

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication : **2 854 737**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **02 13326**

⑤1 Int Cl<sup>7</sup> : H 01 Q 5/01, H 01 Q 9/00

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 24.10.02.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.11.04 Bulletin 04/46.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés : Division demandée le 31/07/03 bénéficiant de la date de dépôt du 24/10/02 de la demande initiale n° 02 13326.

⑦1 Demandeur(s) : *CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS Etablissement public à caractère scientifique et technologique — FR et CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES — FR.*

⑦2 Inventeur(s) :

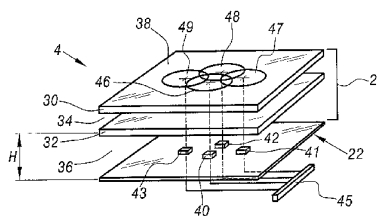
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

⑤4 ANTENNE A MATERIAU BIP MULTI-FAISCEAUX ET/OU MULTI- FREQUENCES ET SYSTEME METTANT EN OEUVRE CES ANTENNES.

⑤7 Cette antenne comporte:  
- un matériau BIP (20) (Bande d'Interdiction Photonique) présentant au moins une bande non passante,  
- au moins un défaut (36) de périodicité du matériau BIP de manière à créer au moins une bande passante étroite au sein de ladite au moins une bande non passante de ce matériau BIP, et  
- un dispositif d'excitation (40 à 43) apte à émettre et/ou recevoir des ondes électromagnétiques à l'intérieur de ladite au moins une bande passante étroite.

Le dispositif d'excitation est apte à travailler simultanément au moins autour d'une première et d'une seconde fréquences de travail distinctes.



FR 2 854 737 - A1



L'invention concerne une antenne multi-faisceaux comportant :

- un matériau BIP (Bande d'Interdiction Photonique) apte à filtrer spatialement et fréquentiellement des ondes électromagnétiques, ce matériau BIP présentant au moins une bande non passante et formant une surface  
5 extérieure rayonnante en émission et/ou en réception,
  - au moins un défaut de périodicité du matériau BIP de manière à créer au moins une bande passante étroite au sein de ladite au moins une bande non passante de ce matériau BIP, et
  - un dispositif d'excitation apte à émettre et/ou recevoir des ondes  
10 électromagnétiques à l'intérieur de ladite au moins une bande passante étroite créée par ledit au moins un défaut.

Les antennes multi-faisceaux sont très utilisées dans les applications spatiales et notamment dans des satellites géostationnaires pour émettre vers la surface terrestre et/ou recevoir des informations à partir de la surface  
15 terrestre. Elles comportent à cet effet plusieurs éléments rayonnants générant chacune un faisceau d'ondes électromagnétiques espacé des autres faisceaux. Ces éléments rayonnants sont, par exemple, placés à proximité du foyer d'une parabole formant réflecteur de faisceaux d'ondes électromagnétiques, la parabole et l'antenne multi-faisceaux étant logées dans un satellite  
20 géostationnaire. La parabole est destinée à diriger chaque faisceau sur une zone correspondante de la surface terrestre. Chaque zone de la surface terrestre éclairée par un faisceau de l'antenne multi-faisceaux est communément appelée une zone de couverture. Ainsi, chaque zone de couverture correspond à un élément rayonnant.

25 Actuellement, les éléments rayonnants utilisés sont connus sous le terme de "cornets" et l'antenne multi-faisceaux équipée de tels cornets est désignée sous le nom d'antenne à cornets. Chaque cornet produit une tache rayonnante sensiblement circulaire formant l'embase d'un faisceau conique rayonné en émission ou en réception. Ces cornets sont disposés les uns à côté  
30 des autres de manière à rapprocher le plus possible les taches rayonnantes les unes des autres.

La figure 1A représente schématiquement une antenne multi-faisceaux à cornets en vue de face dans laquelle sept carrés F1 à F7 indiquent

l'encombrement de sept cornets disposés jointivement les uns aux autres. Sept cercles S1 à S7, inscrits chacun dans l'un des carrés F1 à F7, représentent les taches rayonnantes produites par les cornets correspondants. L'antenne de la figure 1A est placée au foyer d'une parabole d'un satellite géostationnaire destinée à émettre des informations sur le territoire français.

