

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication : 2 901 062
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : 06 51717

51) Int Cl⁸ : H 01 Q 9/04 (2006.01), H 01 Q 13/18, 21/29

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 12.05.06.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.11.07 Bulletin 07/46.

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

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : *ALCATEL Société anonyme* — FR.

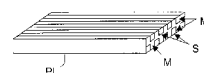
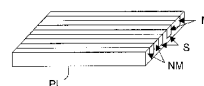
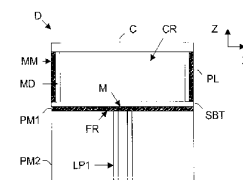
72) Inventeur(s) : LEGAY HERVE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE.

54) DISPOSITIF RAYONNANT A CAVITE(S) RESONNANTE(S) A AIR A FORT RENDEMENT DE SURFACE, POUR UNE ANTENNE RESEAU.

57) Un dispositif (ou élément) rayonnant (D) est dédié à une antenne réseau. Ce dispositif (D) comprend un premier plan de masse (PM1), des moyens d'excitation propres à être alimentés en signaux, et une première cavité résonnante à air placée au-dessus du premier plan de masse (PM1) et agencée, lorsqu'elle est excitée par ces signaux par couplage électromagnétique via les moyens d'excitation, pour rayonner de l'énergie représentative des signaux selon une longueur d'onde choisie. La première cavité résonnante à air est entièrement délimitée latéralement par une paroi (PL) comportant une structuration périodique longitudinale, sensiblement perpendiculaire au premier plan de masse (PM1), d'une profondeur choisie et définissant une haute impédance, et comprend une extrémité opposée au premier plan de masse (PM1) et solidarisée à un capot (C), afin de permettre l'établissement d'un champ électromagnétique en mode TEM présentant une distribution sensiblement uniforme sur l'ouverture.



FR 2 901 062 - A1



DISPOSITIF RAYONNANT À CAVITÉ(S) RÉSONNANTE(S) À AIR À FORT RENDEMENT DE SURFACE, POUR UNE ANTENNE RÉSEAU

5 L'invention concerne le domaine des antennes réseau d'émission et/ou réception, et plus particulièrement les dispositifs (ou éléments) rayonnants qui équipent de telles antennes réseau.

On entend ici par « dispositif rayonnant » une combinaison d'au moins un plan de masse rayonnant, de moyens d'excitation destinés à être
10 alimentés en signaux, et d'une cavité résonnante chargée, lorsqu'elle est excitée par les signaux par couplage électromagnétique via les moyens d'excitation, de rayonner de l'énergie représentative de ces signaux selon une longueur d'onde λ choisie.

Par ailleurs, on entend ici par « antenne réseau » aussi bien les
15 antennes réseau actives à rayonnement direct que les antennes réseau focales, comme par exemple les antennes multifaisceaux à réflecteur (de type FAFR ou passives).

Comme le sait l'homme de l'art, les dispositifs ou éléments rayonnants des antennes réseau doivent présenter l'une au moins des
20 caractéristiques suivantes : une forte efficacité de surface et/ou un faible encombrement et une faible masse et/ou la capacité à être excité de manière compacte en simple ou bi-polarisation et/ou la capacité à intégrer des équipements actifs le plus près possible du plan rayonnant et/ou une bande passante compatible avec l'application visée.

25 La caractéristique de forte efficacité de surface est particulièrement importante du fait qu'elle permet d'optimiser le gain et de réduire les niveaux des lobes secondaires et des lobes de réseau. Or, comme cela est expliqué ci-après, cette caractéristique est difficilement compatible avec certaines des autres caractéristiques, et notamment celles de compacité et d'intégration,
30 quelle que soit la bande de fréquence concernée.

Dans les bandes de fréquence basses, comme par exemple la bande L ou S, les éléments rayonnants doivent être impérativement compacts et

légers, ce qui interdit l'utilisation de cornets et impose l'utilisation de sous-réseaux, par exemple planaires dans le cas d'applications spatiales.

Un premier type de sous-réseau planaire consiste en des éléments rayonnants de type pavé (ou « patch ») reliés par un répartiteur triplaqué. Ce répartiteur est relativement complexe et permet difficilement de réaliser un sous-réseau permettant la bi-polarisation, voire un fonctionnement bi-bande.

Un second type de sous-réseau (notamment décrit dans le document brevet FR 9710842) consiste en la combinaison d'un résonateur excitateur de type pavé et de pavés parasites qui constituent des éléments rayonnants connus sous l'acronyme ERDV (pour « Élément Rayonnant à Directivité Variable »)). Ce second type permet de s'affranchir du répartiteur, et donc de simplifier notablement sa définition, ainsi que de repolariser en circulaire les champs lorsque les pavés (ou « patches ») sont chanfreinés et que la polarisation est circulaire. Mais, sa mise en œuvre pour des ouvertures supérieures à $1,5 \lambda$ (λ – longueur d'onde centrale de fonctionnement) est complexe. Ce concept repose en outre sur une technologie de type microruban qui peut limiter la puissance.

Une simplification aux sous-réseaux du second type a été proposée. Elle consiste à remplacer, d'une part, les pavés parasites par une grille métallique réalisant une interface semi-réfléchissante facilitant l'établissement du champ électromagnétique dans la cavité, et d'autre part, le pavé excitateur par un excitateur guidé, de manière à définir une cavité de type Fabry-Pérot (comme dans le cas d'un ERDV). L'élément rayonnant est alors entièrement métallique, compatible avec des applications requérant une forte puissance, beaucoup plus simple à définir qu'un élément ERDV classique, et permet d'atteindre des ouvertures rayonnantes plus importantes qu'un élément ERDV classique. Hélas, cela requiert des parois métalliques qui induisent une distribution non uniforme du champ dans la cavité métallique. Certes, l'utilisation de grilles à pas variable permet d'améliorer la distribution du champ en provoquant une réflexion plus importante au centre qu'en périphérie, mais alors la structure complète devient très difficile à adapter.

Dans les bandes de fréquence plus élevées, comme par exemple la bande Ku ou Ka, il faut pouvoir intégrer des dispositifs d'excitation dans

l'encombrement disponible et des éléments actifs au plus près de l'élément rayonnant pour en réduire les pertes. L'encombrement longitudinal disponible permet généralement d'utiliser des cornets à forte efficacité. Cependant, ces cornets permettent difficilement d'intégrer dans la maille du réseau des dispositifs en guide générant des polarisations orthogonales, communément appelés OMT (« Ortho mode Transducer »). En outre, ces cornets nécessitent des transitions complexes et dissipatives (guide microruban) pour l'intégration des circuits actifs dans la maille. De plus, l'encombrement du réseau focal devient significatif en cas de fonctionnement en bande Ka.

