



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
14.12.2005 Bulletin 2005/50

(51) Int Cl.7: **H01Q 21/00, H01Q 9/04**

(21) Numéro de dépôt: **05290270.7**

(22) Date de dépôt: **07.02.2005**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Etats d'extension désignés:
AL BA HR LV MK YU

• **Lathiere, Guillaume**
35000 Rennes (FR)
• **Gillard, Raphael**
35700 Rennes (FR)

(30) Priorité: **17.02.2004 FR 0450284**

(71) Demandeur: **ALCATEL**
75008 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Hedarchet, Stéphane et al**
COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL
Département Propriété Industrielle
54, rue La Boétie
75008 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **Legay, Hervé**
31830 Plaisance du Touch (FR)

(54) **Dispositif rayonnant à alimentation orthogonale**

(57) Un dispositif rayonnant (D), par exemple pour une antenne réseau, comprend i) un premier plan de masse (PM1) comportant au moins une ligne d'alimentation principale à champ électrique de surface (LP1), ii) un second plan de masse (PM2) sensiblement perpendiculaire au premier plan de masse (PM1) et com-

portant des moyens de couplage électromagnétique (FR) alimentés orthogonalement par une première extrémité de la ligne d'alimentation principale, et une structure résonnante (SR) chargée de rayonner de l'énergie lorsqu'elle est excitée par couplage électromagnétique à la première extrémité de la ligne d'alimentation principale (LP1), via les moyens de couplage.

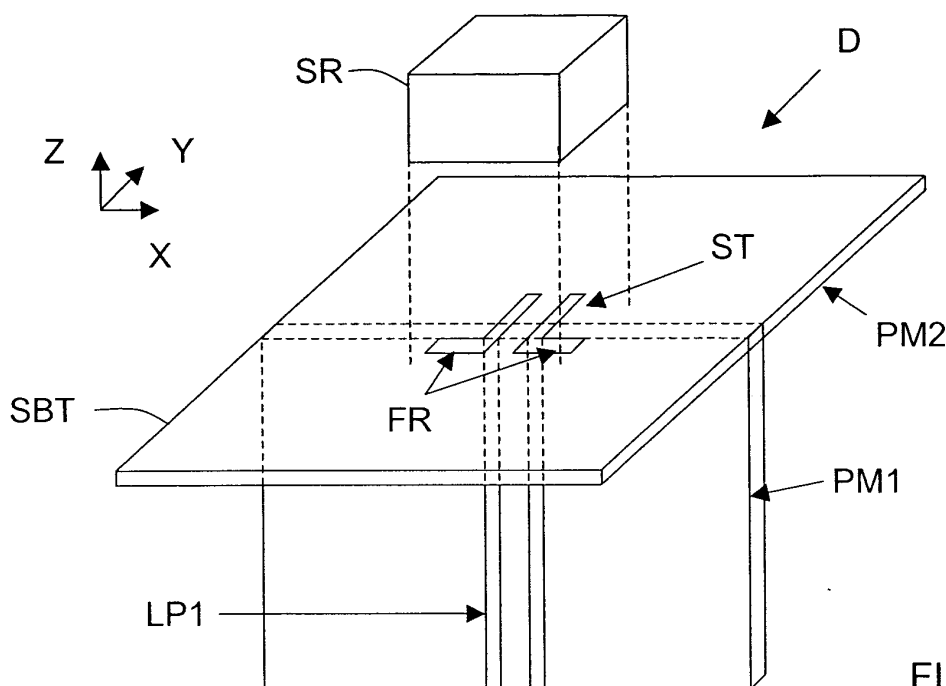


FIG.4

Description

[0001] L'invention concerne le domaine des antennes d'émission et/ou réception, et plus particulièrement les dispositifs (ou éléments) rayonnants qui équipent de telles antennes.

[0002] On entend ici par « dispositif rayonnant » une combinaison d'au moins une ligne d'alimentation principale, d'un plan de masse rayonnant, et d'une structure résonnante chargée de rayonner de l'énergie selon une longueur d'onde λ choisie lorsqu'elle est excitée par la ligne d'alimentation principale, éventuellement via des moyens de couplage appartenant au plan de masse rayonnant.

[0003] Par ailleurs, on entend ici par « antenne » aussi bien les antennes traditionnelles que les antennes réseau focales, comme par exemple les antennes multifaisceaux à réflecteur (de type FAFR ou passive), ou les antennes réseau actives à rayonnement direct.

[0004] Comme le sait l'homme de l'art, l'alimentation des dispositifs ou éléments rayonnants s'effectue le plus souvent par couplage électromagnétique de la structure résonnante à la ligne d'alimentation qui est parallèle au plan de masse rayonnant et réalisée dans une technologie dite planaire. La ligne d'alimentation peut être, par exemple, de type microruban, coplanaire ou triplaque, et elle peut être couplée à la structure résonnante soit par couplage de proximité, soit par couplage électromagnétique au travers d'une fente de couplage réalisée dans le plan de masse rayonnant.

[0005] Cette technologie planaire pose un certain nombre de problèmes techniques.

[0006] En effet, le circuit d'alimentation étant placé sur le plan de masse rayonnant ou sous celui-ci, la structure résonnante peut être perturbée par des radiations indésirables ou des couplages parasites.

[0007] Par ailleurs, le circuit d'alimentation étant placé parallèlement au plan de masse, il est difficile d'insérer dans la maille du réseau des équipements actifs, comme par exemple des amplificateurs à faible bruit (ou LNA) ou des amplificateurs de puissance (ou HPA), et/ou des cellules déphaseuses dont les dimensions sont typiquement d'environ $0,6 \lambda$. Cette difficulté est encore renforcée lorsque le réseau fonctionne en polarisations orthogonales, puisqu'il faut alors doubler certains équipements (notamment ceux actifs). Ce sont donc les contraintes d'insertion qui imposent les tailles minimales des mailles des réseaux. En d'autres termes, la technologie planaire est un obstacle à la compacité de certaines antennes réseau.

[0008] Une alimentation alternative a été proposée dans le projet IST Multikara d'antenne réseau focale à 30 GHz. Elle consiste à utiliser une transition de type microruban vers un accès guide, puis à évaser l'accès guide de manière à constituer un cornet. Une telle transition ne peut pas être utilisée lorsque la compacité est un critère déterminant. En outre, elle ne permet pas d'envisager une double polarisation dans le plan de

masse rayonnant.

[0009] Une autre alimentation alternative a été proposée dans le document de K.W. Leung et M.W. To, « Aperture-coupled dielectric resonator antenna with a perpendicular feed », Electronic Letters, juin 1997, vol. 33, n°12, pages 1000-1001. Elle consiste à alimenter un résonateur diélectrique, placé sur un plan de masse rayonnant, avec une ligne microruban, placée sur un autre plan de masse perpendiculaire au plan de masse rayonnant et présentant un champ électrique « noyé », c'est-à-dire compris entre la ligne et le plan de masse perpendiculaire. Une telle solution présente certes des avantages en termes d'isolation du résonateur diélectrique et d'espace offert pour l'implantation d'équipements, mais elle n'offre qu'un nombre limité de degrés de liberté, rendant ainsi difficile l'obtention simultanée d'une large bande passante et d'une bonne qualité de rayonnement.

[0010] Aucun dispositif (ou élément) rayonnant connu n'apportant une entière satisfaction, l'invention a donc pour but d'améliorer la situation.

[0011] Elle propose à cet effet un dispositif (ou élément) rayonnant comprenant i) un premier plan de masse comportant au moins une ligne d'alimentation principale à champ électrique de surface, ii) un second plan de masse sensiblement perpendiculaire au premier plan de masse, de préférence raccordé électriquement à ce dernier au moins près de la ligne d'alimentation principale, et comportant des moyens de couplage électromagnétique alimentés orthogonalement par une première extrémité de la ligne d'alimentation principale, et iii) une structure résonnante chargée de rayonner de l'énergie selon une longueur d'onde λ choisie lorsqu'elle est excitée par couplage électromagnétique à la première extrémité de la ligne d'alimentation principale, via les moyens de couplage du second plan de masse.

[0012] On entend ici par « ligne d'alimentation à champ électrique de surface » soit une ligne coplanaire, soit une ligne à fente (ou microfente).

[0013] Préférentiellement, la structure résonnante est choisie parmi les pavés, les résonateurs diélectriques et les résonateurs à air (d'épaisseur $\lambda/4$).

[0014] Dans un premier mode de réalisation, les moyens de couplage comprennent au moins une ligne d'alimentation auxiliaire de type coplanaire, sensiblement perpendiculaire à la ligne d'alimentation principale et comportant une première extrémité couplée à la première extrémité de la ligne d'alimentation principale et une seconde extrémité couplée par effet de proximité à la structure résonnante.

[0015] Dans un deuxième mode de réalisation dédié à la monopolarisation, les moyens de couplage comportent une fente de couplage de forme choisie et agencée de manière à assurer le couplage entre la première extrémité de la ligne d'alimentation principale et la structure résonnante.

[0016] Ce second mode de réalisation peut se décliner de différentes manières, et notamment :

- la fente de couplage peut présenter une forme générale rectangulaire définie par une direction longitudinale et une direction transversale, et la ligne d'alimentation principale est du type à fente et présente une première extrémité sensiblement parallèle à la direction transversale et placée sensiblement au milieu de la fente de couplage. Dans ce cas, la ligne d'alimentation principale peut comprendre un adaptateur d'impédance (ou « stub ») de type microfente à une distance choisie de sa première extrémité. Par ailleurs, le premier plan de masse peut comprendre une ligne de connexion de type coplanaire, présentant une première extrémité de forme choisie et une seconde extrémité dans laquelle se propagent des premier et second champs électriques de surface antiparallèles, et la ligne d'alimentation principale peut comprendre une seconde extrémité de forme choisie de manière à coopérer avec la première extrémité de la ligne de connexion afin de transformer le second champ électrique de surface en premier champ électrique de surface destiné à exciter la structure résonnante,
- la fente de couplage peut également présenter une forme générale rectangulaire définie par une direction longitudinale et une direction transversale, et une ligne d'alimentation principale coplanaire et sensiblement parallèle à la direction longitudinale. Dans ce cas, la première extrémité de la ligne d'alimentation principale peut déboucher au niveau du milieu d'un côté longitudinal de la fente de couplage. En variante, la fente de couplage peut comprendre un côté longitudinal prolongé perpendiculairement, au milieu, par deux microfentes d'adaptation (ou stubs) de dimensions choisies, parallèles entre elles et espacées d'une distance choisie ; la première extrémité de la ligne d'alimentation principale débouchant alors sensiblement au niveau de la liaison entre le côté longitudinal de la fente de couplage et les microfentes d'adaptation,
- la fente de couplage peut également présenter une forme générale rectangulaire définie par une direction longitudinale et une direction transversale, et une ligne d'alimentation principale coplanaire et présentant, au niveau d'une partie médiane de la fente de couplage, une première extrémité coudée sensiblement parallèle à sa direction transversale.

[0017] Dans un troisième mode de réalisation dédié à la multipolarisation, le dispositif comprend un troisième plan de masse sensiblement perpendiculaire aux premier et second plans de masse et comportant en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale sensiblement parallèles et de type coplanaire. Le premier plan de masse comporte alors en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale sensiblement parallèles et de type coplanaire, et les moyens de couplage comportent une fente de couplage présentant une forme générale en croix à première et seconde

branches sensiblement perpendiculaires ; la première branche présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux deux lignes d'alimentation principale du premier plan de masse et la seconde branche présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux deux lignes d'alimentation principale du troisième plan de masse, de manière à permettre une double polarisation linéaire.

[0018] Par exemple, dans ce troisième mode de réalisation, la première branche peut comprendre un côté longitudinal prolongé, en ses deux extrémités, par deux microfentes d'adaptation de dimensions et formes choisies, et présentant des parties de liaison sensiblement perpendiculaires au côté longitudinal et espacées d'une distance choisie ; la première extrémité de chaque ligne d'alimentation principale du premier plan de masse débouchant alors sensiblement au niveau de la liaison entre l'une des extrémités du côté longitudinal de la première branche et les parties de liaison des microfentes d'adaptation. La seconde branche comprend alors un côté longitudinal prolongé, en ses deux extrémités, par deux microfentes d'adaptation de dimensions et formes choisies, et présentant des parties de liaison sensiblement perpendiculaires au côté longitudinal et espacées d'une distance choisie ; la première extrémité de chaque ligne d'alimentation principale du troisième plan de masse débouchant sensiblement au niveau de la liaison entre l'une des extrémités du côté longitudinal de la seconde branche et les parties de liaison des microfentes d'adaptation. Par exemple, chaque microfente d'adaptation peut comprendre une partie terminale prolongeant, selon un angle choisi, sa partie de liaison.

[0019] Dans un quatrième mode de réalisation dédié également à la multipolarisation, le dispositif comprend une structure d'alimentation comportant quatre parois, raccordées physiquement deux à deux en définissant un cylindre évidé de section carrée. La première paroi est constituée du premier plan de masse qui comporte une ligne d'alimentation principale à fente. La deuxième paroi est constituée d'un troisième plan de masse sensiblement perpendiculaire aux premier et second plans de masse et comporte une ligne d'alimentation principale à fente. La troisième paroi est constituée d'un quatrième plan de masse sensiblement perpendiculaire aux second et troisième plans de masse et comporte une ligne d'alimentation principale à fente. La quatrième paroi est constituée d'un cinquième plan de masse sensiblement perpendiculaire aux premier, second et quatrième plans de masse et comporte une ligne d'alimentation principale à fente. Par ailleurs, les moyens de couplage comportent une fente de couplage présentant une forme générale en croix à première et seconde branches sensiblement perpendiculaires ; la première branche présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux lignes d'alimentation principale des premier et quatrième plans de masse et la seconde branche présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux lignes d'alimentation principale des

troisième et cinquième plans de masse, de manière à permettre une double polarisation linéaire.

[0020] Dans un cinquième mode de réalisation dédié également à la multipolarisation, le dispositif comprend un troisième plan de masse sensiblement perpendiculaire aux premier et second plans de masse et comportant en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale à fente sensiblement parallèles. Le premier plan de masse comporte en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale à fente sensiblement parallèles. Par ailleurs, les moyens de couplage comportent une fente de couplage présentant une forme générale en dièse à première, deuxième, troisième et quatrième branches sensiblement perpendiculaires deux à deux ; les première et troisième branches étant respectivement couplées par une partie médiane aux lignes d'alimentation principale du premier plan de masse, et les deuxième et quatrième branches étant respectivement couplées par une partie médiane aux lignes d'alimentation principale du troisième plan de masse, de manière à permettre une double polarisation linéaire. Par exemple, les premier et troisième plans de masse peuvent comprendre chacun une ligne de connexion coplanaire présentant une extrémité se séparant en deux parties définissant les deux lignes d'alimentation principale à fente.

[0021] Par ailleurs, le couplage entre la structure résonnante et la fente de couplage peut être soit de type inductif, soit de type capacitif, soit encore de type dipolaire électrique.

[0022] En outre, le second plan de masse (PM2) est préférentiellement formé sur un substrat tampon d'épaisseur choisie de manière à adapter l'impédance.