La figure 1B représente des zones C1 à C7 de couverture à -3 dB, correspondant chacune à une tache rayonnante de l'antenne de la figure 1A. Le centre de chaque cercle correspond à un point de la surface terrestre où la puissance reçue est maximale. Le pourtour de chaque cercle délimite une zone à l'intérieur de laquelle la puissance reçue sur la surface terrestre est supérieure à la moitié de la puissance maximale reçue au centre du cercle. Bien que les taches rayonnantes S1 à S7 soient pratiquement jointives, celles-ci produisent, essentiellement à cause de la distance les séparant de la surface terrestre, des zones de couverture à -3 dB disjointes les unes des autres. Les régions situées entre les zones de couverture à -3 dB sont appelées, ici, des trous de réception. Chaque trou de réception correspond donc à une région de la surface terrestre où la puissance reçue est inférieure à la moitié de la puissance maximale reçue. Dans ces trous de réception, la puissance reçue peut s'avérer insuffisante pour qu'un récepteur au sol puisse fonctionner correctement.

Pour résoudre ce problème de trou de réception, il a été proposé de chevaucher entre elles les taches rayonnantes de l'antenne multi-faisceaux. Une vue de face partielle d'une telle antenne multi-faisceaux comportant plusieurs taches rayonnantes se chevauchant est illustrée à la figure 2A. Sur cette figure, seules deux taches rayonnantes SR1 et SR2 ont été représentées. Chaque tache rayonnante est produite à partir de sept sources de rayonnement indépendantes et distinctes les unes des autres. La tache rayonnante SR1 est formée à partir des sources de rayonnement SdR1 à SdR7 disposées jointivement les unes à côtés des autres. Une tache rayonnante SR2 est produite à partir des sources de rayonnement SdR1, SdR2, SdR3 et SdR7 et de sources de rayonnement SdR8 à SdR10. Les sources de rayonnement SdR1 à SdR7 sont propres à travailler à une première fréquence de travail pour créer un premier faisceau d'ondes électromagnétiques sensiblement uniforme à

cette première fréquence. Les sources de rayonnement SdR1 à SdR3 et SdR7 à SdR10 sont propres à travailler à une seconde fréquence de travail de manière à créer un second faisceau d'ondes électromagnétiques sensiblement uniforme à cette seconde fréquence de travail. Ainsi, les sources de rayonnement SdR1 à SdR3 et SdR7 sont aptes à travailler simultanément à la première et à la seconde fréquences de travail. La première et la seconde fréquences de travail sont différentes l'une de l'autre de manière à limiter les interférences entre le premier et le second faisceaux produits.

Ainsi, dans une telle antenne multi-faisceaux, des sources de rayonnement, telles que les sources de rayonnement SdR1 à 3, sont utilisées à la fois pour créer la tache rayonnante SR1 et la tache rayonnante SR2, ce qui produit un chevauchement de ces deux taches rayonnantes SR1 et SR2. Une illustration de la disposition des zones de couverture à  $-3$  dB créées par une antenne multi-faisceaux présentant des taches rayonnantes chevauchées est représentée sur la figure 2B. Une telle antenne permet de réduire considérablement les trous de réception, voire même de les faire disparaître. Toutefois, en partie à cause du fait qu'une tache rayonnante est formée à partir de plusieurs sources de rayonnement indépendantes et distinctes les unes des autres, dont au moins certaines sont également utilisées pour d'autres taches rayonnantes, cette antenne multi-faisceaux est plus complexe à commander que les antennes à cornets classiques.

L'invention vise également à remédier à cet inconvénient en proposant une antenne multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées plus simple.

Elle a donc pour objet une antenne telle que définie plus haut, caractérisée :

- en ce que le dispositif d'excitation est apte à travailler simultanément au moins autour d'une première et d'une seconde fréquences de travail distinctes,
- en ce que le dispositif d'excitation comporte un premier et un second éléments d'excitation distincts et indépendants l'un de l'autre, aptes chacun à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques, le premier élément d'excitation étant apte à travailler à la première fréquence de travail et

le second élément d'excitation étant apte à travailler à la seconde fréquence de travail,

5 - en ce que le ou chaque défaut de périodicité du matériau BIP forme une cavité résonante à fuites présentant une hauteur constante dans une direction orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante, et des dimensions latérales déterminées parallèles à ladite surface extérieure rayonnante,