10 Pour remédier au moins partiellement à ces inconvénients, une nouvelle technique d'alimentation des éléments rayonnants a été proposée dans le document brevet FR 0450284. Cette technique consiste à alimenter les éléments rayonnants par couplage électromagnétique avec l'extrémité d'une ligne coplanaire orthogonale. Cette technique est particulièrement utile dans le cas des fréquences supérieures à celles de la bande Ku. Ainsi, elle permet de réduire la masse et l'encombrement des réseaux focaux d'un facteur supérieur à 5 dans la bande Ka.

Cependant, cette technique portant sur l'optimisation de l'excitation des éléments rayonnants, elle ne concerne pas l'optimisation du rayonnement. Les éléments rayonnants proposés sont de type planaire. Il s'agit plus précisément de résonateurs diélectriques qui offrent une large bande passante, mais dont le diagramme de rayonnement présente une faible directivité (typiquement 6 dBi), alors que les réseaux focaux nécessitent typiquement une directivité d'environ 11 dBi (ce qui correspond à une taille typique d'élément rayonnant de l'ordre de 1,2 λ) – la directivité dépend en fait de la focale). Pour atteindre la directivité voulue, les résonateurs diélectriques doivent donc exciter des cornets dont il est nécessaire de limiter l'encombrement.

Il est certes possible de remplacer les résonateurs diélectriques par des résonateurs à air beaucoup plus grands (typiquement 0,9 λ), comme par exemple ceux décrits dans le document brevet FR 2866480. Mais, le rayonnement de ces résonateurs à air n'est pas optimal du fait de contributions en opposition de phase, des champs électromagnétiques dans

leurs parois diélectriques et dans leur cavité contenant l'air, qui altèrent le rendement de surface.

Aucune solution connue n'apportant une entière satisfaction, l'invention a donc pour but d'améliorer la situation.

5 Elle propose à cet effet un dispositif (ou élément) rayonnant destiné à faire partie d'une antenne réseau et comprenant un premier plan de masse, des moyens d'excitation propres à être alimentés en signaux, et une première cavité résonnante à air placée au-dessus du premier plan de masse (PM1) et chargée, lorsqu'elle est excitée par ces signaux par couplage
10 électromagnétique via les moyens d'excitation, de rayonner de l'énergie représentative des signaux selon une longueur d'onde choisie.

Ce dispositif rayonnant se caractérise par le fait que sa première cavité résonnante à air, d'une part, est entièrement délimitée latéralement par une paroi comportant une structuration périodique longitudinale, sensiblement
15 perpendiculaire au premier plan de masse, d'une profondeur choisie et définissant une haute impédance, et d'autre part, comprend une extrémité opposée au premier plan de masse et solidarisée à un capot, de manière à permettre l'établissement d'un champ électromagnétique en mode TEM (c'est-à-dire transverse) présentant une distribution sensiblement uniforme sur
20 l'ouverture.

Le dispositif (ou élément) rayonnant selon l'invention peut comporter d'autres caractéristiques qui peuvent être prises séparément ou en combinaison, et notamment :

- sa paroi peut être réalisée dans un matériau métallique dans lequel sont
25 formés des sillons longitudinaux qui délimitent par paires des nervures longitudinales. Les sillons sont au moins partiellement remplis d'un matériau diélectrique. par ailleurs, les sillons remplis d'un matériau diélectrique et les nervures définissent la structuration longitudinale périodique ;
- 30 ➤ les sillons peuvent par exemple présenter une profondeur sensiblement égale au quart de la longueur d'onde des signaux qui sont guidés dans le matériau diélectrique ;
- dans une variante, sa paroi peut être réalisée dans un matériau

- diélectrique dans lequel sont formés des sillons longitudinaux qui délimitent par paires des nervures longitudinales. Les sillons sont au moins partiellement remplis d'un matériau métallique. Par ailleurs, les sillons remplis d'un matériau métallique et les nervures définissent la structuration longitudinale périodique ;
- 5
- ces sillons et nervures peuvent par exemple être formés sur des faces opposées de la paroi, en des positions complémentaires entre-elles ;
- sa première cavité résonnante à air peut présenter une section transverse (c'est-à-dire parallèle au premier plan de masse) de forme carrée ou
- 10 circulaire ou encore hexagonale ;
- le capot peut par exemple être réalisé dans un matériau diélectrique ;
- ce matériau diélectrique peut par exemple comprendre une face dans laquelle est formée une grille métallique constituant une surface semi réfléchissante permettant d'augmenter l'excitation de la première cavité
- 15 résonnante à air par les signaux ;
- en variante, le matériau diélectrique peut par exemple comprendre une face dans laquelle est formé un pavé métallique (ou patch) ou un réseau de pavés métalliques) afin d'induire une résonance complémentaire de celle de la première cavité résonnante à air ;
- 20 - en variante, le capot peut par exemple être réalisé dans un matériau métallique dans lequel est formée une grille métallique constituant une surface semi réfléchissante permettant d'augmenter l'excitation de la première cavité résonnante à air par les signaux ;
- la grille peut par exemple présenter un pas variable dans au moins une
- 25 direction choisie ;
- la longueur d'onde choisie est égale à deux fois la distance entre le capot et le premier plan de masse ;
- il peut comprendre un second plan de masse sensiblement perpendiculaire au premier plan de masse et comportant au moins une ligne d'alimentation principale à champ électrique de surface comprenant une première
- 30 extrémité propre à alimenter orthogonalement les moyens d'excitation ;
- en variante, le premier plan de masse peut comprendre au moins une ligne

d'alimentation principale comportant une première extrémité propre à alimenter les moyens d'excitation ;

- la ligne d'alimentation principale est par exemple choisie parmi une ligne coplanaire, une ligne microruban et une ligne à fente ;
- 5 - les moyens d'excitation peuvent par exemple comporter une fente de couplage de forme choisie et chargée d'assurer le couplage entre la première extrémité de la ligne d'alimentation principale et la première cavité résonnante à air ;
- dans une variante, les moyens d'excitation peuvent être agencés sous la
10 forme d'une sonde (ou « probe ») chargée d'assurer le couplage entre la première extrémité de la ligne d'alimentation principale et la première cavité résonnante à air ou constituant le prolongement de l'âme centrale d'un connecteur ;
- il peut comprendre au moins une seconde cavité résonnante à air de
15 constitution sensiblement identique à celle de la première cavité résonnante à air, mais de dimension dans une direction perpendiculaire à la direction longitudinale supérieure à celle de la première. Cette seconde cavité résonnante à air comprend alors une première extrémité solidarisée à un capot (du même type que celui de la première cavité résonnante à air)
20 et une seconde extrémité opposée à la première et solidarisée à un premier plan de masse dans lequel est ménagée une ouverture propre à loger le capot de la première cavité résonnante à air ;
- l'une au moins des première et seconde cavités résonnantes à air peut
25 loger un résonateur diélectrique de manière à augmenter son excitation par les signaux ;
- une partie au moins de la paroi latérale peut être commune avec un autre dispositif voisin.