[0023] Enfin, le dispositif peut éventuellement comprendre un cornet couplé (par effet de proximité) à la structure résonnante, afin d'être excité par celle-ci en vue de rayonner l'énergie selon un gabarit choisi.

[0024] L'invention propose également une antenne, éventuellement de type réseau, équipée d'au moins un dispositif rayonnant du type de celui présenté ci-avant.

[0025] L'invention est particulièrement bien adaptée, bien que de façon non exclusive aux antennes réseau focales, comme par exemple les antennes multifaisceaux à réflecteur, et aux antennes réseau actives à rayonnement direct.

[0026] 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 un premier exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 2 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une partie du dispositif rayonnant de la figure 1,
- la figure 3 est une vue de face, dans le plan XZ, d'une partie du dispositif rayonnant de la figure 1,
- la figure 4 illustre de façon schématique un deuxième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant

selon l'invention,

- la figure 5 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une partie du dispositif rayonnant de la figure 4,
- la figure 6 est une vue de face, dans le plan XZ, d'une partie du dispositif rayonnant de la figure 4,
- la figure 7 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une première variante du dispositif rayonnant de la figure 4,
- la figure 8 est une vue de face, dans le plan XZ, d'une partie du dispositif rayonnant de la figure 7,
- la figure 9 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une seconde variante du dispositif rayonnant de la figure 4,
- la figure 10 illustre de façon schématique, dans une vue de face dans le plan XZ, un troisième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 11 illustre de façon schématique un quatrième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 12 illustre de façon schématique un cinquième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 13 illustre la propagation des champs électriques au sein du dispositif rayonnant de la figure 12,
- la figure 14 illustre de façon schématique, dans une vue de face dans le plan XZ, un sixième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 14 illustre de façon schématique, dans une vue de face dans le plan XZ, une variante de réalisation du dispositif rayonnant de la figure 14,
- la figure 16 illustre de façon schématique une transition entre une ligne coplanaire de connexion et une ligne d'alimentation à fente, adaptée au dispositif de la figure 14,
- la figure 17 illustre de façon schématique une variante du dispositif rayonnant de la figure 14 intégrant une transition du type de celle illustrée sur la figure 16,
- la figure 18 illustre de façon schématique un septième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 19 est une vue du dessus, dans le plan XY, de la fente en croix du dispositif rayonnant de la figure 18,
- la figure 20 est une vue du dessus, dans le plan XY, de la fente en croix du dispositif rayonnant de la figure 18, matérialisant le champ électrique,
- la figure 21 illustre de façon schématique un huitième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 22 est une vue du dessus, dans le plan XY, de la fente en dièse (#) du dispositif rayonnant de la figure 21,
- la figure 23 illustre de façon schématique, dans une vue de face dans le plan XZ, une variante d'alimen-

- tation pour le dispositif rayonnant de la figure 21,
- la figure 24 illustre de façon schématique un neuvième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 25 est une vue du dessus, dans le plan XY, de la fente en croix du dispositif rayonnant de la figure 24,
- la figure 26 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une première variante de la fente en croix du dispositif rayonnant de la figure 24,
- la figure 27 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une seconde variante de la fente en croix du dispositif rayonnant de la figure 24,
- la figure 28 est une vue en perspective d'un substrat, d'une variante d'un dispositif rayonnant selon l'invention, portant deux premiers plans de masse,
- la figure 29 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une variante de fente de couplage en croix adaptée au substrat de la figure 28,
- la figure 30 est une vue en perspective d'un substrat, d'une autre variante d'un dispositif rayonnant selon l'invention, portant deux premiers plans de masse,
- la figure 31 est une vue du dessus, dans le plan XY, d'une combinaison de deux fentes de couplage rectangulaires, adaptée au substrat de la figure 30,
- la figure 32 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe dans le plan XZ, un neuvième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 33 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe dans le plan XZ, un dixième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention,
- la figure 34 est une vue du dessus, dans le plan XY, du dispositif rayonnant de la figure 33,
- la figure 35 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe dans le plan XZ, un onzième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention, et
- la figure 36 est une vue du dessus, dans le plan XY, du dispositif rayonnant de la figure 35.

[0027] Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

[0028] L'invention a pour objet de permettre, au choix, un rayonnement en mode monopolarisation ou multipolarisation à l'aide d'un dispositif (ou élément) rayonnant à alimentation orthogonale.

[0029] Un tel dispositif rayonnant est destiné à être intégré dans une antenne, et de préférence dans une antenne réseau, comme par exemple une antenne réseau focale, telle qu'une antenne multifaisceau à réflecteur (de type FAFR ou passive), ou une antenne réseau active à rayonnement direct. Il peut également être intégré dans une source primaire de réflecteur, notamment lorsque la source est de type bibandes (dans ce

cas, comme on le verra plus loin, l'invention permet de libérer de la place pour exciter un même cornet dans une bande inférieure).

[0030] On se réfère tout d'abord aux figures 1 à 3 pour décrire un premier exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant selon l'invention D, adapté à la monopolarisation.

[0031] Un dispositif rayonnant D, selon l'invention, comprend tout d'abord un premier plan de masse PM1, placé dans un plan XZ, et comportant au moins une ligne d'alimentation principale à champ électrique de surface LP1, 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. Dans ce premier exemple, la ligne d'alimentation à champ électrique de surface LP1 est une ligne coplanaire, mais comme on le verra plus loin, il pourrait s'agir d'une ligne à fente (ou microfente).

[0032] Le dispositif D comprend également un second plan de masse PM2, placé dans un plan XY, sensiblement perpendiculaire au premier plan de masse PM1, de préférence raccordé électriquement à ce dernier au moins près de la ligne d'alimentation principale LP1, et comportant des moyens de couplage électromagnétique alimentés orthogonalement par une première extrémité de la ligne d'alimentation principale LP1. On entend ici par « alimenté orthogonalement » le fait que le champ électrique arrive dans un plan perpendiculaire au second plan de masse PM2.

[0033] Le second plan de masse PM2 est préférentiellement formé par métallisation de la face « inférieure » d'un substrat dit « tampon » SBT (assimilé sur certaines figures à son plan de masse PM2). De même, le premier plan de masse PM1 est préférentiellement formé par métallisation de la face « avant » d'un substrat tampon (non représenté sur les figures et assimilé à son plan de masse PM1).

[0034] Dans ce premier exemple, les moyens de couplage électromagnétique sont réalisés sous la forme d'une ligne d'alimentation auxiliaire LA de type coplanaire formée sur la face « supérieure » du second plan de masse PM2, ou bien, comme illustré, notamment, sur la figure 1, sur sa face inférieure lorsqu'elle est métallisée, et prolongeant (de façon continue) la ligne d'alimentation principale LP1 au niveau d'une zone de liaison Z.

[0035] Enfin, le dispositif D comprend une structure résonnante SR placée sur la face supérieure du second plan de masse LP2, au dessus de la ligne d'alimentation auxiliaire LA et à l'extrémité de celle-ci. Cette structure résonnante SR est chargée de rayonner de l'énergie, selon une longueur d'onde de fonctionnement λ choisie, lorsqu'elle est excitée par couplage électromagnétique à la première extrémité (supérieure) de la ligne d'alimentation principale LP1, via les moyens de couplage LA du second plan de masse PM2.

[0036] La structure résonnante SR peut être soit un pavé (ou « patch »), de forme rectangulaire ou circulaire, soit un résonateur diélectrique massif, par exemple réalisé, comme illustré, sous la forme d'un parallélépipède rectangle de dimensions choisies, soit encore un résonateur à air, par exemple réalisé sous la forme d'un parallélépipède rectangle d'épaisseur $\lambda/4$ suivant la direction Z. Il est rappelé qu'un résonateur (ou cavité) à air est défini par le (second) plan de masse (PM2), une paroi supérieure en matériau diélectrique et des parois latérales (suivant Z) en matériau diélectrique d'épaisseur $\lambda/4$, permettant ainsi de contenir les champs dans un milieu non dissipatif. La contrainte d'épaisseur résulte des coefficients opposés aux interfaces air/diélectrique et diélectrique/air qui sont rendus cohérents par une épaisseur égale à $\lambda/4$.

[0037] Dans ce premier exemple, la structure résonnante SR est couplée à la ligne d'alimentation auxiliaire LA par effet de proximité.

[0038] Par exemple, comme illustré sur la figure 2, d'une première part, les premier PM1 et second PM2 plan de masse sont réalisés sur des substrats en alumine d'épaisseur égale à environ 0,635 mm et de permittivité ϵ_r égale à environ 9,9, d'une deuxième part, les conducteurs centraux des lignes d'alimentation principale LP1 et auxiliaire LA ont une largeur W_c égale à environ 0,5 mm, d'une troisième part, les fentes placées de part et d'autre des conducteurs centraux des lignes d'alimentation principale LP1 et auxiliaire LA, ont une largeur G_s égale à environ 0,23 mm, et d'une quatrième part, l'épaisseur e de plan de masse éliminée à l'extrémité des conducteurs centraux est égale à environ 0,23 mm. Un tel mode de réalisation offre une impédance caractéristique d'environ 50 Ω et permet d'obtenir au niveau de la transition entre les lignes orthogonales (LP1 et LA) une bande passante supérieure à 50% à 12,25 GHz pour le mode S_{11} . Il est rappelé qu'en présence d'une ligne auxiliaire LA formée sur la face supérieure du plan de masse rayonnant PM2, on doit former une fente dans la zone de couplage de lignes Z, ce qui génère une discontinuité rayonnante et limite la bande passante de la transition.

[0039] On peut envisager une solution alternative ne requérant pas de fente en prolongeant la ligne d'alimentation auxiliaire LA sur une distance choisie au-delà de la zone de liaison Z, afin de constituer un adaptateur d'impédance coplanaire (ou « coplanar stub »). Dans ce cas, la prolongation se fait préférentiellement sur une longueur égale à $\lambda/4$. Par exemple, si l'on reprend les dimensions précitées et que l'on choisit une longueur de stubs égale à environ 2,2 mm, on peut obtenir une bande passante d'environ 68% à 12,25 GHz pour le mode S_{11} .

[0040] Sur la figure 3 se trouvent matérialisés les champs de surface Ψ_1 et Ψ_2 qui se propagent de façon antiparallèle dans les deux fentes latérales de la ligne d'alimentation principale LP1 (mais également dans la ligne d'alimentation auxiliaire LA).

[0041] On se réfère maintenant aux figures 4 à 9 pour décrire un deuxième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant D, selon l'invention, également adapté à la monopolarisation.

[0042] Ce deuxième exemple de réalisation se différencie du premier par les moyens de couplage formés sur le second plan de masse PM2. En effet, dans cet exemple de réalisation, comme d'ailleurs dans tous ceux qui seront décrits ci-après, les moyens de couplage sont réalisés sous la forme d'une fente de couplage. Cette fente de couplage est préférentiellement positionnée au centre de la structure résonnante SR, afin d'obtenir un couplage maximum et de minimiser les modes supérieurs dans ladite structure rayonnante SR, et par conséquent le rayonnement en polarisation croisée. Pour des raisons de compacité, il est possible de replier la fente de couplage ou de lui donner des formes particulières comme par exemple de type en forme de T (ou "T-bar" en anglais).

[0043] Plus précisément, dans cet exemple de réalisation, comme cela est illustré sur les figures 4 à 6, la fente de couplage FR présente une forme générale rectangulaire, mais interrompue dans sa partie centrale par une portion du second plan de masse. En d'autres termes, la fente de couplage FR comporte deux parties FRa et FRb.

[0044] Ici, les grands côtés de la fente de couplage FR, appelés côtés longitudinaux, s'étendent suivant la direction (longitudinale) X, tandis que ses petits côtés, appelés côtés transversaux, s'étendent suivant la direction (transversale) Y. Le premier plan de masse étant installé dans le plan XZ, l'extrémité supérieure de sa ligne d'alimentation principale LP1 débouche donc parallèlement à l'un des côtés longitudinaux.

[0045] Cet exemple de réalisation correspond à un couplage inductif entre l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP1 et la structure résonnante SR.

[0046] 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 les figures 4 et 5, que chaque partie FRa et FRb de la fente de couplage soit prolongée par un adaptateur d'impédance ST (ou stub). Ces deux stubs ST constituent des fentes rectangulaires qui prolongent perpendiculairement l'un des côtés longitudinaux des parties FRa et FRb de la fente de couplage. Préférentiellement, la prolongation se fait sur une longueur égale à $\lambda/4$. En présence de stubs ST, on positionne le premier plan de masse PM1 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 côté longitudinal de la fente de couplage FR.

[0047] L'espacement entre les deux parties FRa et FRb de la fente de couplage, qui est le même que celui W_c entre les deux stubs ST, qui est lui-même 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 transversale (Y) est par exemple choisie égale à environ 2,2 mm. Enfin, la longueur L (suivant la direction longitudinale X) et la largeur l (suivant la direction transversale Y) de la fente de couplage FR sont par exemple respectivement égales à environ 5,2 mm et 0,4 mm. Avec de telles valeurs, on peut obtenir une bande passante d'environ 8% à 12,25 GHz pour le mode S_{11} , dans le cas d'un couplage inductif. Des bandes passantes plus élevées peuvent être obtenues par couplage capacitif ou dipolaire électrique.

[0048] 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.

[0049] On a représenté sur les figures 7 et 8 une première variante de réalisation du deuxième exemple de réalisation décrit ci-avant, en référence aux figures 4 à 6. Dans cette première variante, le couplage entre l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP1 et la structure résonnante SR n'est plus de type inductif. Il est en effet de type capacitif du fait que la fente de couplage FR n'est plus interrompue dans sa partie centrale par une portion du second plan de masse PM2.

[0050] On a représenté sur la figure 9 une seconde variante de réalisation du deuxième exemple de réalisation décrit ci-avant, en référence aux figures 4 à 6. Dans cette seconde variante, le couplage entre l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP1 et la structure résonnante SR n'est plus de type inductif. Il est en effet de type dipolaire électrique (ou « T match ») du fait que la partie conductrice du second plan de masse 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 dont la largeur n'est pas égale à G_s (et constitue de ce fait un paramètre d'adaptation complémentaire).

[0051] On a par ailleurs représenté sur la figure 10 un troisième exemple de réalisation de dispositif rayonnant D, selon l'invention. Dans ce troisième exemple, qui constitue une variante de la première variante à couplage capacitif de la figure 8, la distance G_p , séparant la structure résonnante SR de la partie terminale du conducteur central de la ligne d'alimentation principale LP1, est accrue. Pour ce faire, on interrompt le conducteur central de la ligne d'alimentation principale LP1 à une distance choisie du second plan de masse PM2. On réalise ainsi un couplage capacitif qui compense le couplage inductif de la fente de couplage FR. Cela permet d'adapter l'impédance et donc d'augmenter notablement la bande passante, tout en évitant de recourir à un stub.

[0052] Par exemple, on peut utiliser un substrat tam-

pon SBT en Duroïd™ 5880 présentant une permittivité ϵ_r égale à environ 2,2.

[0053] On se réfère maintenant à la figure 11 pour décrire un quatrième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant D, selon l'invention, également adapté à la monopolarisation.