10 - en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter chacune un mode de résonance d'une cavité résonante à fuites, ce mode de résonance s'établissant de façon identique quelles que soient les dimensions latérales de la cavité, de manière à créer sur ladite surface extérieure respectivement une première et une seconde taches rayonnantes, chacune de ces taches rayonnantes représentant l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonnées en émission et/ou en réception par l'antenne,

15 - en ce que chacune des taches rayonnantes présente un centre géométrique dont la position est fonction de la position de l'élément d'excitation qui lui donne naissance et dont la surface est supérieure à celle de l'élément rayonnant lui donnant naissance, et

20 - en ce que le premier et le second éléments d'excitation sont placés l'un par rapport à l'autre de manière à ce que la première et la seconde taches rayonnantes soient disposées sur la surface extérieure du matériau BIP l'une à côté de l'autre et se chevauchent partiellement.

25 Dans l'antenne multi-faisceaux décrite ci-dessus, chaque élément d'excitation produit une seule tache rayonnante formant l'embase ou section droite à l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques. Ainsi, de ce point de vue là, cette antenne est comparable avec les antennes à cornets conventionnelles où un cornet produit une seule tache rayonnante. La commande de cette antenne est donc similaire à celle d'une antenne à cornets conventionnelle. De plus, les éléments d'excitation sont placés de manière à  
30 chevaucher les taches rayonnantes. Cette antenne présente donc les avantages d'une antenne multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées sans que la complexité de la commande des éléments d'excitation ait été accrue par rapport à celle des antennes multi-faisceaux à cornets.

Suivant d'autres caractéristiques d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention :

- chaque tache rayonnante est sensiblement circulaire, le centre géométrique correspondant à un maximum de puissance émise et/ou reçue et la périphérie correspondant à une puissance émise et/ou reçue égale à une fraction de la puissance maximale émise et/ou reçue en son centre, et la distance, dans un plan parallèle à la surface extérieure, séparant les centres géométriques des deux éléments d'excitation, est strictement inférieure au rayon de la tache rayonnante produite par le premier élément d'excitation ajouté au rayon de la tache rayonnante produite par le second élément d'excitation,
- le centre géométrique de chaque tache rayonnante est placé sur la ligne orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante et passant par le centre géométrique de l'élément d'excitation lui donnant naissance,
- le premier et le second éléments d'excitation sont placés à l'intérieur d'une même cavité,
- la première et la seconde fréquences de travail sont situées à l'intérieur de la même bande passante étroite créée par cette même cavité,
- le premier et le second éléments d'excitation sont placés chacun à l'intérieur de cavités résonantes distinctes, et la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter chacune un mode de résonance indépendant des dimensions latérales de leur cavité respective,
- la ou chaque cavité est de forme parallélépipédique.

L'invention concerne également un système d'émission et/ou de réception d'ondes électromagnétiques comportant :

- un dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques émises et/ou reçues par le système sur un point focal, et
- un émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques placé sensiblement au point focal de manière à émettre et/ou recevoir lesdites ondes électromagnétiques, caractérisé en ce qu'il comporte une antenne selon l'invention, dont la surface extérieure rayonnante est sensiblement placée sur le point focal de manière à former ledit émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques.

Suivant d'autres caractéristiques du système conforme à l'invention :

- le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est un réflecteur parabolique,

- le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est une lentille électromagnétique.

5 L'invention concerne également une antenne multi-fréquences.

Les antennes à matériau BIP présentent l'avantage d'avoir un encombrement réduit par rapport à d'autres types d'antennes, telles que les antennes à réflecteur, à lentille ou à cornet.

De telles antennes à matériau BIP sont décrites en particulier dans la  
10 demande de brevet FR 99 14521, publiée sous le n° 2 801 428 au nom du C.N.R.S. (Centre National de la Recherche Scientifique). Ce brevet décrit précisément un mode de réalisation d'un matériau BIP présentant un seul défaut formant une cavité résonante à fuites. De plus, et bien qu'aucun mode de réalisation de cette variante ne soit décrit explicitement, ce brevet envisage  
15 également la possibilité de créer des antennes multi-bandes à partir de matériaux BIP. En effet, ce brevet enseigne qu'un défaut créé dans le matériau BIP permet d'engendrer une bande passante étroite au sein d'une bande non passante plus large de ce matériau BIP. Par conséquent, pour créer des antennes multi-bandes, plusieurs défauts doivent être créés dans le matériau  
20 BIP de manière à créer plusieurs bandes passantes étroites au sein de la même bande non passante du matériau BIP. C'est ce qui est indiqué à la page 10, lignes 23 à 25 de cette demande de brevet FR 99 14521.