L'invention propose également une antenne réseau équipée d'au moins un dispositif rayonnant du type de celui présenté ci-avant.

30 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale dans le plan ZX, un premier exemple de réalisation d'un dispositif (ou élément) rayonnant selon l'invention,
- la figure 2 illustre de façon schématique, dans une vue en perspective (à plat), un premier exemple de réalisation d'une paroi longitudinale d'un
5 dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 3 illustre de façon schématique, dans une vue en perspective (à plat), un deuxième exemple de réalisation d'une paroi longitudinale d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- 10 - la figure 4 illustre de façon schématique un troisième exemple de réalisation d'une partie d'une paroi longitudinale d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 5 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale dans le plan ZX, un deuxième exemple de réalisation d'un
15 dispositif (ou élément) rayonnant selon l'invention,
- la figure 6 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale dans le plan ZX, un troisième exemple de réalisation d'un dispositif (ou élément) rayonnant selon l'invention,
- la figure 7 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe
20 transversale dans le plan ZX, un quatrième exemple de réalisation d'un dispositif (ou élément) rayonnant selon l'invention,
- la figure 8 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'un premier exemple de réalisation de moyens d'excitation d'un dispositif rayonnant selon l'invention, adapté à une alimentation orthogonale du type de celle illustrée
25 sur la figure 1, et
- la figure 9 est une vue en perspective schématique d'un second exemple de réalisation de moyens d'excitation d'un dispositif rayonnant selon l'invention, adapté à une alimentation parallèle.

Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter
30 l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

L'invention a pour objet de permettre la réalisation de dispositifs (ou éléments) rayonnants à forte efficacité (ou fort rendement) de surface.

De tels dispositifs rayonnants sont destinés à faire partie d'une antenne réseau, par exemple de type antenne réseau focale, telle qu'une antenne multifaisceau à réflecteur (de type FAFR ou passive), ou de type antenne réseau (active) à rayonnement direct.

5 On se réfère tout d'abord aux figures 1 à 5 pour décrire un premier exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant D selon l'invention.

Un dispositif rayonnant D, selon l'invention, comprend tout d'abord un premier plan de masse PM1, placé dans un plan XY (perpendiculaire à un plan ZX), et comportant des moyens d'excitation MC propres à être alimentés
10 en signaux et sur lesquels on reviendra plus loin.

Comme cela est illustré sur la figure 1, le premier plan de masse PM1 peut par exemple être formé par métallisation de la face « inférieure » d'un substrat dit « tampon » SBT. Cela est notamment avantageux lorsque l'on excite un résonateur diélectrique à très forte permittivité. Par exemple, on peut
15 utiliser un substrat tampon SBT en Duroïd 5880 présentant une permittivité ϵ_r égale à environ 2,2.

Le dispositif rayonnant D comprend également une première cavité résonnante à air CR1 placée sur la face « supérieure » du substrat SBT (opposée au premier plan de masse PM1). Cette première cavité résonnante
20 à air CR1 est chargée de rayonner de l'énergie représentative de signaux, selon une longueur d'onde λ choisie, lorsqu'elle est excitée par ces signaux au moyen d'un couplage électromagnétique via les moyens d'excitation MC.

Cette première cavité résonnante à air CR1 comprend au moins deux caractéristiques : elle est entièrement délimitée latéralement (c'est-à-dire sur
25 chacune de ses faces latérales perpendiculaires au premier plan de masse PM1) par une paroi latérale PL et solidarisée à un capot C.

On notera que la première cavité résonnante à air CR1 présente une section transverse (parallèle au premier plan de masse PM1 et donc au plan XY) de préférence de forme carrée ou circulaire ou encore hexagonale (mais
30 d'une manière générale toute forme s'accommodant bien en réseau).

La paroi latérale PL, qui entoure intégralement la première cavité résonnante CR1, comprend une structuration périodique longitudinale, c'est-à-dire suivant l'axe Z et donc sensiblement perpendiculaire au premier plan

de masse PM1, qui définit une haute impédance.

Sur la figure 2, se trouve schématiquement illustré un premier exemple de paroi latérale PL dans une position à plat (et donc différente de sa position réelle). Ici, la paroi latérale PL est réalisée dans un matériau métallique MM. Dans cet exemple, on définit dans le matériau métallique MM, par exemple par gravure, des sillons S longitudinaux (suivant Z) qui délimitent par paires des nervures longitudinales métalliques NM. Les sillons S sont au moins partiellement remplis d'un matériau diélectrique MD, si bien que la structuration est constituée d'une alternance périodique de nervures métalliques NM reliées les unes aux autres et de lignes diélectriques indépendantes les unes des autres.

Cette paroi à structuration longitudinale hybride (métallique/diélectrique) est connue sous l'expression anglaise « hard surface ». Elle a notamment été conçue de manière à compenser des différences de conditions aux limites pour des champs électrique et magnétique. Elle est notamment décrite dans le document de Z. Sipus, H. Merkel, and P.-S. Kildal, "Green's functions for planar soft and hard surfaces derived by asymptotic boundary conditions," Proc. Inst. Elect. Eng. Microwave Antennas Propagation, vol. 144, n°5, pages 321–328, Oct. 1997, et dans le document de S. Skobelev and P.-S. Kildal, "Analysis of Conical Quasi-TEM Horn With a Hard Corrugated Section", IEEE Trans on Antennas and propagation, vol. 51, N°10, October 2003, pages 2723-2731.

Sur la figure 3, on a représenté schématiquement un deuxième exemple de réalisation d'une partie d'une paroi latérale PL dans une position à plat (et donc différente de sa position réelle). Dans ce deuxième exemple, la paroi latérale PL est réalisée dans un matériau diélectrique MD dans lequel ont été définis des nervures (diélectriques) longitudinales (suivant Z) ND et des sillons longitudinaux S, par exemple par gravure. Les sillons S sont au moins partiellement remplis d'un matériau métallique MM, si bien que la structuration est constituée d'une alternance périodique de nervures diélectriques ND et de lignes métalliques indépendantes les unes des autres.

Comme cela est illustré sur la figure 3, les sillons S (et donc les lignes métalliques) et les nervures ND sont par exemple formés sur les deux faces

opposées de la paroi latérale PL, en des positions complémentaires entre-elles, c'est-à-dire alternées. Les nervures ND de la première face sont donc décalées par rapport à celles de la seconde face opposée. De même, les lignes métalliques (ou sillons S) de la première face sont décalées par rapport
5 à celles de la seconde face opposée.

De nombreuses variantes peuvent être envisagées. Ainsi, on peut utiliser une paroi diélectrique constituée d'un plan de masse sur une face duquel sont définies des lignes conductrices fines qui définissent des « pseudo-corrugations ».