[0054] Dans ce quatrième exemple de réalisation, le premier plan de masse PM1 comporte toujours une ligne d'alimentation principale LP1 de type coplanaire. Mais, ici, d'une part, la fente de couplage FR' présente une forme générale rectangulaire définie par une direction longitudinale Y (grand côté) et une direction transversale X (petit côté), et d'autre part, l'extrémité supérieure (ES) de ligne d'alimentation principale LP1 est coudée sensiblement à 90° afin d'être placée sous la fente de couplage FR' parallèlement à la direction transversale X.

[0055] On se réfère maintenant aux figures 12 et 13 pour décrire un cinquième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant D, selon l'invention, également adapté à la monopolarisation.

[0056] Ce cinquième exemple de réalisation se différencie des quatre premiers (figures 1 à 11) du fait que sa ligne d'alimentation principale LP1 est de type « à fente ». Cependant comme dans les deuxième à quatrième exemples de réalisation (figures 4 à 11), les moyens de couplage du second plan de masse PM2 sont réalisés sous la forme d'une fente de couplage FR" de forme préférentiellement rectangulaire.

[0057] La fente de couplage FR" présente des grands côtés (longitudinaux) parallèles à la direction longitudinale Y et des petits côtés (transversaux) parallèles à la direction (transversale) X. Par ailleurs, l'extrémité supérieure de ligne d'alimentation principale LP1 est placée sous la fente de couplage FR" parallèlement à la direction transversale X, et préférentiellement au milieu de cette fente FR" (comme illustré).

[0058] Sur la figure 13 se trouvent matérialisés le champ de surface Ψ_l , dans la ligne d'alimentation principale LP1 et le champ Ψ_R rayonné par la fente de couplage FR". Cette figure met en évidence le très bon raccordement des champs Ψ_l et Ψ_R offert par ce mode de réalisation.

[0059] Par exemple, d'une première part, les premier PM1 et second PM2 plans de masse peuvent être réalisés sur des substrats en alumine d'épaisseur égale à environ 0,635 mm et de permittivité ϵ_r égale à environ 9,9, d'une deuxième part, la microfente de la ligne d'alimentation principale LP1 peut présenter une largeur W_s égale à environ 0,96 mm, d'une troisième part, la fente de couplage FR" peut présenter une longueur L et une largeur l respectivement égale à environ 13 mm et environ 0,96 mm, et d'une quatrième part, la structure résonnante peut être un résonateur diélectrique de base carrée dont le côté est égal à environ 16 mm et de hauteur d/2 égale à environ 7,62 mm, réalisé dans une céramique de type Eccostock™ HIK500 présentant une permittivité ϵ_r égale à environ 9,7 à 5 GHz. Un tel mode

de réalisation offre une impédance caractéristique d'environ 147 Ω .

[0060] Afin d'accroître la bande passante de ce cinquième exemple de réalisation, on peut, comme illustré sur le sixième exemple de réalisation de la figure 14, adjoindre à la ligne d'alimentation principale LP1 un adaptateur d'impédance constitué de deux stubs ST'. Ici, les deux stubs ST' sont des fentes (ou microfentes) communiquent avec la fente (ou microfente) de la ligne d'alimentation principale LP1, de part et d'autre de celle-ci, à une même distance choisie de la partie terminale de son extrémité supérieure.

[0061] Ces stubs ST' sont préférentiellement rectangulaires, leurs grands côtés étant, par exemple, parallèles, au moins en partie, à la direction X et leurs petits côtés parallèles à la direction Z (ici verticale).

[0062] Par exemple, on peut choisir des stubs ST' présentant une longueur L_s égale à environ 17 mm et distants de la fente de couplage FR" d'une distance d_s égale à environ 2,1 mm. Ainsi, en reprenant les valeurs données ci-avant en référence au cinquième mode de réalisation (figures 12 et 13), on peut obtenir une bande passante d'environ 17% à 5 GHz pour le mode S_{11} .

[0063] Comme cela est illustré sur la variante de la figure 15, les stubs ST peuvent être coudés ou repliés parallèlement à la fente de la ligne à fente LP1. On peut également définir les stubs à l'intérieur de cette ligne à fente LP1, préférentiellement à la jonction avec la fente de couplage FR", sous forme d'inserts métalliques en forme de L connectés au plan de masse PM1.

[0064] Afin de permettre le couplage de la ligne d'alimentation principale à fente LP1, qui ne comporte par de partie conductrice, contrairement à une ligne coplanaire, à un équipement actif (comme par exemple un MMIC) ou un équipement passif (comme par exemple un connecteur), il est avantageux de prévoir sur le premier plan de masse PM1 une transition TR.

[0065] Une telle transition TR est illustrée sur la figure 16. Elle permet de coupler la ligne d'alimentation principale à fente LP1 à une ligne de connexion LC, de préférence de type coplanaire. Une ligne de connexion coplanaire est préférable car elle est réalisée dans une technologie uniplanaire comme la ligne d'alimentation principale à fente, et elle facilite le raccordement à certains équipements, tels que des MMICs.

[0066] Cette transition TR est destinée à convertir l'un des deux champs de surface antiparallèles Ψ_1 (mode pair) et Ψ_2 (mode impair), qui se propagent dans les microfentes situées de part et d'autre du conducteur central de la ligne de connexion coplanaire LC, en un champ de surface Ψ_2' (mode pair) identique à l'autre champ de surface Ψ_1 et donc à celui qui se propage dans la fente de la ligne d'alimentation principale à fente LP1.

[0067] On réalise donc un déphasage de 180° sur l'une des deux fentes de la ligne de connexion coplanaire LC afin de mettre en phase leurs champs Ψ_1 et Ψ_2 , permettant ainsi de combiner les deux fentes pour

constituer la fente de la ligne d'alimentation principale à fente LP1. Ici, la transition comporte trois méandres de longueur L_m , dans la direction X, par exemple égale à environ 3,2 mm. Afin d'optimiser le couplage, la longueur L_c du conducteur en sortie de la transition TR doit être optimisée. Par exemple on choisit L_c égale à environ 0,25 mm.

[0068] Préférentiellement, on introduit des ponts à air le long de la ligne de connexion coplanaire LC de manière à bloquer l'évolution de la réflexion du mode pair Ψ_1 , non déphasé, de sorte que sa valeur soit sensiblement indépendante de la longueur de la ligne de connexion coplanaire LC.

[0069] En prenant une largeur W_s de fente de ligne d'alimentation principale LP1 égale à environ 0,96 mm, une longueur de ligne d'alimentation principale LP1 égale à environ 0,5 mm, une largeur W_c de conducteur central pour la ligne de connexion coplanaire LC égale à environ 0,5 mm, une largeur G_s égale à environ 0,23 mm pour les fentes de part et d'autre du conducteur central de la ligne de connexion coplanaire LC, et des valeurs de L_m et L_c égales respectivement à environ 3,2 mm et à environ 0,25 mm, on peut obtenir une bande passante au niveau de la transition TR égale à environ 40% à 5 GHz pour le mode S_{11} .

[0070] On a représenté sur la figure 17, une variante du dispositif rayonnant D de la figure 14 intégrant une transition TR du type de celle décrite ci-avant en référence à la figure 16. Grâce à un tel agencement, et en présence des valeurs présentées ci-avant, on peut obtenir une bande passante d'environ 14% à 5 GHz pour le mode S_{11} .

[0071] On se réfère maintenant aux figures 18 à 20 pour décrire un sixième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant D, selon l'invention, adapté à la multipolarisation, et plus précisément à une double polarisation linéaire.

[0072] Dans ce sixième exemple de réalisation, les moyens de couplage sont réalisés sous la forme d'une fente de couplage FC en forme de croix. Une première branche B1 de la croix FC est placée suivant la direction Y, tandis qu'une seconde branche B2, perpendiculaire à B1, est placée suivant la direction X.

[0073] Chaque polarisation linéaire est excitée par l'une des deux branches B1 et B2 de la fente de couplage FC, lesquelles sont respectivement couplées par leurs deux extrémités opposées à deux lignes d'alimentation principale LP1 et LP3 d'une part, et LP2 et LP4 d'autre part.

[0074] Les quatre lignes d'alimentation principale LP1 à LP4 sont respectivement formées sur quatre plans de masse PM1, PM3, PM4 et PM5, perpendiculaires deux à deux et solidarisés de manière à constituer une structure d'alimentation SA cylindrique de section carrée.

[0075] Plus précisément, comme illustré sur la figure 19, l'extrémité « avant » de la première branche B1 est couplée à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP1 située sur le premier plan de masse

PM1, l'extrémité « arrière » de la première branche B1 est couplée à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP3 située sur le quatrième plan de masse PM4, l'extrémité « droite » de la seconde branche B2 est couplée à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP2 située sur le troisième plan de masse PM3, et l'extrémité « gauche » de la seconde branche B2 est couplée à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP4 située sur le cinquième plan de masse PM5.

[0076] Dans cet exemple de réalisation, les quatre lignes d'alimentation principale LP1 à LP4 sont du type à fente. Par conséquent, chaque ligne est placée parallèlement aux côtés transversaux de la branche B1 ou B2 à laquelle elle est couplée.

[0077] En raison de la parfaite symétrie axiale obtenue pour chaque polarisation, on peut obtenir une isolation très élevée entre les deux polarisations linéaires. Comme illustré sur la figure 20, le champ électrique étant alimenté par deux points situés aux deux extrémités de l'une des branches B1 et B2, cela force l'annulation du champ électrique dans l'autre branche.

[0078] On se réfère maintenant aux figures 21 à 23 pour décrire un septième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant D, selon l'invention, également adapté à la multipolarisation, et plus précisément à une double polarisation linéaire.

[0079] Dans ce septième exemple de réalisation, les moyens de couplage sont réalisés sous la forme d'une fente de couplage FD en forme de dièse (#). Comme cela est illustré sur la figure 22, des première B1 et troisième B3 branches du dièse sont placées parallèlement à la direction X, de façon décalée, tandis que des deuxième B2 et quatrième B4 branches, perpendiculaires à B1 et B3, sont placées parallèlement à la direction Y, de façon décalée. On peut noter que la fente peut également avoir une forme carrée, qui est une forme particulière d'un dièse.

[0080] Les branches parallèles entre elles excitent une même polarisation. Par ailleurs, chaque branche B1 à B4 est couplée par une partie médiane à l'extrémité supérieure d'une ligne d'alimentation principale LP11, LP12, LP21 ou LP22.

[0081] Les quatre lignes d'alimentation principale LP11, LP12, LP21 et LP22 sont formées par paire sur deux plans de masse PM1 et PM3, perpendiculaires entre eux.

[0082] Plus précisément, comme illustré sur la figure 21, le centre de la première branche B1 est couplé à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP11 située sur le premier plan de masse PM1, le centre de la troisième branche B3 est couplé à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP12 située sur le premier plan de masse PM1 à une distance de LP11 égale à la distance séparant B1 de B3, le centre de la deuxième branche B2 est couplé à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP22 située sur le troisième plan de masse PM3,

et le centre de la quatrième branche B4 est couplé à l'extrémité supérieure de la ligne d'alimentation principale LP21 située sur le troisième plan de masse PM3, à une distance de LP22 égale à la distance séparant B2 de B4.

[0083] Les premier PM1 et troisième PM3 plans de masse réalisent ainsi une structure d'alimentation SA' en croix.

[0084] Dans cet exemple de réalisation, les quatre lignes d'alimentation principale LP11, LP12, LP21 et LP22 sont du type à fente. Par conséquent, chaque ligne est placée parallèlement aux côtés transversaux de la branche B1, B2, B3 ou B4 à laquelle elle est couplée.

[0085] On a représenté sur la figure 23 un exemple, particulièrement avantageux, de réalisation des deux lignes d'alimentation principale des plans de masse PM1 et PM3. En effet, dans cet exemple de réalisation, on se sert d'une ligne de connexion LC de type coplanaire pour définir les deux lignes d'alimentation principale d'un plan de masse. Pour ce faire, chaque fente (ou microfente) placée d'un côté du conducteur central de la ligne de connexion coplanaire LC présente une première partie linéaire de largeur G_s et une seconde partie de transition désorientée par rapport à la première partie et présentant une largeur croissant de G_s jusqu'à une valeur W_s , égale à la largeur d'une fente d'une ligne d'alimentation principale LP11. Les secondes parties s'étendent sur une hauteur choisie L_t . La distance séparant les deux fentes de la ligne de connexion coplanaire LC est donc constante et égale à W_c au niveau des premières parties, tandis qu'elle croît jusqu'à une valeur d_f , égale à la distance séparant les branches B1 et B3 ou B2 et B4 de la fente de couplage en dièse FD, au niveau des secondes parties.

[0086] Les deux lignes d'alimentation principale LP11 et LP12 ou LP21 et LP22 du premier PM1 ou troisième PM3 plan de masse débutent donc en sortie des deuxième parties des fentes de la ligne de connexion coplanaire LC, là où la largeur du conducteur central est égale à d_f . Les deux lignes d'alimentation principale LP11 et LP12 ou LP21 et LP22 qui prolongent les deuxième parties de transition sont parallèles aux premières parties et présentent une largeur constante W_s .

[0087] Par exemple, on peut choisir G_s égale à environ 0,23 mm, W_s égale à environ 0,96 mm, W_c égale à environ 0,5 mm, d_f égale à environ 12 mm et L_t égale à environ 8 mm.

[0088] Il est important de noter que dans ce mode de réalisation les champs de surface qui se propagent dans les deux lignes d'alimentation principale d'un même plan de masse sont déphasés de 180° , du fait qu'elles sont alimentées par les champs de surface antiparallèles Ψ_1 et Ψ_2 de la ligne de connexion coplanaire LC. Par conséquent, il faut coupler l'une des deux lignes d'alimentation principale à un déphaseur de 180° avant de coupler son extrémité supérieure à la branche concernée de la fente de couplage en dièse FD. Ce déphasage peut par exemple être réalisé au moyen d'un

tronçon de ligne supplémentaire.

[0089] On se réfère maintenant aux figures 24 à 27 pour décrire un huitième exemple de réalisation d'un dispositif rayonnant D, selon l'invention, également adapté à la multipolarisation, et plus précisément à une double polarisation linéaire.

[0090] Dans ce huitième exemple de réalisation, les moyens de couplage sont de nouveau réalisés sous la forme d'une fente de couplage FC' en forme de croix. Une première branche B1 de la croix FC' est placée suivant la direction Y, tandis qu'une seconde branche B2, perpendiculaire à B1, est placée suivant la direction X.

[0091] Comme dans le sixième exemple de réalisation (figures 18 à 20), chaque polarisation linéaire est excitée par l'une des deux branches B1 et B2 de la fente de couplage FC', lesquelles sont respectivement couplées par leurs deux extrémités opposées à deux lignes d'alimentation principale LP11 et LP12 d'une part, et LP21 et LP22 d'autre part.

[0092] Les quatre lignes d'alimentation principale LP11, LP12, LP21 et LP22 sont formées par paire sur deux plans de masse PM1 et PM3, perpendiculaires entre eux, comme dans le septième exemple de réalisation (figures 21 à 23).

[0093] Les premier PM1 et troisième PM3 plans de masse réalisent ainsi une structure d'alimentation SA" en croix.