Il est rappelé ici qu'une antenne multi-bandes désigne une antenne apte à travailler à plusieurs fréquences de travail différentes et distinctes les  
25 unes des autres. De plus, l'antenne multi-bandes présente, pour chacune des fréquences de travail, un même diagramme de rayonnement et la même polarisation de rayonnement.

La construction d'antennes multi-bandes selon l'enseignement de la demande de brevet FR 99 14521 s'est avérée compliquée, notamment à cause  
30 des difficultés de conception d'un matériau BIP multi-défauts.

L'invention vise à remédier à cet inconvénient en proposant une antenne multi-fréquences à matériau BIP plus simple à construire.

L'invention a donc également pour objet une antenne multi-fréquences telle que décrite ci-dessus, caractérisée en ce que :

- le dispositif d'excitation est apte à travailler simultanément au moins autour d'une première et d'une seconde fréquences de travail distinctes,

5                   - la première et la seconde fréquences de travail sont situées à l'intérieur respectivement d'une première et d'une seconde bandes passantes étroites, distinctes l'une de l'autre, et la première et la seconde bandes passantes étroites sont créées par le même défaut de périodicité du matériau BIP.

10                   En effet, il a été découvert qu'un même et unique défaut du matériau BIP crée plusieurs bandes passantes étroites centrées respectivement autour de plusieurs fréquences différentes les unes des autres. Ainsi, pour construire une antenne multi-fréquences, il n'est pas nécessaire de construire une antenne à matériau BIP multi-défauts, ce qui simplifie la construction de telles  
15                   antennes.

Suivant d'autres caractéristiques d'une antenne multi-fréquences conforme à l'invention :

- le défaut de périodicité du matériau BIP créant la première et la seconde bandes passantes étroites forme une cavité résonante à fuites  
20                   présentant une hauteur constante dans une direction orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante, et cette hauteur est adaptée pour placer la première et de la seconde bandes passantes étroites au sein de ladite au moins une bande non passante du matériau BIP,

- la hauteur de la cavité est adaptée pour placer la première et la  
25                   seconde bandes passantes étroites au sein d'une même bande non passante du matériau BIP,

- le matériau BIP présente une première et une seconde bandes non passantes disjointes et espacées l'une de l'autre, et la hauteur de la cavité est adaptée pour placer la première et la seconde bandes passantes étroites au  
30                   sein respectivement de la première et de la seconde bandes non passantes du matériau BIP,

- ladite première bande passante étroite est sensiblement centrée sur une fréquence fondamentale, tandis que ladite seconde bande passante

étroite est sensiblement centrée sur un multiple entier de cette fréquence fondamentale,

- la cavité présente une famille de fréquences de résonance formée par une fréquence fondamentale et ses harmoniques, le mode de résonance de la cavité et le diagramme de rayonnement de l'antenne étant les mêmes pour chaque fréquence de résonance de la famille, et la première et la seconde fréquences de travail correspondent chacune, dans leur bande passante étroite respective, à une fréquence de la même famille,

- la cavité présente au moins deux familles de fréquences de résonance formées chacune par une fréquence fondamentale et ses harmoniques, le mode de résonance et le diagramme de rayonnement de l'antenne étant les mêmes pour chaque fréquence de résonance d'une même famille et différents de ceux des autres familles de fréquences de résonance, et la première et la seconde fréquences de travail correspondent chacune, dans leur bande passante étroite respective, à des fréquences appartenant à des familles différentes,

- le dispositif d'excitation est propre à émettre des ondes électromagnétiques à la première fréquence de travail ayant une polarisation différente des ondes électromagnétiques émises à la seconde fréquence de travail.