10 On peut également utiliser une couche diélectrique comportant deux faces opposées sur lesquelles sont définies des lignes conductrices fines définissant des « pseudo-corrugations » et complémentaires deux à deux (c'est-à-dire qu'une ligne définie sur une face est intercalée entre deux lignes définies sur l'autre face).

15 On peut également utiliser un plan de masse comportant deux faces opposées auxquelles sont solidarisées deux couches diélectriques comprenant une face « libre » sur laquelle sont définies des lignes conductrices fines continues.

20 On peut également utiliser une plaque métallique conformée de manière à définir des corrugations longitudinales définissant une alternance de sillons et de nervures. Dans ce cas, les sillons peuvent être éventuellement remplis d'un matériau diélectrique. La paroi latérale ainsi constituée peut être éventuellement utilisée par deux dispositifs voisins constituant deux sources voisines.

25 On peut également utiliser un plan de masse comportant deux faces opposées auxquelles sont solidarisées deux couches diélectriques sur chacune desquelles sont définis, en des positions identiques deux à deux, des rectangles métalliques définissant des dipôles éventuellement réunis deux à deux par une traversée conductrice (ou « via hole »), plusieurs
30 rectangles de chaque couche diélectrique étant placés les uns à la suite des autres de manière à définir des lignes longitudinales. Cela permet de créer un alignement de motifs présentant dans une direction des propriétés similaires à celles présentées par une surface périodique dite « de Sievenpiper », décrite

notamment dans le document de D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. Jimenez Broas, N. G. Alexopolous et E. Yablonovitch, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, no. 11, pp. 2059–2074, Nov. 1999.

5 On peut également utiliser, comme cela est schématiquement et partiellement illustré sur la figure 4, une couche diélectrique CD comprenant au moins une face solidarisée à un plan de masse PM dans lequel sont définies des fentes F en forme de i majuscule, alignées les unes à la suite des autres suivant des axes longitudinaux parallèles entre eux. Les fentes F en i majuscule d'une ligne pouvant être décalées par rapport à celles des lignes qui l'encadrent de manière à optimiser le nombre de lignes. En variante, on peut définir sur une face de la couche diélectrique des dipôles métalliques en forme de i majuscule. De tels dipôles ou fentes F présentent dans une direction des propriétés analogues à celles des surfaces dites UC-PBG, notamment décrites dans le document de Fei-Ran Yang, Kuang-Ping Ma, Yongxi Qian et Itoh T. Page : 11

10 [0] « A uniplanar compact photonic-bandgap (UC-PBG) structure and its applications for microwave circuit », Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on Volume 47, Issue 8, Aug. 1999 Page(s):1509 – 1514.

20 Lorsque l'on utilise des fentes F, chaque fente F comprend une partie centrale longitudinale constituant une section capacitive, et deux parties d'extrémité perpendiculaires à la partie centrale et constituant des sections inductives. Lorsque l'on utilise des dipôles, chaque dipôle comprend une partie centrale longitudinale constituant une section inductive, et deux parties d'extrémité perpendiculaires à la partie centrale et constituant des sections capacitives.

25

En délimitant le périmètre (latéral) de la première cavité résonnante à air CR1 au moyen d'une paroi latérale PL comportant la structuration périodique longitudinale, on permet l'établissement à l'intérieur de cette première cavité résonnante à air d'un champ électromagnétique en mode TEM (c'est-à-dire transverse (parallèle au plan XY)) présentant une distribution sensiblement uniforme sur l'ouverture du dispositif rayonnant D. Il n'y a donc ni résonance latérale ni condition spécifique requise concernant la dimension de la section droite (suivant le plan ZX) de la cavité CR1. La

30

fréquence de résonance de la cavité CR1 est alors fixée par la dimension de la paroi latérale PL suivant l'axe Z. On notera que la profondeur choisie des nervures de la structuration longitudinale influe sur l'intensité du champ électromagnétique qui est généré par l'excitation à l'intérieur de la première
5 cavité résonnante à air CR1 dans le plan parallèle au plan XY. Une intensité maximale est obtenue lorsque la profondeur des nervures est sensiblement égale au quart de la longueur d'onde λ_g des signaux qui sont guidés dans le matériau diélectrique (soit $\lambda_g/4$).

On notera également qu'il faut veiller à ne pas exciter les modes de
10 propagation supérieurs qui dépendent des moyens d'excitation utilisés et des dimensions de la première cavité résonnante à air CR1.

Le capot C est solidarisé à la paroi latérale PL au niveau de son extrémité qui est opposée à celle qui est placée sur la face supérieure du substrat SBT (opposée au premier plan de masse PM1).

15 Comme indiqué ci-avant, la fréquence de résonance de la cavité CR1 dépend de la distance entre le capot C et le premier plan de masse PM1. Elle correspond plus précisément à une longueur d'onde de fonctionnement λ égale à deux fois la distance entre le capot C et le premier plan de masse PM1.

20 Le capot C peut être réalisé de différentes façons.

Par exemple, il peut être intégralement réalisé dans un matériau diélectrique.

Dans une première variante, illustrée sur la figure 5, le capot diélectrique C peut par exemple comprendre une face « supérieure » dans
25 (ou sur) laquelle est formée une grille métallique G du type de celles qui sont utilisées dans certains dispositifs précités de l'art antérieur pour définir une cavité Fabry-Pérot. Cette grille métallique G constitue une surface semi réfléchissante destinée à augmenter l'excitation de la première cavité résonnante à air CR1 par les signaux. Cette grille métallique G peut
30 éventuellement présenter un pas variable dans au moins une direction choisie de manière à augmenter l'efficacité de surface du dispositif rayonnant D.

Dans une deuxième variante (non illustrée), le capot diélectrique C

peut par exemple comprendre une face dans (ou sur) laquelle est formé un pavé métallique (patch) ou un réseau de pavés métalliques, par exemple de type ERDV, destiné à induire une résonance complémentaire de celle de la première cavité résonnante à air CR1.

5 On notera que l'on peut utiliser des pavés (de type^[0] ERDV) dits « à rotation séquentielle », qui permettent de reformer le rayonnement en polarisation circulaire.

Dans une troisième variante (non illustrée), le capot C peut être intégralement réalisé dans un matériau métallique. Plus précisément, il est
10 agencé sous la forme d'une grille métallique G du type de celle décrite ci-avant en référence à la figure 5. Cette grille métallique G constitue donc également une surface semi réfléchissante destinée à augmenter l'excitation de la première cavité résonnante à air CR1 par les signaux, et peut éventuellement présenter un pas variable dans au moins une direction
15 choisie de manière à augmenter l'efficacité de surface du dispositif rayonnant D.