[0094] Dans cet exemple de réalisation, les quatre lignes d'alimentation principale LP11, LP12, LP21 et LP22 sont de type coplanaire. Par conséquent, comme illustré sur la figure 25, chaque ligne est placée parallèlement à l'un des côtés longitudinaux de la branche B1 ou B2 à laquelle elle est couplée.

[0095] Préférentiellement, comme illustré sur la figure 25, les deux extrémités opposées de chaque branche B1, B2 sont pourvues sur l'un de leurs côtés longitudinaux d'une paire de fentes d'adaptation d'impédance (ou stubs) ST".

Ces stubs ST" ont la même fonction que celle décrite précédemment en référence aux figures 5, 7 et 9. Ils diffèrent cependant de ceux précédemment décrits par leur forme qui est coudée pour des raisons d'encombrement. Plus précisément, chaque stub ST" présente une partie de liaison perpendiculaire au côté longitudinal de la branche concernée, prolongée de façon oblique par une partie terminale.

[0096] Le couplage offert par la fente en croix FC' de la figure 25 est de type capacitif. On peut cependant envisager deux variantes de fentes en croix FC' adaptées respectivement aux couplages de type inductif et dipolaire électrique, comme illustré sur les figures 26 et 27. Cette dernière variante de réalisation est notamment décrite dans le document de D. Llorens Del Rio et al, « The T match : an integrated match for CPW-fed slot antennas », JINA 2002, Vol n°2, pp. 347-350, sous l'appellation T-match.

[0097] Dans ce huitième exemple de réalisation, les deux extrémités de la première branche B1 sont cou-

plées, via les paires de stubs ST", aux extrémités supérieures des lignes d'alimentation principale LP11 et LP12 situées sur le premier plan de masse PM1, et les deux extrémités de la seconde branche B2 sont couplées, via les paires de stubs ST", aux extrémités supérieures des lignes d'alimentation principale LP21 et LP22 situées sur le troisième plan de masse PM3.

[0098] Dans une autre variante, illustrée sur les figures 28 et 29, on peut réaliser une excitation en double polarisation à l'aide d'un unique substrat SB orthogonal (contenant deux plans de masse PM1 et PM1'). Pour ce faire, on peut utiliser une fente de couplage en croix FC, comportant aux deux extrémités de sa branche B1 des stubs ST. L'excitation se fait à l'aide, d'une part, de deux lignes d'alimentation principale coplanaires LP1a et LP1b réalisées dans un premier plan de masse PM1 formé sur la face avant d'un substrat SB, pour l'une des polarisations, et d'autre part, à l'aide d'une ligne d'alimentation principale à fente LP1' réalisée dans un autre premier plan de masse PM1' formé sur la face arrière du substrat SB, pour l'autre polarisation orthogonale.

[0099] On profite ainsi du fait que les lignes coplanaire LP1 a et LP1 b et ligne à fente LP1' sont agencées de manière à exciter des fentes orthogonales.

[0100] On peut éventuellement séparer les fentes orthogonales de manière à avoir une excitation par ligne coplanaire et une excitation par ligne à fente, comme illustré sur les figures 30 et 31. Plus précisément, on réalise ici une excitation en double polarisation toujours à l'aide d'un unique substrat orthogonal SB (contenant deux plans de masse PM1 et PM1'). Pour ce faire, on peut utiliser deux fentes de couplage rectangulaires F1 et F2. La fente F1 comporte de préférence des stubs ST au niveau de sa partie centrale. L'excitation est obtenue à l'aide d'une ligne d'alimentation principale coplanaire LP1 réalisée dans un premier plan de masse PM1 formé sur la face avant d'un substrat SB, pour l'une des polarisations, tandis que l'autre excitation (perpendiculaire) est réalisée à l'aide d'une ligne d'alimentation principale à fente LP1' réalisée dans un autre premier plan de masse PM1' formé sur la face arrière du substrat SB, pour l'autre polarisation orthogonale.

[0101] On profite ainsi du fait que les lignes coplanaire LP1 a et LP1 b et ligne à fente LP1' sont agencées de manière à exciter des fentes orthogonales. On peut éventuellement séparer les fentes orthogonales de manière à avoir une excitation par ligne coplanaire et une excitation par ligne à fente.

[0102] Dans une autre variante, on peut obtenir une polarisation circulaire en n'utilisant qu'un seul accès. Pour ce faire, on peut notamment utiliser une structure résonnante présentant, sur une surface ou dans sa structure, au moins un élément parasite électriquement conducteur et destiné à créer ou à renforcer une dissymétrie de la structure résonnante par rapport à la ligne d'alimentation (ou d'accès). Une telle structure est par exemple décrite dans le document brevet FR 2829300 du Centre National de la Recherche Scientifique

(CNRS).

[0103] Dans ce qui précède, on a décrit des structures résonnantes SR de type résonateur diélectrique ou à air. Une variante de structure résonnante SR, illustrée sur la figure 32 peut consister à utiliser une « rondelle » diélectrique échancrée RE, placée au fond d'un cornet CT et réalisant le « négatif » d'un résonateur à air SR (sans paroi latérale d'épaisseur $\lambda/4$) avec uniquement un milieu diélectrique. La ligne d'alimentation principale LP1 peut être de type coplanaire ou à fente.

[0104] Afin d'éviter d'exciter des modes supérieurs dans le cornet CT, ce dernier peut présenter une section réduite dans sa partie logeant la rondelle diélectrique RE, permettant ainsi de libérer de la place pour une excitation à plusieurs accès à la périphérie du cornet, lorsque celui-ci est de type bibandes. Les parois métallique latérales du cornet CT ont un effet miroir et peuvent être placées à une distance du résonateur à air égale à $\lambda/8$ (ou $3\lambda/8$ ou $5\lambda/8$, etc).

[0105] Cette variante de structure résonnante peut être utilisée pour l'alimentation d'une variante de cornet du type de celle illustrée sur les figures 33 et 34. Ici, le cornet CT est de type semi-conique et comporte, dans une partie inférieure, deux iris de couplage IC, et dans une partie intermédiaire et centrale un substrat SBT sur la face inférieure duquel est réalisé le second plan de masse PM2 et la fente de couplage rectangulaire FR, et solidarisé par sa face supérieure à des bobines ou « chokes » de découplage CC concentriques qui logent la rondelle diélectrique RE cylindrique délimitant le résonateur à air SR. La ligne d'alimentation principale LP1 peut être de type coplanaire ou à fente.

[0106] Pour une excitation en bande de fréquence basse, deux accès sont nécessaires à 0° et 180° . Pour une application à forte puissance, l'excitation se fait à l'aide de guides. Pour une application à puissance intermédiaire, on peut recourir au même type d'excitation que dans le cas de la bande de fréquence basse, avec éventuellement un capot diélectrique complémentaire afin de forcer le mode à s'établir dans la structure rayonnante.

[0107] L'utilisation d'un résonateur à air SR peut également permettre une autre variante de dispositif rayonnant, du type de celle illustrée sur les figures 35 et 36. Ici, la ligne d'alimentation principale LP1 est de type coplanaire. Le substrat SB sur lequel elle est formée présente une prolongation étroite traversant le second plan de masse PM2 au niveau d'une fente FR et servant de support à une prolongation PS du conducteur central de la ligne d'alimentation principale LP1. La fente de couplage FR est préférentiellement décentrée par rapport au résonateur à air SR et présente de petites dimensions afin de ne pas rayonner.

[0108] Par ailleurs, chaque dispositif rayonnant D, selon l'invention, peut être éventuellement couplé à un cornet permettant de contrôler l'énergie devant être rayonnée de sorte qu'elle soit conforme à un gabarit choisi. Dans ce cas, la structure résonnante SR est uti-

lisée en tant qu'excitateur compact du cornet.

[0109] En outre, plusieurs dispositifs rayonnants D, du type de ceux décrits ci-avant, peuvent être réunis afin de constituer une partie d'une antenne, éventuellement de type réseau. A cet effet, les dispositifs rayonnants D peuvent être raccordés selon la technologie 3D d'ALCATEL développée pour les circuits hyperfréquences à forte intégration. Cette technologie 3D consiste à noyer dans une résine standard à faibles pertes les circuits sur lesquels sont implantés les composants électroniques définissant le système d'alimentation SA, et à graver le second plan de masse PM2 (orthogonal au premier PM1) sur la face supérieure de la résine. L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de dispositif (ou élément) rayonnant et d'antenne 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, **caractérisé en ce qu'il** comprend un premier plan de masse (PM1) comportant au moins une ligne d'alimentation principale à champ électrique de surface (LP1), un second plan de masse (PM2) sensiblement perpendiculaire au premier plan de masse (PM1) et comportant des moyens de couplage électromagnétique (LA, FR, FR', FR'', FC, FD) alimentés orthogonalement par une première extrémité de ladite ligne d'alimentation principale (LP1), et une structure résonnante (SR) agencée pour rayonner de l'énergie selon une longueur d'onde choisie en cas d'excitation par couplage électromagnétique à la première extrémité de la ligne d'alimentation principale (LP1), via lesdits moyens de couplage.
2. Dispositif la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite ligne d'alimentation principale (LP1) est choisie dans un groupe comprenant une ligne coplanaire et une ligne à fente.
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** ladite structure résonnante (SR) est choisie dans un groupe comprenant un pavé, un résonateur diélectrique et un résonateur à air d'épaisseur égale au quart de ladite longueur d'onde choisie.
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de couplage comportent au moins une ligne d'alimentation auxiliaire (LA) de type coplanaire, sensiblement perpendiculaire à ladite ligne d'alimentation principale (LP1) et comprenant une première extrémité couplée à ladite première extrémité de la ligne d'alimentation principale (LP1) et une seconde extrémité

couplée par effet de proximité à ladite structure résonnante (SR).

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de couplage comportent une fente de couplage (FR, FR', FR'') de forme choisie et agencée de manière à assurer le couplage entre ladite première extrémité de la ligne d'alimentation principale (LP1) et ladite structure résonnante (SR).
6. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** ladite fente de couplage (FR'') présente une forme générale rectangulaire définie par une direction longitudinale et une direction transversale, et **en ce que** ladite ligne d'alimentation principale (LP1) est du type à fente(s) et présente une première extrémité sensiblement parallèle à ladite direction transversale et placée sensiblement au milieu de ladite fente de couplage (FR'').
7. Dispositif selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ladite ligne d'alimentation principale (LP1) comprend un adaptateur d'impédance de type microfente (ST') à une distance choisie de sa première extrémité.
8. Dispositif selon l'une des revendications 6 et 7, **caractérisé en ce que** ledit premier plan de masse (PM1) comprend une ligne de connexion (LC) de type coplanaire, présentant une première extrémité de forme choisie et une seconde extrémité dans laquelle se propagent des premier et second champs électriques de surface antiparallèles, et **en ce que** ladite ligne d'alimentation principale (LP1) comprend une seconde extrémité de forme choisie de manière à coopérer avec ladite première extrémité de la ligne de connexion (LC) pour transformer ledit second champ électrique de surface en ledit premier champ électrique de surface destiné à exciter ladite structure résonnante (SR).
9. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** ladite fente de couplage (FR) présente une forme générale rectangulaire définie par une direction longitudinale et une direction transversale, et **en ce que** ladite ligne d'alimentation principale (LP1) est du type coplanaire et est sensiblement parallèle à ladite direction longitudinale.
10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ladite première extrémité de la ligne d'alimentation principale (LP1) débouche au niveau du milieu d'un côté longitudinal de ladite fente de couplage (FR).
11. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ladite fente de couplage (FR) comprend un

côté longitudinal prolongé perpendiculairement, au milieu, par deux microfentes d'adaptation (ST) de dimensions choisies, parallèles entre elles et espacées d'une distance choisie, ladite première extrémité de la ligne d'alimentation principale (LP1) débouchant sensiblement à la liaison entre ledit côté longitudinal de la fente de couplage (FR) et lesdites microfentes d'adaptation (ST).

12. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** ladite fente de couplage (FR') présente une forme générale rectangulaire définie par une direction longitudinale et une direction transversale, et **en ce que** ladite ligne d'alimentation principale (LP1) est du type coplanaire et présente, au niveau d'une partie médiane de ladite fente de couplage, une première extrémité coudée (ES) sensiblement parallèle à sa direction transversale.
13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'il** comprend un troisième plan de masse (PM3) sensiblement perpendiculaire aux premier (PM1) et second (PM2) plans de masse et comportant en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale (LP21, LP22) sensiblement parallèles et de type coplanaire, **en ce que** ledit premier plan de masse (PM1) comporte en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale (LP11, LP12) sensiblement parallèles et de type coplanaire, et **en ce que** lesdits moyens de couplage comportent une fente de couplage (FC) présentant une forme générale en croix à première (B1) et seconde (B2) branches sensiblement perpendiculaires, ladite première branche (B1) présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux deux lignes d'alimentation principale (LP11, LP12) du premier plan de masse (PM1) et ladite seconde branche (B2) présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux deux lignes d'alimentation principale (LP21, LP22) du troisième plan de masse (PM3), de manière à permettre une double polarisation linéaire.
14. Dispositif selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** ladite première branche (B1) comprend un côté longitudinal prolongé, en ses deux extrémités, par deux microfentes d'adaptation (ST'') de dimensions et formes choisies, et présentant des parties de liaison sensiblement perpendiculaires audit côté longitudinal et espacées d'une distance choisie, ladite première extrémité de chaque ligne d'alimentation principale (LP11, LP12) du premier plan de masse (PM1) débouchant sensiblement à la liaison entre l'une des extrémités du côté longitudinal de la première branche (B1) et lesdites parties de liaison des microfentes d'adaptation (ST''), et **en ce que** ladite seconde branche (B2) comprend un côté longitudinal prolongé, en ses deux extrémités, par

deux microfentes d'adaptation (ST") de dimensions et formes choisies, et présentant des parties de liaison sensiblement perpendiculaires audit côté longitudinal et espacées d'une distance choisie, ladite première extrémité de chaque ligne d'alimentation principale (LP21, LP22) du troisième plan de masse (PM3) débouchant sensiblement à la liaison entre l'une des extrémités du côté longitudinal de la seconde branche (B2) et lesdites parties de liaison des microfentes d'adaptation (ST").

15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** chaque microfente d'adaptation (ST") comprend une partie terminale prolongeant, selon un angle choisi, sa partie de liaison.

16. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'il** comprend une structure d'alimentation (SA) comportant quatre parois, raccordées physiquement deux à deux en définissant un cylindre évidé de section carrée, une première paroi étant constituée dudit premier plan de masse (PM1) comportant une ligne d'alimentation principale à fente (LP1), une deuxième paroi étant constituée d'un troisième plan de masse (PM3) sensiblement perpendiculaire aux premier (PM1) et second (PM2) plans de masse et comportant une ligne d'alimentation principale à fente (LP2), une troisième paroi étant constituée d'un quatrième plan de masse (PM4) sensiblement perpendiculaire aux second (PM2) et troisième (PM3) plans de masse et comportant une ligne d'alimentation principale à fente (LP3), une quatrième paroi étant constituée d'un cinquième plan de masse (PM5) sensiblement perpendiculaire aux premier (PM1), second (PM2) et quatrième (PM4) plans de masse et comportant une ligne d'alimentation principale à fente (LP4), **en ce que** lesdits moyens de couplage comportent une fente de couplage (FC') présentant une forme générale en croix à première (B1) et seconde (B2) branches sensiblement perpendiculaires, ladite première branche (B1) présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux lignes d'alimentation principale (LP1, LP3) des premier (PM1) et quatrième (PM4) plans de masse et ladite seconde branche (B2) présentant deux extrémités opposées couplées respectivement aux lignes d'alimentation principale (LP2, LP4) des troisième (PM3) et cinquième (PM5) plans de masse, de manière à permettre une double polarisation linéaire.

17. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'il** comprend un troisième plan de masse (PM3) sensiblement perpendiculaire aux premier (PM1) et second (PM2) plans de masse et comportant en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale à fente (LP21, LP22) sensiblement parallèles, **en ce que** ledit premier plan

de masse (PM1) comporte en deux endroits choisis deux lignes d'alimentation principale à fente (LP11, LP12) sensiblement parallèles, et **en ce que** lesdits moyens de couplage comportent une fente de couplage (FD) présentant une forme générale en dièse à première (B1), deuxième (B2), troisième (B3) et quatrième (B4) branches sensiblement perpendiculaires deux à deux, lesdites première (B1) et troisième (B3) branches étant respectivement couplées par une partie médiane aux lignes d'alimentation principale (LP11, LP12) du premier plan de masse (PM1), et lesdites deuxième (B2) et quatrième (B4) branches étant respectivement couplées par une partie médiane aux lignes d'alimentation principale (LP22, LP21) du troisième plan de masse (PM3), de manière à permettre une double polarisation linéaire.

18. Dispositif selon la revendication 17, **caractérisé en ce que** lesdits premier (PM1) et troisième (PM3) plans de masse comprennent chacun une ligne de connexion (LC) de type coplanaire présentant une extrémité se séparant en deux parties définissant les deux lignes d'alimentation principale à fente (LP11, LP12 ; LP22, LP21).

19. Dispositif l'une des revendications 5 à 18, **caractérisé en ce que** ledit couplage entre la structure résonnante et ladite fente de couplage est choisi dans un groupe comprenant un couplage inductif, un couplage capacitif et un couplage dipolaire électrique.

20. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisé en ce que**

ledit second plan de masse (PM2) est formé sur un substrat tampon (SBT) d'épaisseur choisie de manière à adapter l'impédance.

21. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 20, **caractérisé en ce qu'il** comprend un cornet couplé à ladite structure résonnante (SR) de manière à être excité par celle-ci en vue de rayonner ladite énergie selon un gabarit choisi.

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

23. Antenne selon la revendication 22, **caractérisée en ce qu'elle** est agencée sous la forme d'une antenne réseau.

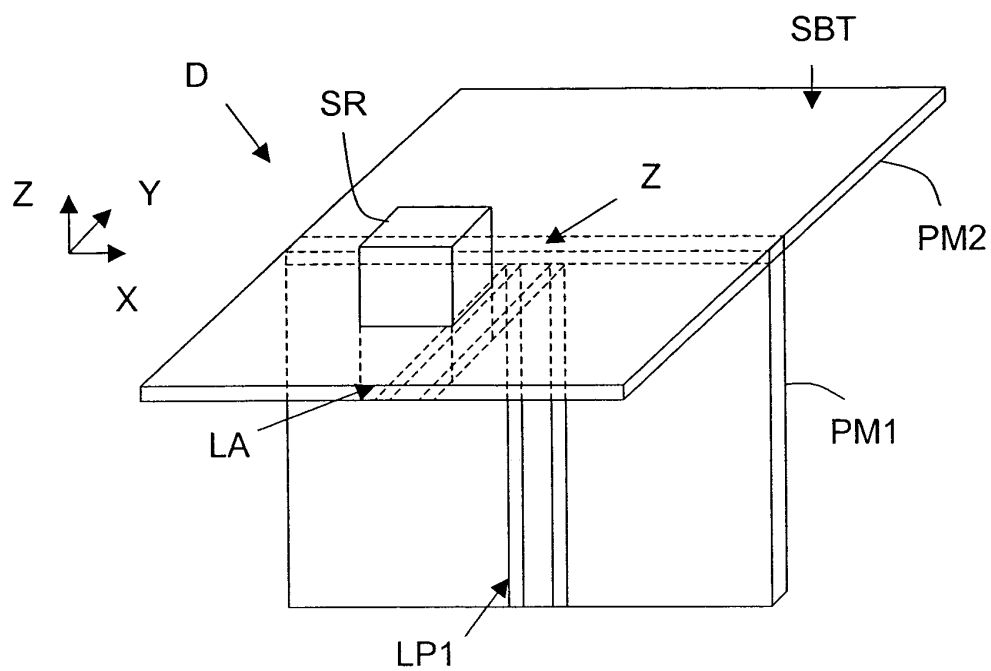


FIG. 1

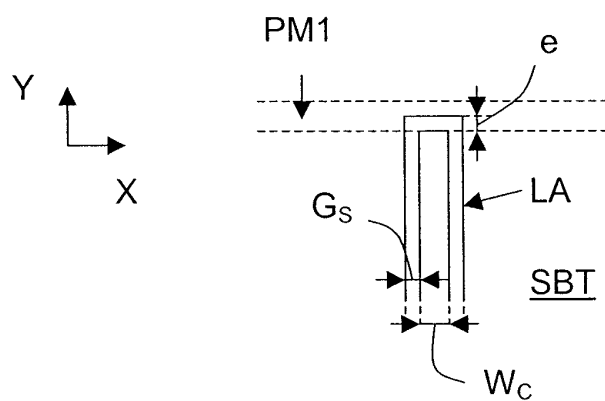


FIG. 2

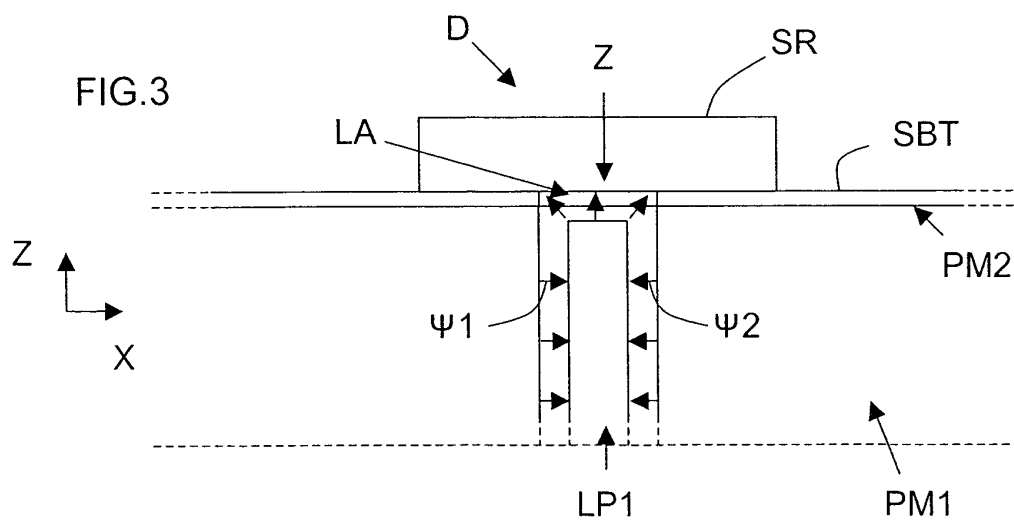
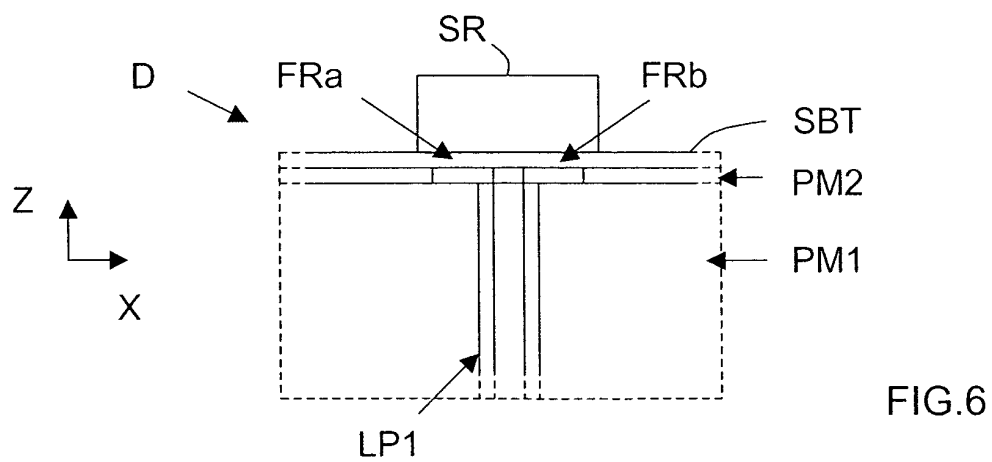
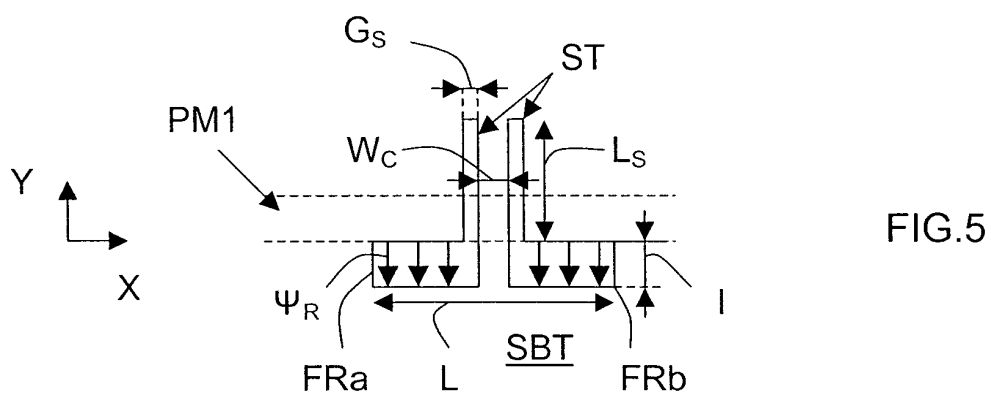
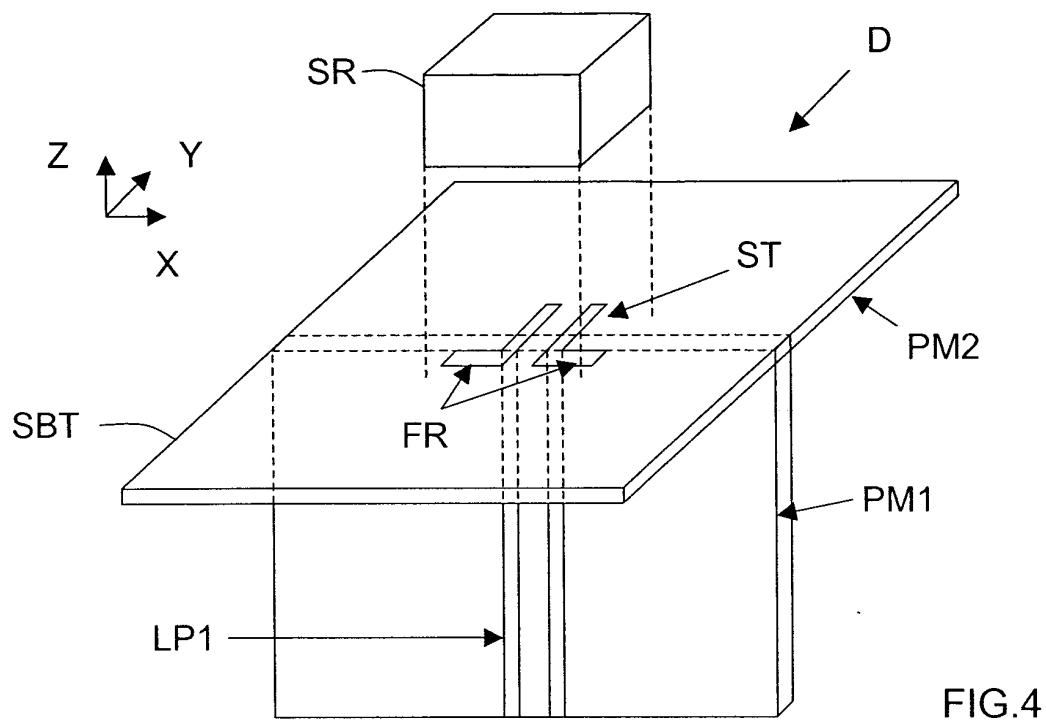
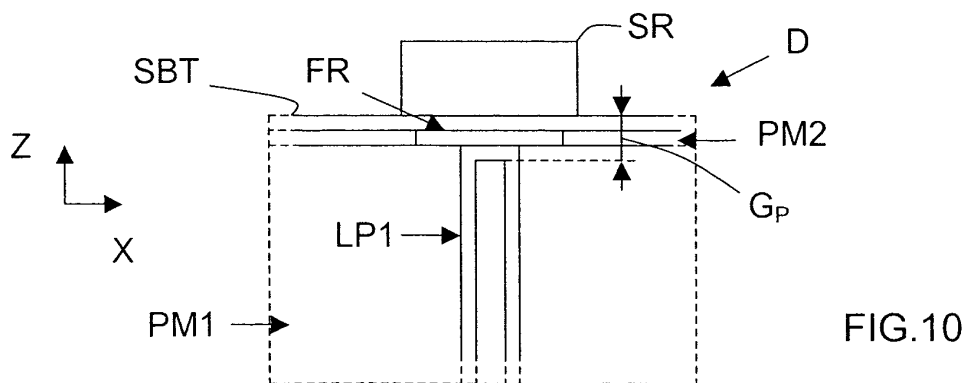
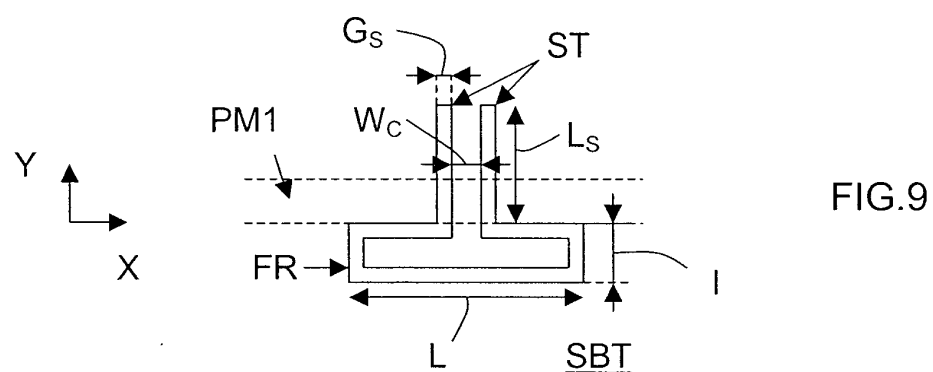
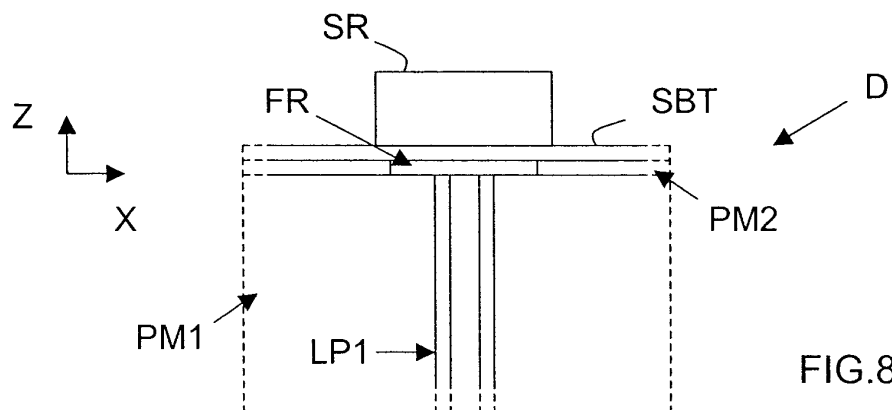
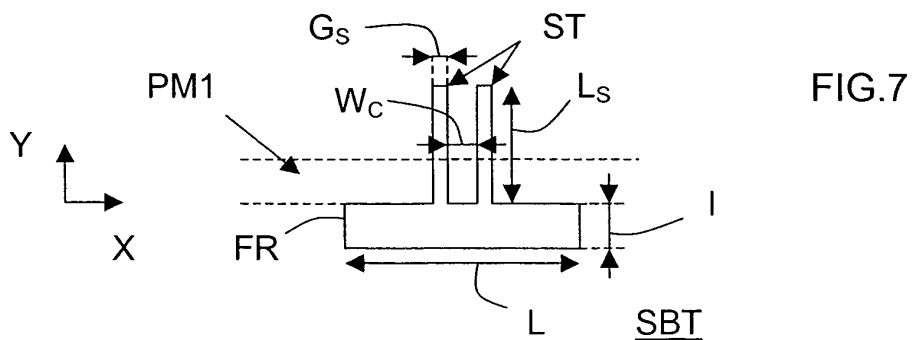
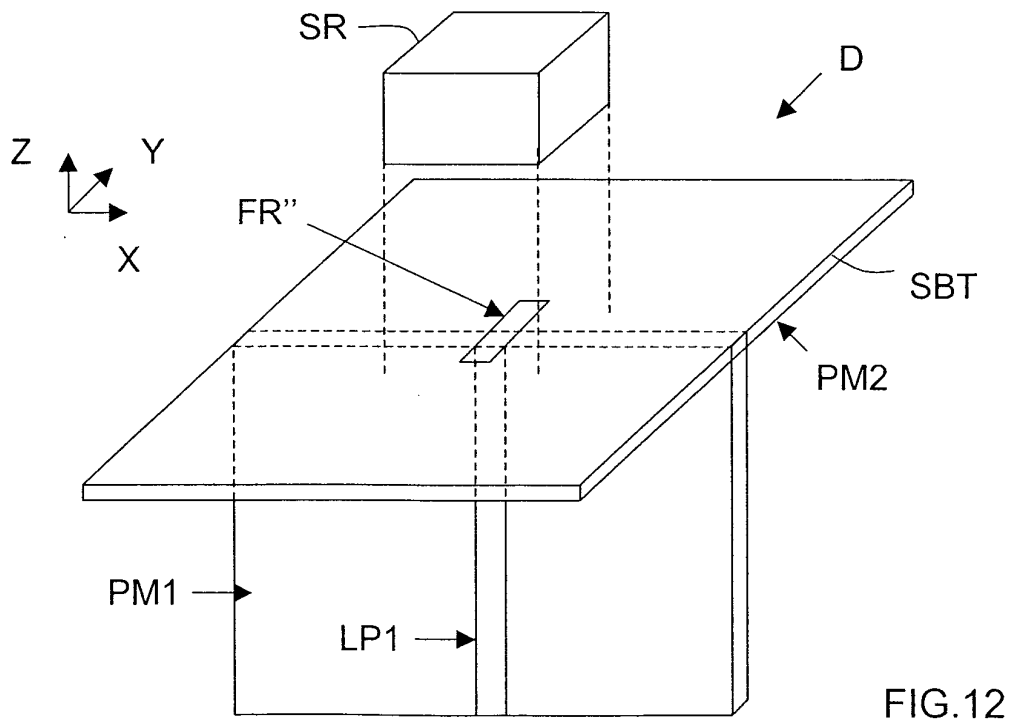
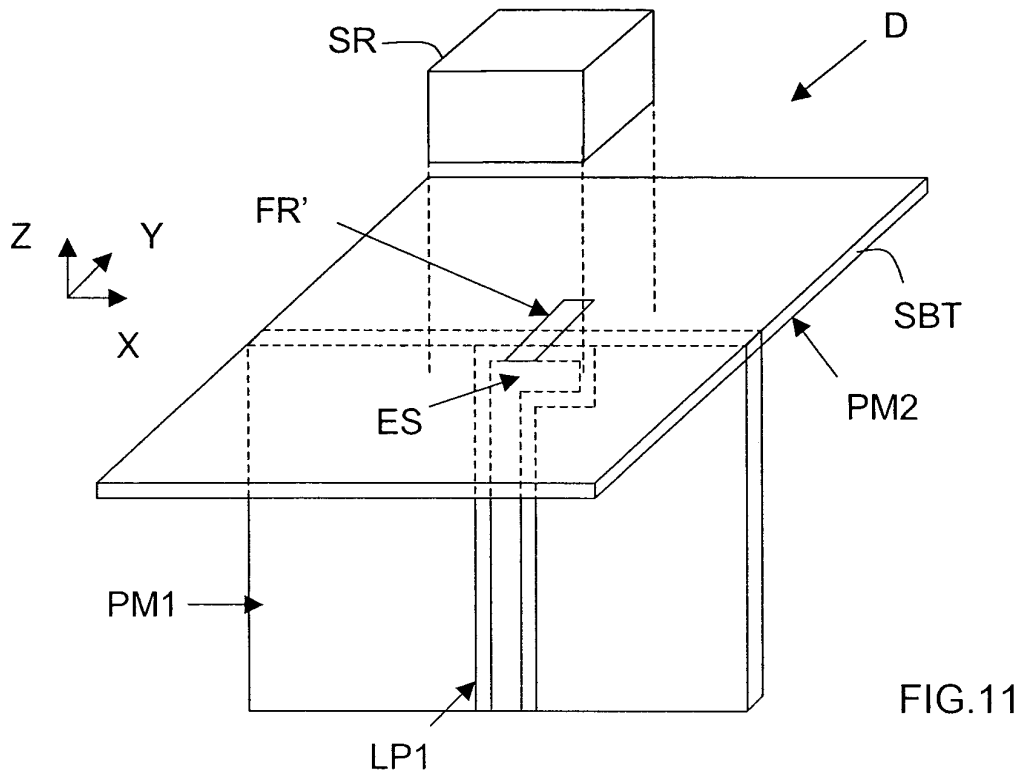