- le dispositif d'excitation comporte au moins un même élément d'excitation apte à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques simultanément à la première et à la seconde fréquences de travail,

- le dispositif d'excitation comporte un premier et un second éléments d'excitation aptes chacun à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques, et en ce que le premier élément d'excitation est apte à travailler à la première fréquence de travail, tandis que le second élément d'excitation est apte à travailler à la seconde fréquence de travail,

- chacun des éléments d'excitation est propre à générer, sur ladite surface extérieure, respectivement une première et une seconde taches rayonnantes disjointes l'une de l'autre, chacune de ces taches rayonnantes représentant l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonné en émission et/ou en réception par l'antenne,

- la cavité résonante à fuites est de forme parallélépipédique.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins, sur lesquels :

- 5                   - les figures 1A, 1B, 2A et 2B représentent des antennes multi-faisceaux connues ainsi que les zones de couverture résultantes ;
- la figure 3 est une vue en perspective d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention ;
- la figure 4 est un graphique représentant le coefficient de  
10 transmission de l'antenne de la figure 3 ;
- la figure 5 est un graphique représentant le diagramme de rayonnement de l'antenne de la figure 3 ;
- la figure 6 est une illustration schématique et en coupe d'un système d'émission/réception d'ondes électromagnétiques équipé de l'antenne  
15 de la figure 3 ;
- la figure 7 représente un deuxième mode de réalisation d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention ;
- la figure 8 représente le coefficient de transmission de l'antenne de la figure 7 ;
- 20                   - la figure 9 représente un troisième mode de réalisation d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention ;
- la figure 10 est une illustration d'une antenne multi-fréquences conforme à l'invention ;
- la figure 11 est un graphique représentant le coefficient de  
25 transmission de l'antenne de la figure 10 ;
- les figures 12A et 12B sont des illustrations des diagrammes de rayonnement de l'antenne de la figure 10 ;
- la figure 13 est une illustration d'un second mode de réalisation d'une antenne multi-fréquences conforme à l'invention ;
- 30                   - la figure 14 est un graphique représentant le coefficient de transmission de l'antenne de la figure 13 ; et
- la figure 15 est une illustration d'une antenne semi-cylindrique conforme à l'invention.

La figure 3 représente une antenne multi-faisceaux 4. Cette antenne 4 est formée d'un matériau 20 à bande d'interdiction photonique ou matériau BIP associé à un plan métallique 22 réflecteur d'ondes électromagnétiques.

5 Les matériaux BIP sont connus et la conception d'un matériau BIP tel que le matériau 20 est, par exemple, décrite dans la demande de brevet FR 99 14521. Ainsi, seules les caractéristiques spécifiques de l'antenne 4 par rapport à cet état de la technique seront décrites ici en détail.

10 Il est rappelé qu'un matériau BIP est un matériau qui possède la propriété d'absorber certaines gammes de fréquences, c'est-à-dire d'interdire toute transmission dans lesdites gammes de fréquences précitées. Ces gammes de fréquences forment ce qu'il est appelé ici une bande non passante.

Une bande non passante B du matériau 20 est illustrée à la figure 4. Cette figure 4 représente une courbe représentant les variations du coefficient de transmission exprimé en décibels en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique émise ou reçue. Ce coefficient de transmission est représentatif de l'énergie transmise d'un côté du matériau BIP par rapport à l'énergie reçue de l'autre côté. Dans le cas du matériau 20, la bande non passante B ou bande d'absorption B s'étend sensiblement de 7 GHz à 17 GHz.

20 La position et la largeur de cette bande non passante B est uniquement fonction des propriétés et des caractéristiques du matériau BIP.

Le matériau BIP est généralement constitué d'un arrangement périodique de diélectrique de permittivité et/ou de perméabilité variable. Ici, le matériau 20 est formé à partir de deux lames 30, 32 réalisées dans un premier matériau magnétique tel que de l'alumine et de deux lames 34 et 36 formées dans un second matériau magnétique tel que de l'air. La lame 34 est interposée entre les lames 30 et 32, tandis que la lame 36 est interposée entre la lame 32 et le plan réflecteur 22. La lame 30 est disposée à une extrémité de cet empilement de lames. Elle présente une surface extérieure 38 à l'opposé de sa surface en contact avec la lame 34. Cette surface 38 forme une surface rayonnante en émission et/ou en réception.