Dans les exemples de réalisation décrits ci-avant, notamment en référence aux figures 1 et 5, la première cavité résonnante à air CR1 est vide. Mais, cela n'est pas obligatoire. On peut en effet envisager que la première
20 cavité résonnante à air CR1 loge un résonateur diélectrique RD comme illustré sur la figure 6. Un tel résonateur diélectrique RD est destiné à exciter la première cavité (supérieure) CR1. En effet, plus la première cavité (supérieure) CR1 est grande, plus elle est difficile à exciter par couplage direct. On notera que ce résonateur diélectrique RD peut être implanté dans
25 la cavité CR1 quel que soit le mode de réalisation de son capot C (diélectrique avec ou sans grille métallique ou pavé métallique, ou bien grille métallique).

Par ailleurs, et comme cela est schématiquement illustré sur la figure 7, un dispositif rayonnant D selon l'invention peut comporter deux cavités résonnantes à air CR1 et CR2 mises en cascade. Cette mise en cascade est
30 destinée, d'une part, à exciter la première cavité CR1 de manière à la coupler efficacement à la ligne d'alimentation, et d'autre part, à filtrer les modes supérieurs qui seraient excités dans la première cavité (supérieure) CR1 en cas d'excitation directe.

Pour réaliser cette mise en cascade, on place à la suite de la première cavité résonnante à air CR1 au moins une seconde cavité résonnante à air CR2 présentant sensiblement la même constitution (hormis les moyens d'excitation MC qui sont omis), mais une section transverse (dans le plan XY) supérieure à celle de la première CR1.

Cette seconde cavité résonnante à air CR2 comprend donc également une paroi latérale PL' solidarisée par ses deux extrémités opposées à un premier plan de masse PM1' (en fait à un substrat SBT' sur la face inférieure duquel est formé un premier plan de masse PM1') et un capot C'. Le capot C' et la paroi latérale PL' peuvent être réalisés selon l'un quelconque des modes de réalisation respectifs du capot C et de la paroi latérale PL de la première cavité résonnante à air CR1, décrits ci-avant. Ainsi, dans l'exemple illustré sur la figure 7 les capots C et C' comportent une grille métallique G ou G'. Mais cela n'est qu'un exemple de réalisation illustratif et non limitatif.

Ici, le substrat SBT' et le premier plan de masse PM1' comportent une ouverture traversante O propre à loger le capot C de la première cavité résonnante à air CR1.

Ce mode de réalisation à cavités résonnantes en cascade permet de mieux maîtriser le rayonnement dans le cas d'ouvertures plus larges, tout en minimisant l'excitation de modes de propagation supérieurs. Dans ce mode de réalisation l'une au moins des première CR1 et seconde CR2 cavités résonnantes à air peut loger un résonateur diélectrique RD du type de celui décrit ci-avant en référence à la figure 6.

On va maintenant décrire des moyens d'excitation pouvant être utilisés dans un dispositif rayonnant D selon l'invention.

Au moins deux familles de moyens d'excitation peuvent être utilisés. Un exemple de chacune de ces deux familles est décrit ci-après.

La première famille concerne les moyens d'excitation MC alimentés de façon orthogonale.

Dans ce cas et comme cela est illustré sur la figure 1, le dispositif rayonnant D comprend un second plan de masse PM2 sensiblement perpendiculaire au premier plan de masse PM1 et comportant au moins une

ligne d'alimentation principale LP1 à champ électrique de surface.

On entend ici par « ligne d'alimentation à champ électrique de surface » soit une ligne coplanaire, soit une ligne à fente (ou microfente).

Chaque ligne d'alimentation principale LP1 comprend une première
5 extrémité chargée d'alimenter orthogonalement les moyens d'excitation MC
formés dans le premier plan de masse PM1.

Le conducteur central d'une ligne d'alimentation principale LP1 est
séparé du reste du premier plan de masse PM1 (dans lequel il est défini) par
des fentes (ou zones dépourvues de métallisation).

10 Par ailleurs, chaque ligne d'alimentation principale LP1 est destinée à
être raccordée à des équipements d'antenne, comme par exemple une puce
amplificatrice, telle qu'un MMIC (comportant éventuellement un amplificateur
à faible bruit (ou LNA) ou un amplificateur de puissance (ou HPA), ou une
cellule déphaseuse.

15 Le premier plan de masse PM1 est de préférence raccordé
électriquement au second plan de masse PM2 au moins près de la ligne
d'alimentation principale LP1, et comporte des moyens d'excitation MC, se
présentant par exemple sous la forme d'au moins une fente de forme choisie,
et alimentés orthogonalement par la première extrémité de chaque ligne
20 d'alimentation principale LP1. On entend ici par « alimenté orthogonalement »
le fait que le champ électrique arrive dans un plan perpendiculaire au premier
plan de masse PM1.

Le second plan de masse PM2 est préférentiellement formé par
métallisation de la face « avant » d'un substrat tampon (non représenté sur
25 les figures et assimilé à son plan de masse PM2).

Par exemple, et comme illustré sur la figure 8, les moyens d'excitation
MC peuvent comporter une fente de couplage FR de forme générale
rectangulaire, mais interrompue dans sa partie centrale par une portion (en
forme de T) du premier plan de masse PM1.

30 La fente de couplage FR est préférentiellement positionnée au centre
de la première cavité résonnante à air CR1 afin d'obtenir un couplage
maximum et de minimiser les modes supérieurs dans ladite première cavité
résonnante à air CR1.

Ici, les grands côtés de la fente de couplage FR s'étendent suivant la direction X, tandis que ses petits côtés s'étendent suivant la direction Y. Le second plan de masse PM2 étant installé dans le plan XZ, l'extrémité supérieure de sa ligne d'alimentation principale LP1 (illustrée sur la figure 1) débouche donc parallèlement à l'un des grands côtés.

Cet exemple de réalisation correspond à un couplage de type dipolaire électrique (ou « T match ») entre l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP1 et la première cavité résonnante à air CR1, du fait que la partie conductrice du premier plan de masse PM1 demeure présente dans la majeure partie de la fente de couplage FR. En variante, on peut utiliser un dipôle de type évasé. Par ailleurs, on peut également utiliser une fente de couplage FR dont la largeur n'est pas égale à G_S (et constitue de ce fait un paramètre d'adaptation complémentaire).

L'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP1 peut déboucher au niveau de la fente de couplage FR, mais cela n'est pas optimal. Il est donc préférable, comme illustré sur la figure 8, que la fente de couplage FR soit prolongée par deux adaptateurs d'impédance ST (ou « stub ») parallèles entre eux. Ces deux stubs ST constituent des fentes rectangulaires qui prolongent perpendiculairement l'un des grands côtés de la fente de couplage FR. Préférentiellement, la prolongation se fait sur une longueur égale à $\lambda/4$. En présence de stubs ST, on positionne le second plan de masse PM2 de sorte que l'extrémité supérieure de sa ligne d'alimentation principale LP1 soit placée en dessous des stubs ST, au niveau de leurs parties assurant la liaison avec le grand côté de la fente de couplage FR.