FIG. 3







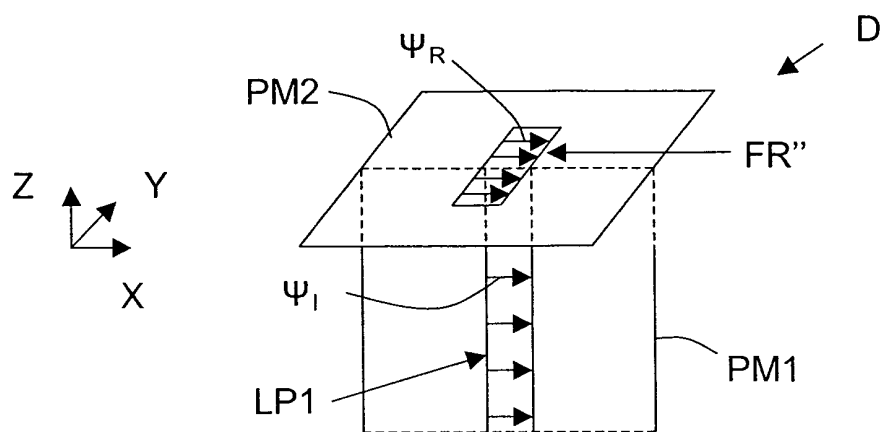


FIG. 13

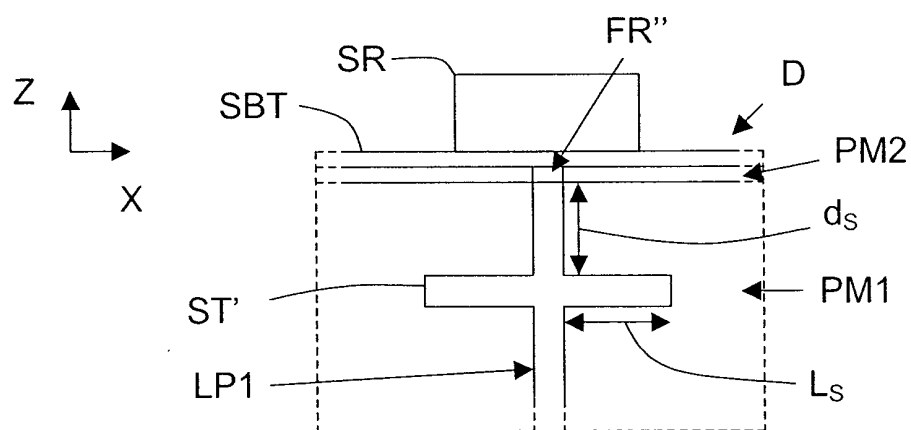


FIG. 14

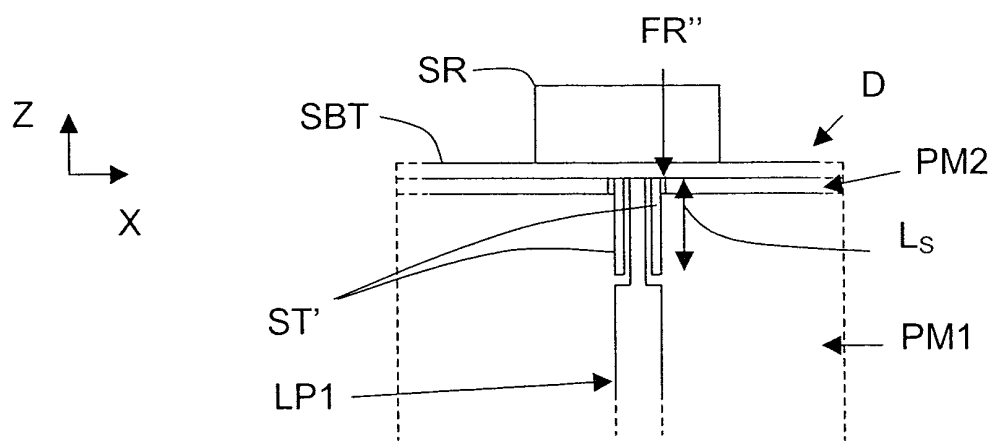
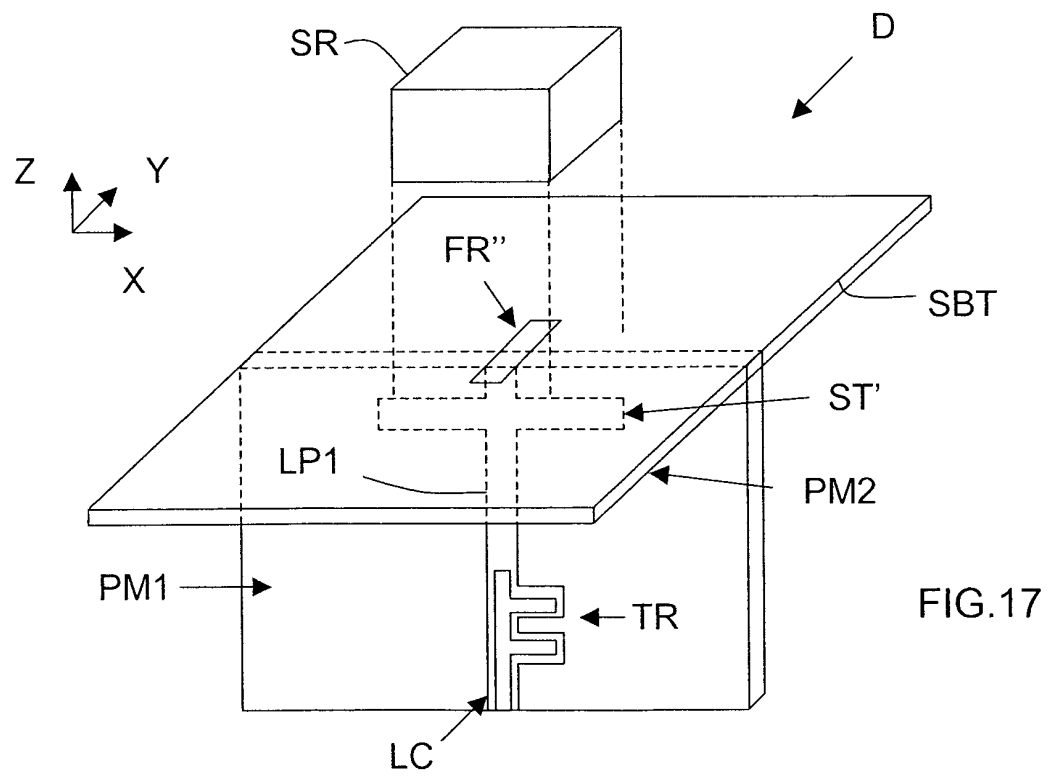
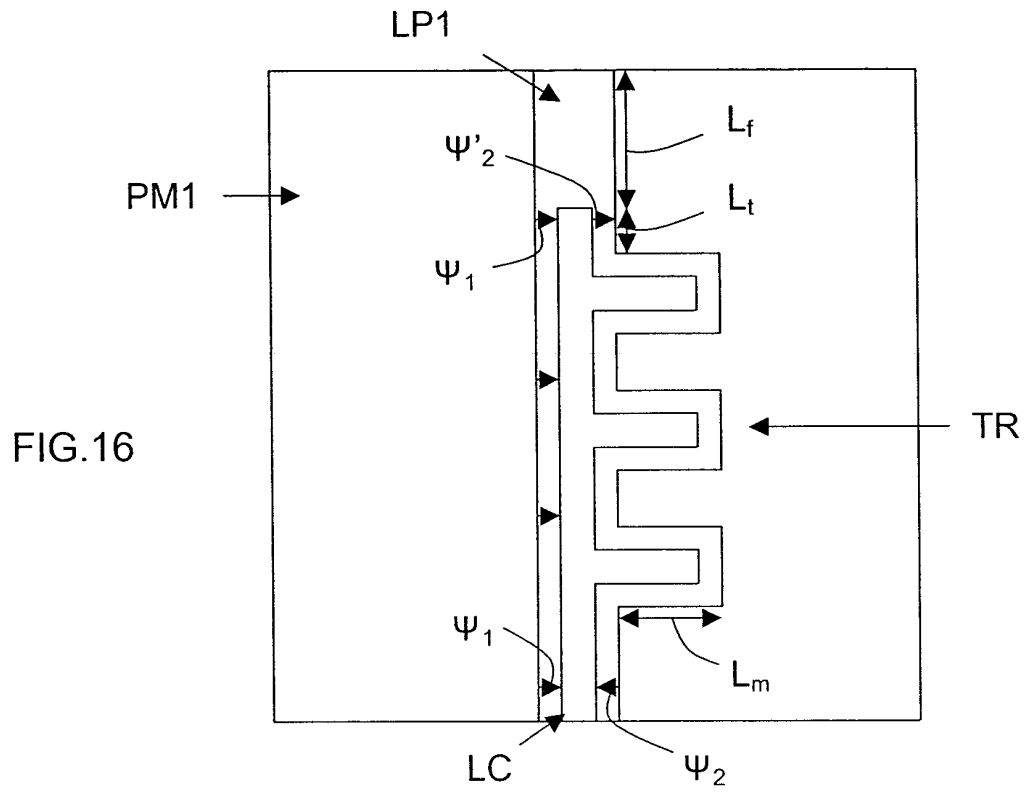


