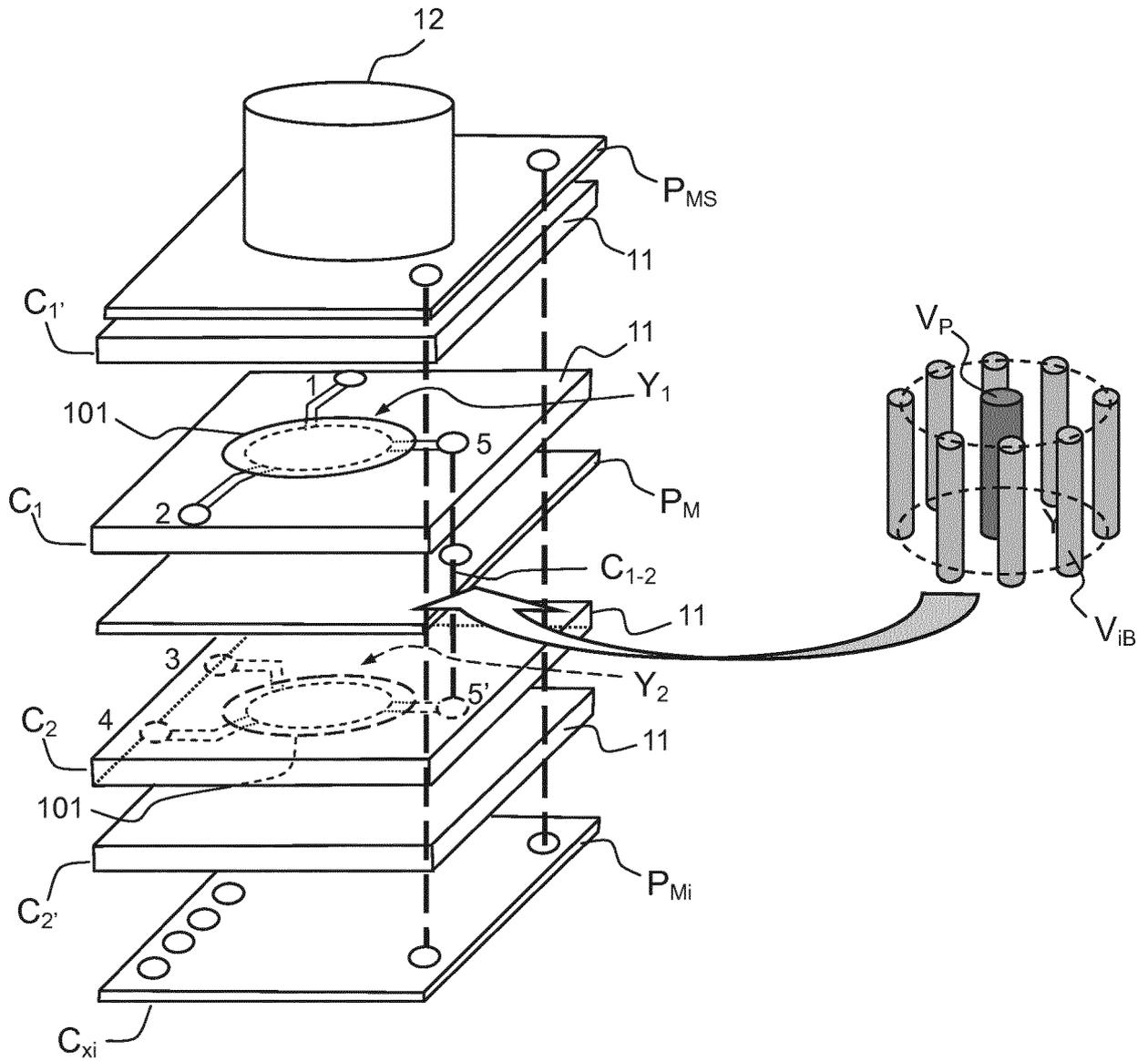


FIG.10



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 17 17 7380

5

10

15

20

25

30

35

40

45

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2002/135434 A1 (EMANUELSSON THOMAS [SE]) 26 septembre 2002 (2002-09-26)	1-5,7,19	INV. H01P1/387
Y	* alinéa [0047] - alinéa [0057]; figures 5, 6 *	6,8-18	
X	DMITRIYEV V A ET AL: "NONRECIPROCAL DEVICES USING FERRITE RING RESONATORS", IEE PROCEEDINGS H. MICROWAVES, ANTENNAS & PROPAGATION, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS. STEVENAGE, GB, vol. 139, no. 3 PART H, 1 juin 1992 (1992-06-01), pages 257-263, XP000315333, ISSN: 0950-107X * Chapitre 2 "Junction configurations"; figures 1, 5, 6 *	1,3,7	ADD. H01P5/02
X	WO 02/099924 A1 (SIEMENS AG [DE]; KALAYCI YUSUF [DE]) 12 décembre 2002 (2002-12-12) * page 6 - page 7; figures 3, 4 *	1,3,7	
Y	WO 2012/042168 A1 (THALES SA [FR]; LEBOURGEOIS RICHARD [FR]; CIBIEN GERARD [FR]) 5 avril 2012 (2012-04-05) * page 1 - page 8 *	8-18	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Y	US 2015/028961 A1 (CARR JAMES A [US] ET AL) 29 janvier 2015 (2015-01-29) * alinéa [0019] - alinéa [0023]; figures 1A-3A *	6	H01P C30B H01F
A	US 3 781 704 A (DE GRUYL J) 25 décembre 1973 (1973-12-25) * colonne 3; figure 2 *	1,12,19	
A	US 2006/226924 A1 (CHEN MING [US] ET AL) 12 octobre 2006 (2006-10-12) * alinéa [0030] - alinéa [0033]; figures 7, 8 *	1,12,19	

1

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

50

Lieu de la recherche La Haye	Date d'achèvement de la recherche 7 novembre 2017	Examineur Hueso González, J
--	---	---------------------------------------

55

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

- X : particulièrement pertinent à lui seul
- Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
- A : arrière-plan technologique
- O : divulgation non-écrite
- P : document intercalaire

- T : théorie ou principe à la base de l'invention
- E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
- D : cité dans la demande
- L : cité pour d'autres raisons
- & : membre de la même famille, document correspondant

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

EP 17 17 7380

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

07-11-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002135434 A1	26-09-2002	AT 463856 T EP 1371109 A1 US 2002135434 A1 WO 02078120 A1	15-04-2010 17-12-2003 26-09-2002 03-10-2002
WO 02099924 A1	12-12-2002	DE 10127359 A1 WO 02099924 A1	12-12-2002 12-12-2002
WO 2012042168 A1	05-04-2012	EP 2622613 A1 FR 2965393 A1 WO 2012042168 A1	07-08-2013 30-03-2012 05-04-2012
US 2015028961 A1	29-01-2015	EP 3025391 A1 US 2015028961 A1 US 2015364809 A1 WO 2015012939 A1	01-06-2016 29-01-2015 17-12-2015 29-01-2015
US 3781704 A	25-12-1973	AUCUN	
US 2006226924 A1	12-10-2006	US 2006226924 A1 US 2008012779 A1	12-10-2006 17-01-2008

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82