L'espacement W_C entre les deux stubs ST, qui est égal à la largeur du conducteur central de la ligne d'alimentation principale LP1, est par exemple choisi égal à environ 0,5 mm. Par ailleurs, la largeur G_S des stubs ST, qui est sensiblement égale à la largeur des fentes de la ligne d'alimentation principale LP1, est par exemple choisie égale à environ 0,23 mm. En outre, la longueur L_S des stubs ST suivant la direction Y est par exemple choisie égale à environ 2,2 mm. Enfin, la longueur L (suivant la direction X) et la largeur I (suivant la direction Y) de la fente de couplage FR sont par exemple respectivement égales à environ 5,2 mm et 0,4 mm.

On peut noter que la bande passante peut être augmentée lorsque l'on augmente légèrement la longueur L_S des stubs ST, en raison d'un effet de résonance au niveau de la fente de couplage FR.

Cette première famille comprend de nombreux autres moyens
5 d'excitation qui se trouvent notamment décrits (comme ceux présentés ci-avant) dans le document brevet FR 0450284. Ainsi, au lieu d'un couplage de type dipolaire électrique entre l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP1 et la première cavité résonnante à air CR1, le couplage peut être de type inductif ou capacitif (lorsque la fente de couplage FR n'est plus
10 interrompue dans sa partie centrale par une portion du second plan de masse PM2).

La seconde famille concerne les moyens d'excitation alimentés de façon parallèle, c'est-à-dire dans leur plan (XY).

Dans ce cas et comme cela est illustré sur la figure 9, chaque ligne
15 d'alimentation principale LP1 est définie dans le premier plan de masse PM1, suivant la direction Y (par exemple). Chaque ligne d'alimentation principale LP1 peut par exemple constituer une ligne coplanaire ou une ligne à fente.

Les moyens d'excitation MC sont réalisés sous la forme d'une fente de couplage FR, par exemple de forme générale rectangulaire (le grand côté
20 étant sensiblement parallèle à la direction X). Cette fente de couplage FR est formée dans le substrat SBT au-dessus de la première extrémité de la ligne d'alimentation principale LP1. Cette fente de couplage FR est alors chargée d'assurer le couplage entre la première extrémité de la ligne d'alimentation principale LP1 et la première cavité résonnante à air CR1.

25 Comme dans le cas de la première famille, l'exemple illustré sur la figure 8 peut faire l'objet de nombreuses variantes connues de l'homme de l'art.

On notera que l'on peut utiliser d'autres types de moyens d'excitation que ceux décrits dans ce qui précède. Ainsi, les moyens d'excitation peuvent
30 se présenter sous la forme d'une sonde (ou « probe ») chargée d'assurer le couplage entre la première extrémité de la ligne d'alimentation principale et la première cavité résonnante à air, ou bien constituant le prolongement de l'âme centrale d'un connecteur.

On notera par ailleurs, qu'un même capot C peut être partagé par plusieurs (au moins deux) dispositifs D voisins. De même, une paroi latérale PL ou une partie de la paroi latérale PL peut être commune à deux dispositifs D voisins.

- 5 L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de dispositif (ou élément) rayonnant et d'antenne réseau décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

REVENDICATIONS

1. Dispositif rayonnant (D) pour une antenne réseau, comprenant un premier plan de masse (PM1), des moyens d'excitation (MC) propres à être alimentés en signaux, et une première cavité résonnante à air (CR1) placée au-dessus dudit premier plan de masse (PM1) et agencée, en cas d'excitation par lesdits signaux par couplage électromagnétique via lesdits moyens d'excitation (MC), pour rayonner de l'énergie représentative desdits signaux selon une longueur d'onde choisie, caractérisé en ce que ladite première cavité résonnante à air (CR1) i) est entièrement délimitée latéralement par une paroi (PL) comportant une structuration périodique longitudinale, sensiblement perpendiculaire audit premier plan de masse (PM1), d'une profondeur choisie et définissant une haute impédance, et ii) comprend une extrémité opposée audit premier plan de masse (PM1) et solidarisée à un capot (C), de manière à permettre l'établissement d'un champ électromagnétique en mode TEM présentant une distribution sensiblement uniforme sur l'ouverture.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite paroi (PL) est réalisée dans un matériau métallique (MM) dans lequel sont formés des sillons longitudinaux (S) délimitant par paires des nervures longitudinales (NM), lesdits sillons (S) étant au moins partiellement remplis d'un matériau diélectrique (MD), et lesdits sillons (S) remplis d'un matériau diélectrique (MD) et lesdites nervures (NM) définissant ladite structuration longitudinale périodique.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits sillons (S) présentent une profondeur sensiblement égale au quart de la longueur d'onde des signaux guidés dans ledit matériau diélectrique (MD).

4. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite paroi (PL) est réalisée dans un matériau diélectrique (MD) dans lequel sont formés des sillons longitudinaux (S) délimitant par paires des nervures longitudinales (ND), lesdits sillons (S) étant au moins partiellement remplis d'un matériau métallique (MM), et lesdits sillons (S) remplis d'un matériau métallique (MM) et lesdites nervures (ND) définissant ladite structuration longitudinale périodique.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits sillons (S) et nervures (ND) sont formés sur des faces opposées de ladite paroi (PL), en des positions complémentaires entre elles.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ladite première cavité résonnante à air (CR1) présente une section transverse, parallèle audit premier plan de masse (PM1), de forme choisie dans un groupe comprenant une forme carrée, une forme circulaire et une forme hexagonale.

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit capot (C) est réalisé dans un matériau diélectrique.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit matériau diélectrique comprend une face dans laquelle est formée une grille métallique (G) constituant une surface semi réfléchissante propre à augmenter l'excitation de ladite première cavité résonnante à air (CR1) par lesdits signaux.

9. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit matériau diélectrique comprend une face dans laquelle est formé au moins un pavé métallique de manière à induire une résonance complémentaire de la résonance de ladite première cavité résonnante à air (CR1).

10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit capot (C) est réalisé dans un matériau métallique dans lequel est formée une grille métallique (G) constituant une surface semi réfléchissante propre à augmenter l'excitation de ladite première cavité résonnante à air (CR1) par lesdits signaux.

11. Dispositif selon l'une des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que ladite grille (G) présente un pas variable dans au moins une direction choisie.

12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite longueur d'onde choisie est égale à deux fois la distance entre ledit capot (C) et ledit premier plan de masse (PM1).

13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend un second plan de masse (PM2) sensiblement perpendiculaire audit premier plan de masse (PM1) et comportant au moins une ligne

d'alimentation principale (LP1) à champ électrique de surface et comprenant une première extrémité propre à alimenter orthogonalement lesdits moyens d'excitation (MC).