FIG. 15



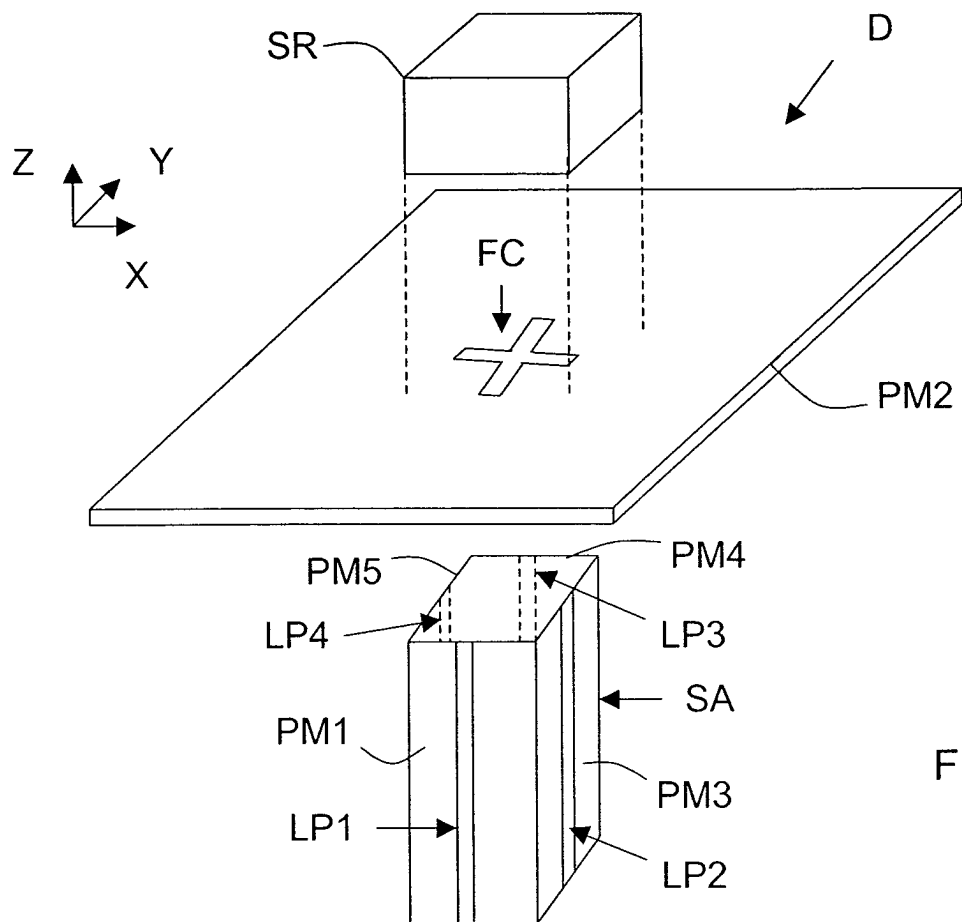


FIG. 18

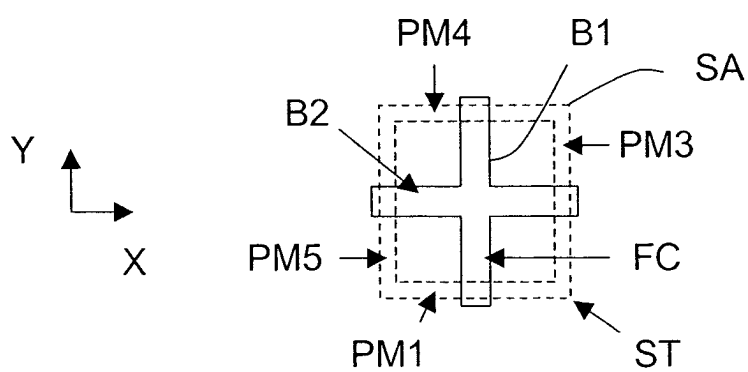


FIG. 19

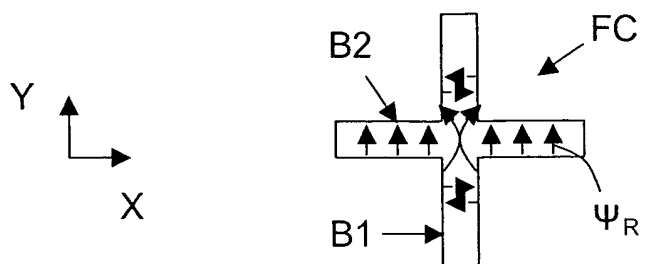


FIG. 20

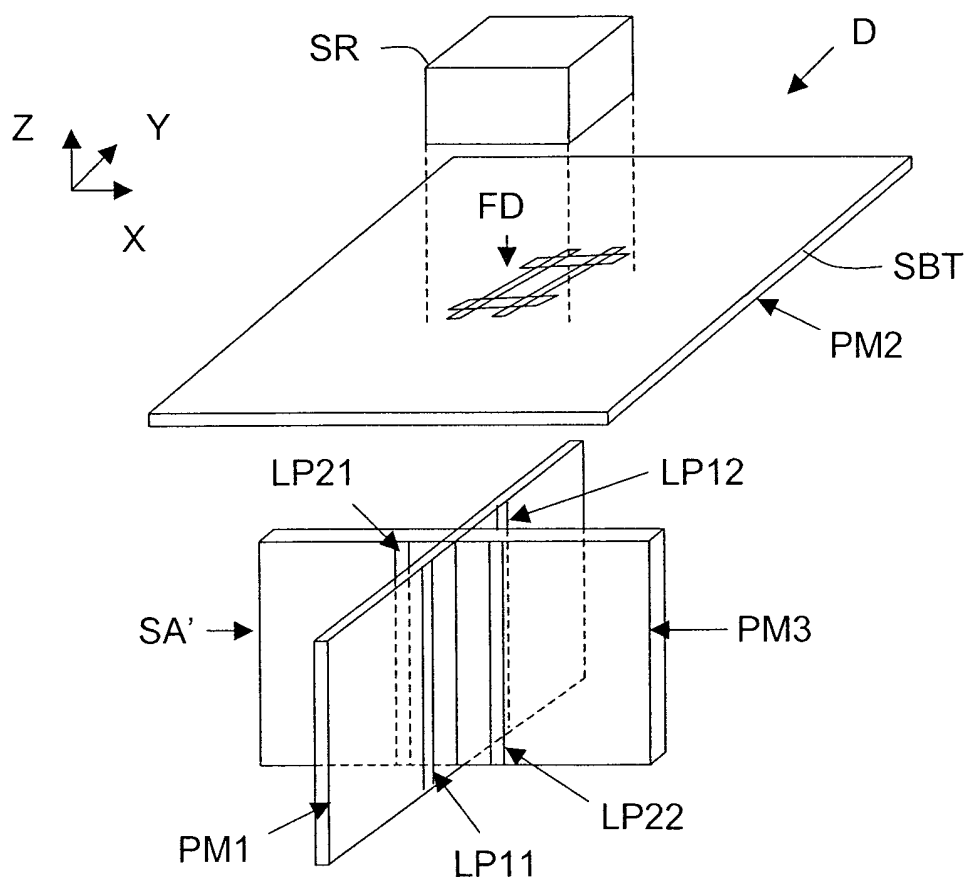


FIG. 21

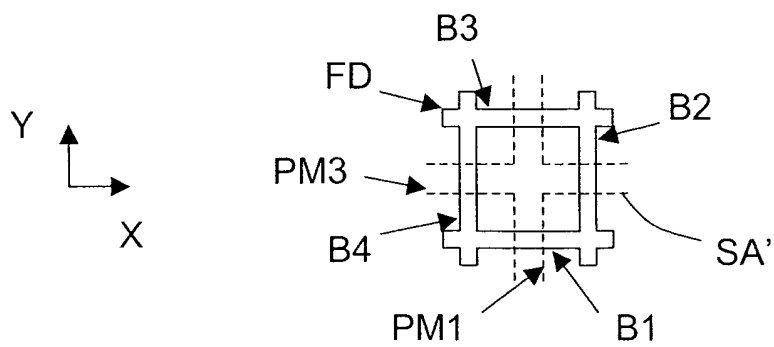


FIG. 22

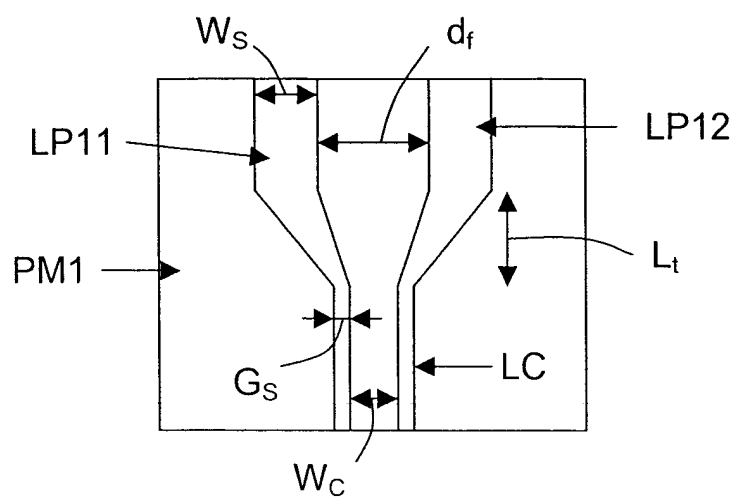


FIG. 23

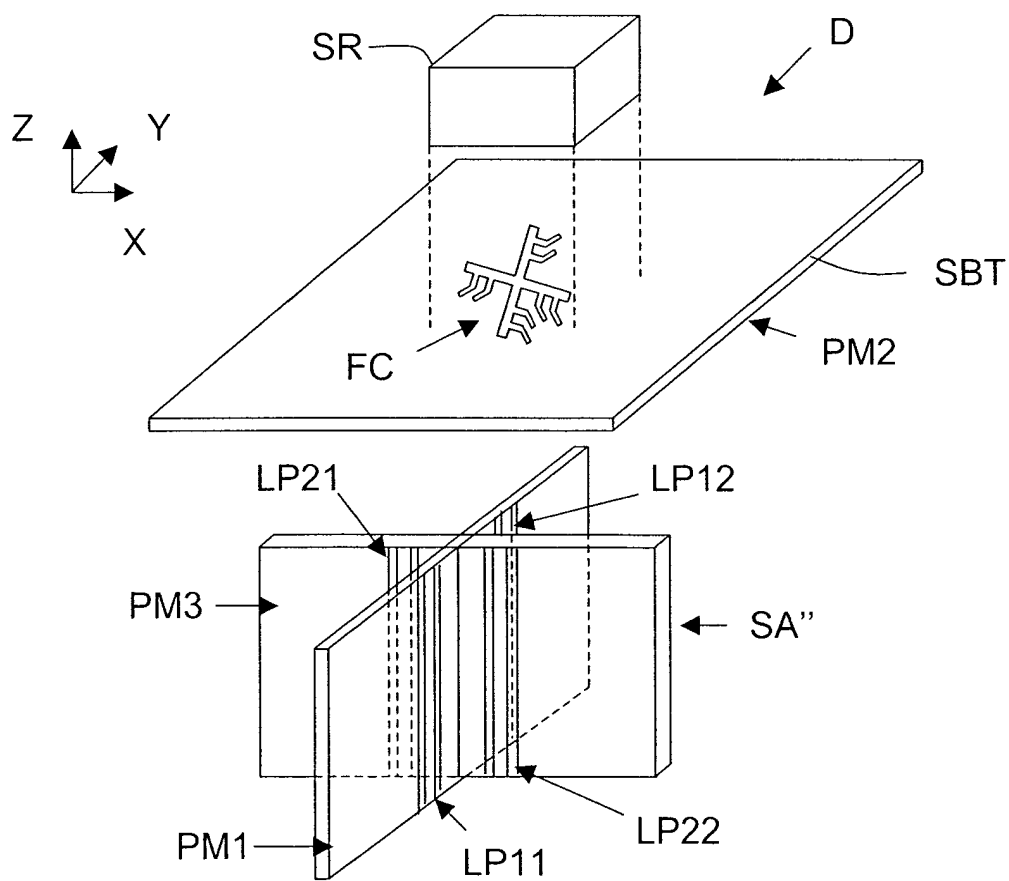


FIG. 24

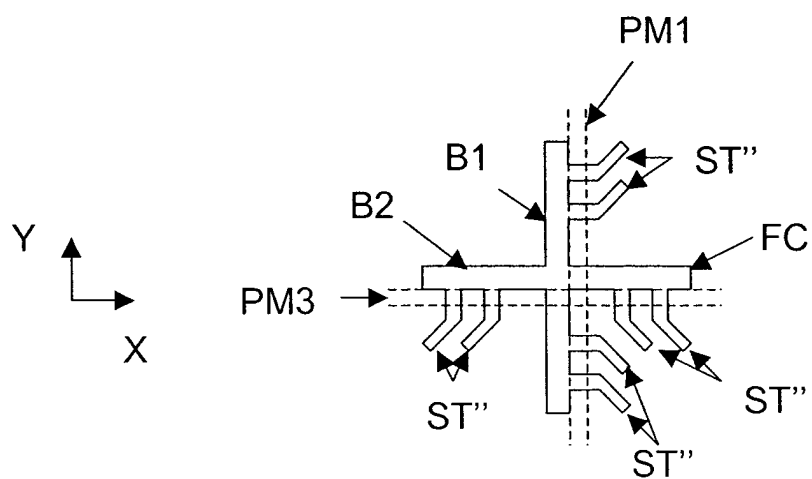


FIG. 25

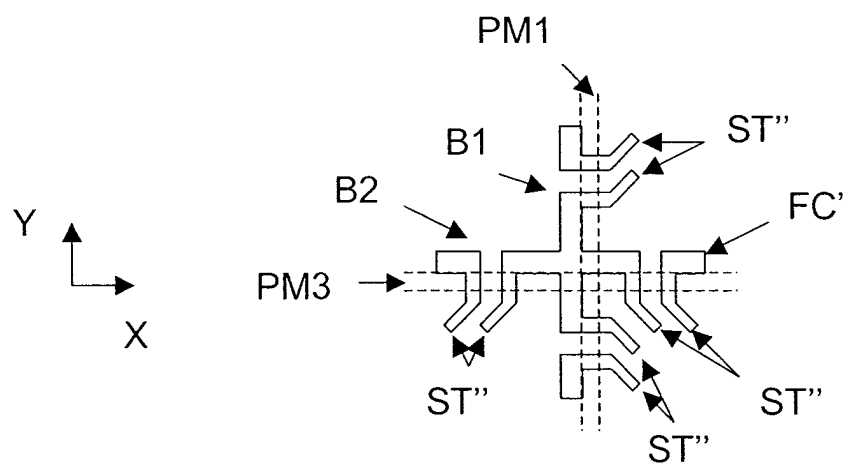


FIG. 26

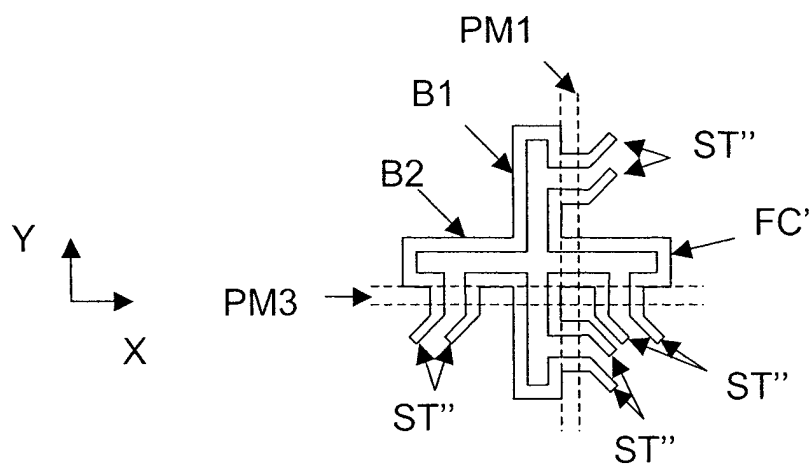


FIG. 27

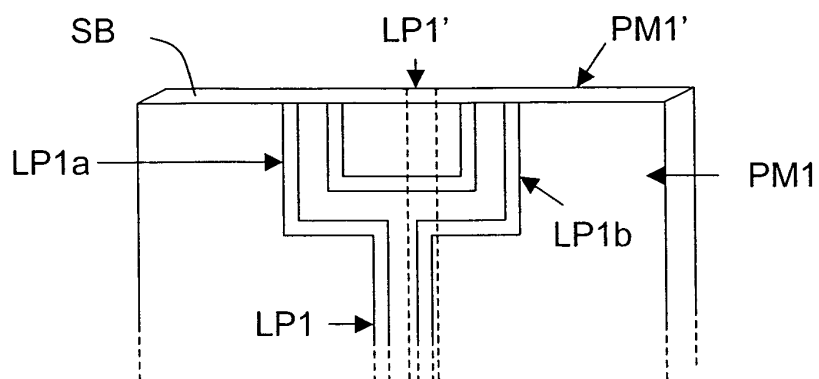


FIG. 28

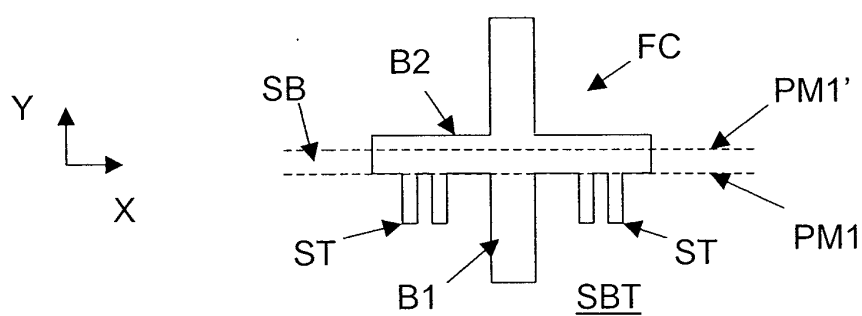


FIG. 29

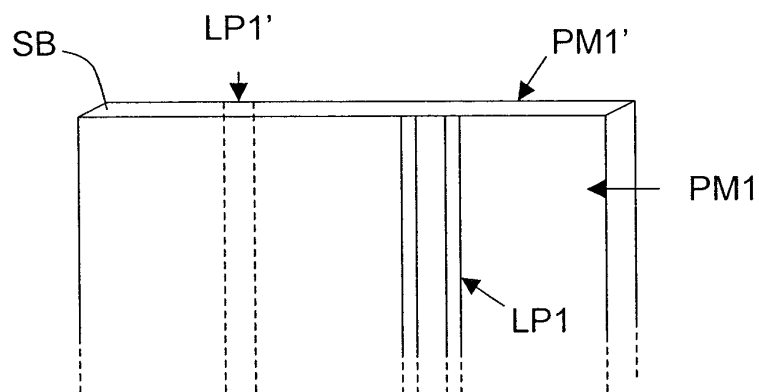


FIG. 30

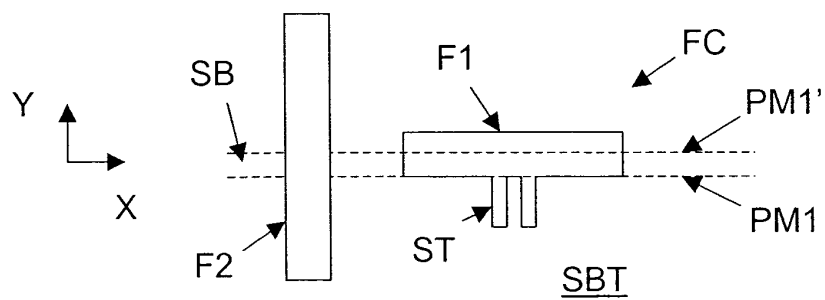
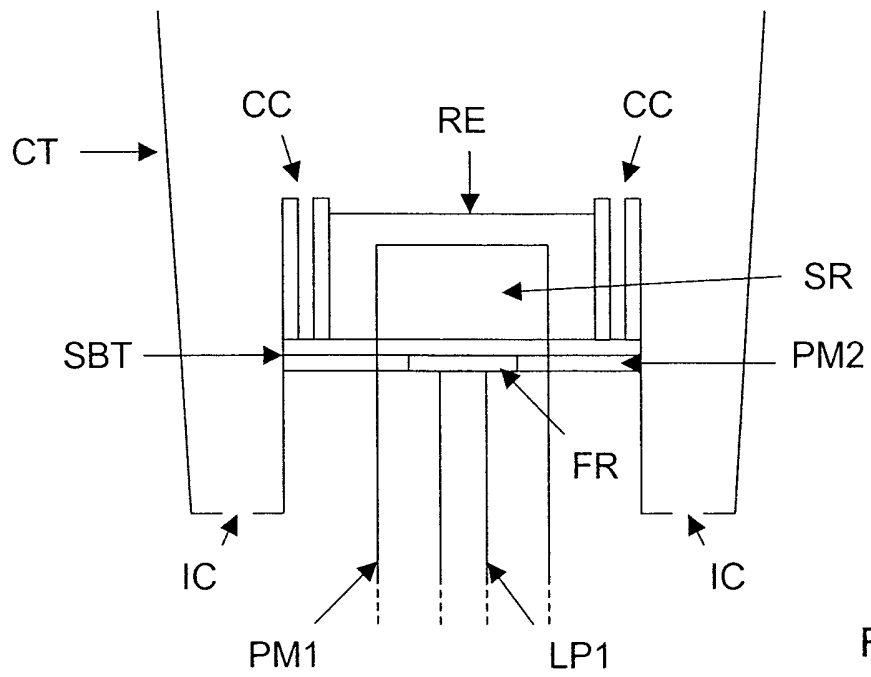
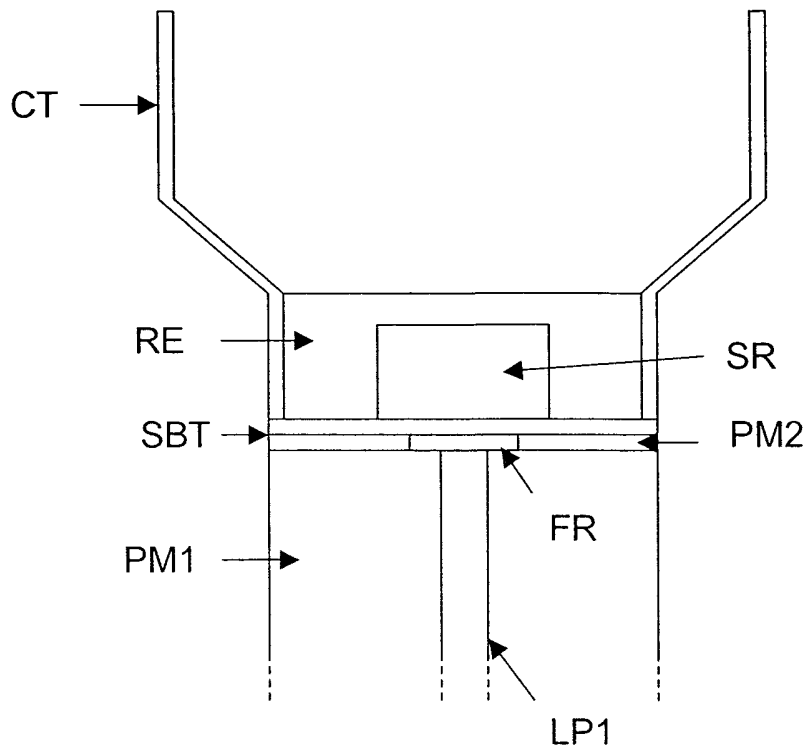


FIG. 31



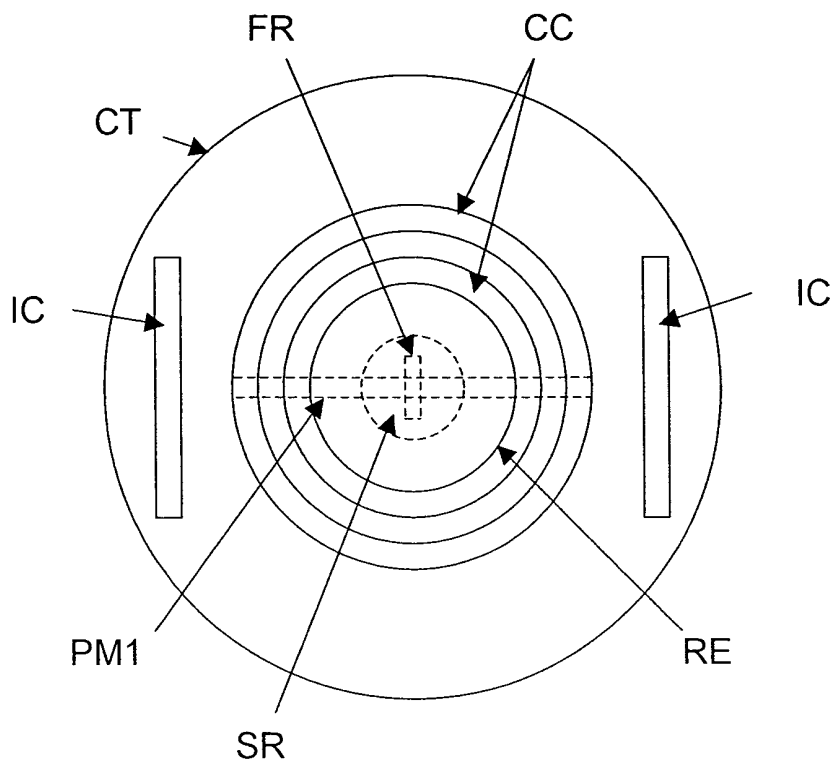


FIG.34

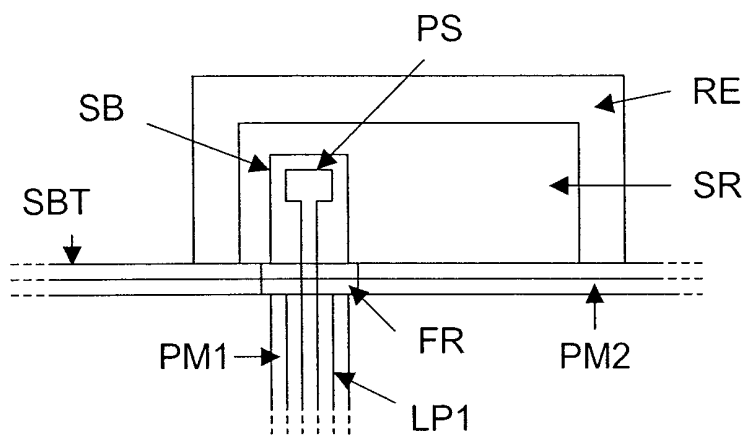


FIG.35

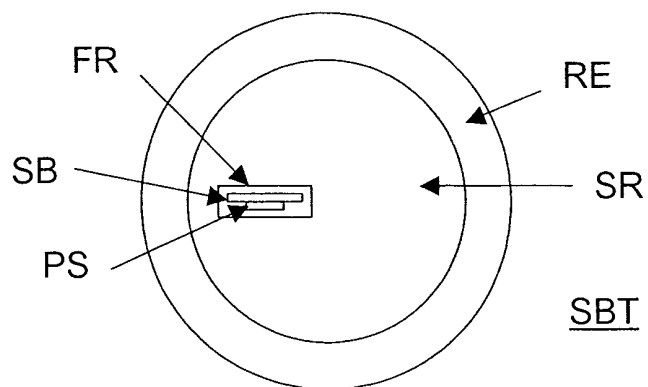


FIG.36



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 05 29 0270

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
X	HERSCOVICIO N I ET AL: "FULL-WAVE SOLUTION FOR AN APERTURE-COUPLED PATCH FED BY PERPENDICULAR COPLANAR STRIPS" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 42, no. 4, 1 avril 1994 (1994-04-01), pages 544-547, XP000450169 ISSN: 0018-926X * le document en entier *	1-3,5, 9-12,22, 23	H01Q21/00 H01Q9/04
X	LEUNG K W ET AL: "Slot-coupled dielectric resonator antenna using a proximity feed on a perpendicular substrate" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 33, no. 20, 25 septembre 1997 (1997-09-25), pages 1665-1666, XP006008015 ISSN: 0013-5194 * le document en entier *	1-3,5, 9-12,22, 23	
A	LEUNG K W: "ANALYSIS OF APERTURE-COUPLED HEMISPHERICAL DIELECTRIC RESONATOR ANTENNA WITH A PERPENDICULAR FEED" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 48, no. 6, juin 2000 (2000-06), pages 1005-1007, XP000959058 ISSN: 0018-926X * le document en entier *	1-23	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 18 août 2005	Examineur Wattiaux, V
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	

3
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 05 29 0270

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	DAS N K: "RIGOROUS ANALYSIS OF AN APERTURE-COUPLED MICROSTRIP ANTENNA FED BY A MICROSTRIP LINE ON A PERPENDICULAR SUBSTRATE" IEEE MICROWAVE AND GUIDED WAVE LETTERS, IEEE INC, NEW YORK, US, vol. 4, no. 6, 1 juin 1994 (1994-06-01), pages 202-204, XP000454558 ISSN: 1051-8207 * le document en entier * -----	1-23	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		18 août 2005	Wattiaux, V
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			

3
EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)