14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que ledit premier plan de masse (PM1) comprend au moins une ligne
5 d'alimentation principale (LP1) comportant une première extrémité propre à alimenter lesdits moyens d'excitation (MC).

15. Dispositif selon l'une des revendications 13 et 14, caractérisé en ce que ladite ligne d'alimentation principale (LP1) est choisie dans un groupe
10 comprenant au moins une ligne coplanaire, une ligne microruban et une ligne à fente.

16. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 15, caractérisé en ce que lesdits moyens d'excitation (MC) comportent une fente de couplage (FR) de forme choisie et agencée de manière à assurer le couplage entre ladite
15 première extrémité de la ligne d'alimentation principale (LP1) et ladite première cavité résonnante à air (CR1).

17. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 15, caractérisé en ce que lesdits moyens d'excitation (MC) sont agencés sous la forme d'une sonde propre à assurer le couplage entre ladite première extrémité de la ligne
20 d'alimentation principale (LP1) et ladite première cavité résonnante à air (CR1).

18. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 15, caractérisé en ce que lesdits moyens d'excitation (MC) sont agencés sous la forme d'une sonde constituant un prolongement d'une âme centrale d'un connecteur.

25 19. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une seconde cavité résonnante à air (CR2) de constitution sensiblement identique à celle de ladite première cavité résonnante à air (CR1) mais de dimension, dans une direction perpendiculaire à la direction longitudinale, supérieure à celle de ladite première cavité
30 résonnante à air (CR1), ladite seconde cavité résonnante à air (CR2) comprenant une première extrémité solidarisée à un capot (C') et une seconde extrémité opposée à la première et solidarisée à un premier plan de masse (PM1') dans lequel est ménagée une ouverture (O) propre à loger ledit

capot (C) de la première cavité résonnante à air (CR1).

20. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 19, caractérisé en ce que l'une au moins desdites première (CR1) et seconde (CR2) cavités résonnantes à air loge un résonateur diélectrique (RD) de manière à
5 augmenter son excitation par lesdits signaux.

21. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 20, caractérisé en ce qu'une partie au moins de ladite paroi latérale (PL) est commune avec un dispositif (D) voisin.

22. Antenne réseau, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un
10 dispositif rayonnant (D) selon l'une des revendications précédentes.

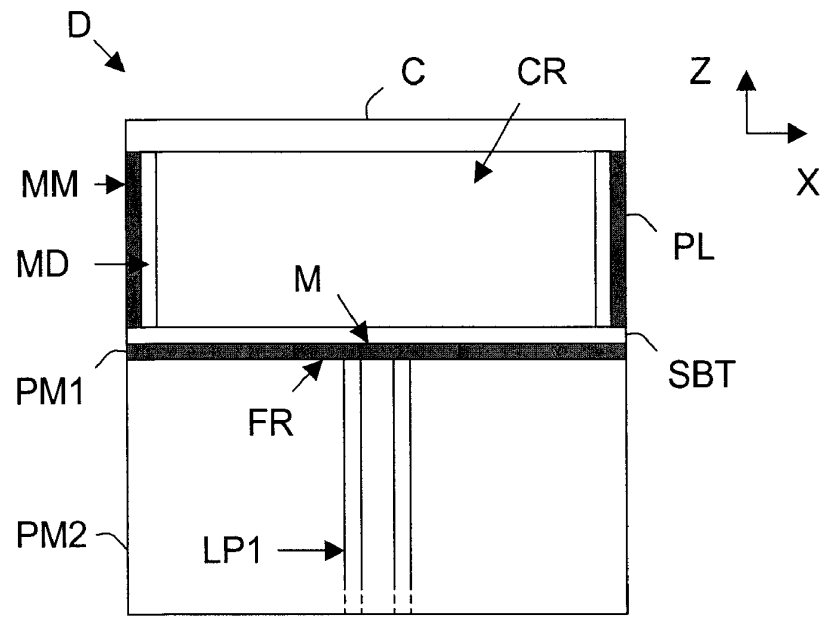


FIG.1

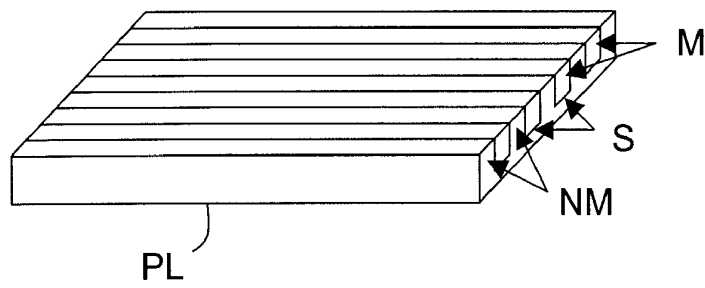


FIG.2

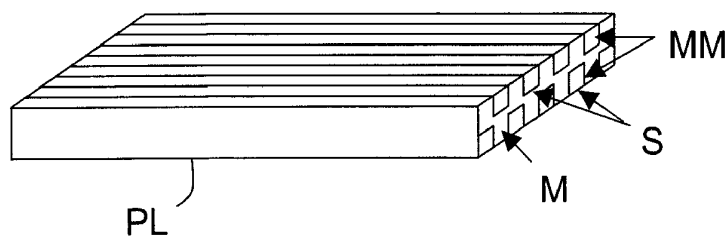


FIG.3

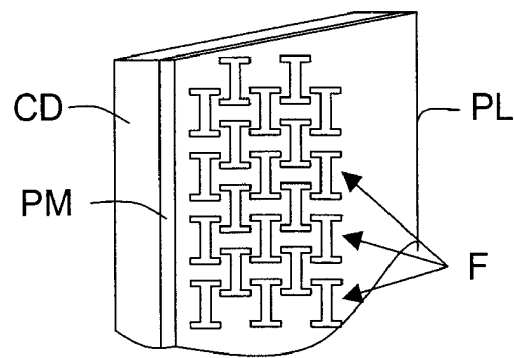


FIG. 4

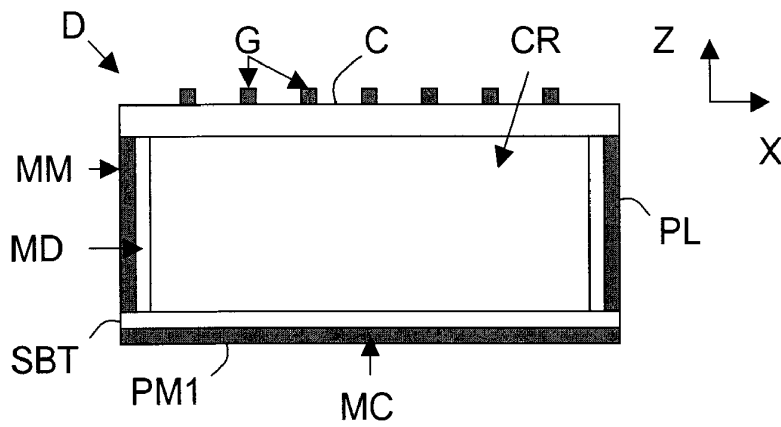


FIG. 5

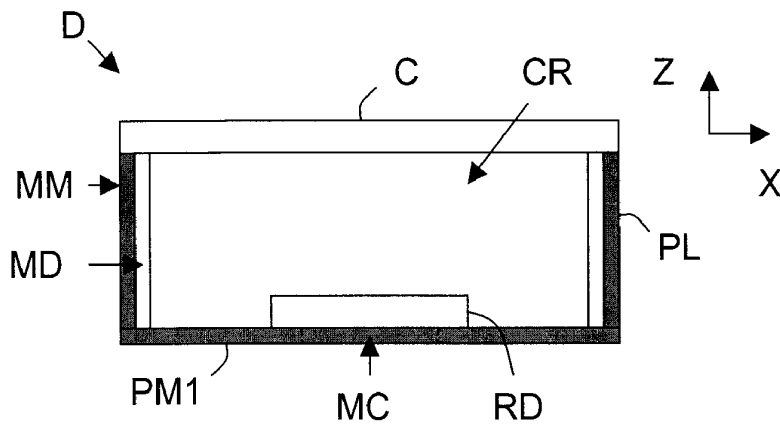


FIG. 6

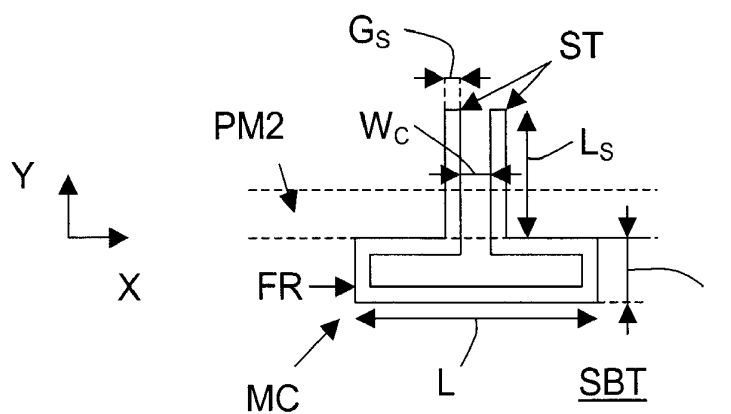


FIG. 8

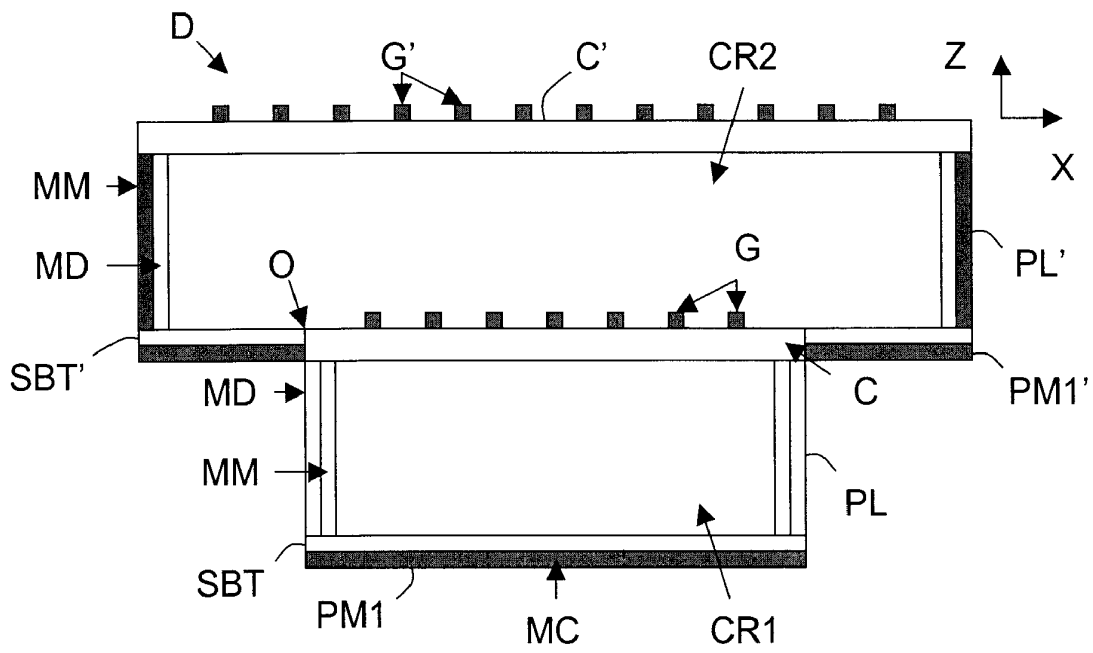


FIG.7

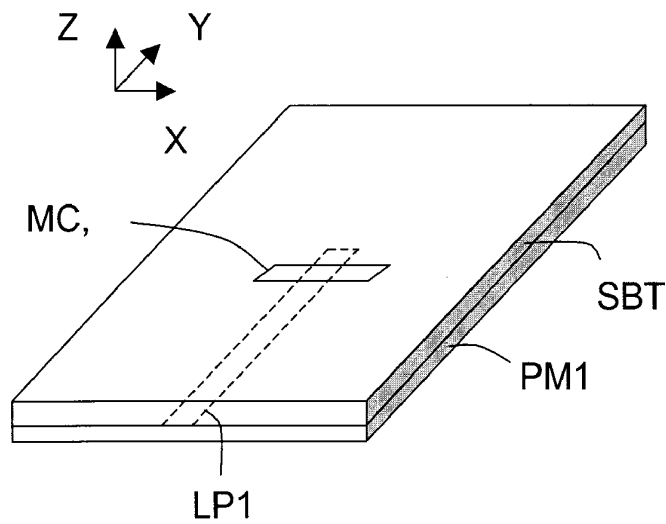


FIG.9



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 678619
FR 0651717

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2005/057402 A1 (OHNO TAKESHI ET AL) 17 mars 2005 (2005-03-17) * alinéa [0191]; figure 25 * -----	1-22	H01Q9/04 H01Q13/18 H01Q21/29
A	US 5 434 581 A (RAGUENET ET AL) 18 juillet 1995 (1995-07-18) * abrégé; figures 5,6 * -----	1-22	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01Q
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		27 septembre 2006	MAROT-LASSAUZAIE, J
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0651717 FA 678619**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 27-09-2006

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

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005057402 A1	17-03-2005	AUCUN	
US 5434581 A	18-07-1995	DE 69330020 D1	19-04-2001
		DE 69330020 T2	11-10-2001
		EP 0598656 A1	25-05-1994
		FR 2698212 A1	20-05-1994