De façon connue, l'introduction d'une rupture dans cette périodicité géométrique et/ou radioélectrique, rupture encore appelée défaut, permet

d'engendrer un défaut d'absorption et donc la création d'une bande passante étroite au sein de la bande non passante du matériau BIP. Le matériau est, dans ces conditions, désigné par matériau BIP à défauts.

Ici, une rupture de périodicité géométrique est créée en choisissant la hauteur ou épaisseur H de la lame 36 supérieure à celle de la lame 34. De façon connue, et de manière à créer une bande passante étroite E (figure 4) sensiblement au milieu de la bande passante B, cette hauteur H est définie par la relation suivante :

$$H = 0,5 \times \lambda \sqrt{\varepsilon_r \times \mu_r}$$

où :

- $\lambda$  est la longueur d'onde correspondant à la fréquence médiane  $f_m$  de la bande passante E,
- $\varepsilon_r$  est la permittivité relative de l'air, et
- $\mu_r$  est la perméabilité relative de l'air.

Ici, la fréquence médiane  $f_m$  est sensiblement égale à 1,2 GHz.

La lame 36 forme une cavité résonante parallélépipédique à fuites dont la hauteur H est constante et dont les dimensions latérales sont définies par les dimensions latérales du matériau BIP 20 et du réflecteur 22. Ces lames 30 et 32, ainsi que le plan réflecteur 22, sont rectangulaires et de dimensions latérales identiques. Ici, ces dimensions latérales sont choisies de manière à être plusieurs fois plus grandes que le rayon R défini par la formule empirique suivante :

$$G_{dB} \geq 20 \log \frac{\pi \Phi}{\lambda} - 2,5. \quad (1)$$

où :

- $G_{dB}$  est le gain en décibels souhaité pour l'antenne,
- $\Phi = 2 R$ ,
- $\lambda$  est la longueur d'onde correspondant à la fréquence médiane  $f_m$

A titre d'exemple, pour un gain de 20 dB, le rayon R est sensiblement égal à  $2.15 \lambda$ .

De façon connue, une telle cavité résonante parallélépipédique présente plusieurs familles de fréquences de résonance. Chaque famille de

fréquences de résonance est formée par une fréquence fondamentale et ses harmoniques ou multiples entiers de la fréquence fondamentale. Chaque fréquence de résonance d'une même famille excite le même mode de résonance de la cavité. Ces mode de résonance sont connus sous les termes  
 5 de modes de résonance  $TM_0, TM_1, \dots, TM_i, \dots$ . Ces modes de résonance sont décrits plus en détail dans le document de F. Cardiol, "Electromagnétisme, traité d'Electricité, d'Electronique et d'Electrotechnique", Ed. Dunod, 1987.

Il est rappelé ici que le mode de résonance  $TM_0$  est susceptible d'être excité par une gamme de fréquences d'excitation voisine d'une fréquence  
 10 fondamentale  $f_{m0}$ . De façon similaire, chaque mode  $TM_i$  est susceptible d'être excité par une gamme de fréquences d'excitation voisine d'une fréquence fondamentale  $f_{mi}$ . Chaque mode de résonance correspond à un diagramme de rayonnement de l'antenne particulier et à une tache rayonnante en émission et/ou en réception formée sur la surface extérieure 38. La tache rayonnante est  
 15 ici la zone de la surface extérieure 38 contenant l'ensemble des points où la puissance rayonnée en émission et/ou en réception est supérieure ou égale à la moitié de la puissance maximale rayonnée à partir de cette surface extérieure par l'antenne 4. Chaque tache rayonnante admet un centre géométrique correspondant au point où la puissance rayonnée est  
 20 sensiblement égale à la puissance rayonnée maximale.

Dans le cas du mode de résonance  $TM_0$ , cette tache rayonnante s'inscrit dans un cercle dont le diamètre  $\phi$  est donné par la formule (1). Pour le mode de résonance  $TM_0$ , le diagramme de rayonnement est ici fortement directif le long d'une direction perpendiculaire à la surface extérieure 38 et  
 25 passant par le centre géométrique de la tache rayonnante. Le diagramme de rayonnement correspondant au mode de résonance  $TM_0$  est illustré sur la figure 5.

Les fréquences  $f_{mi}$  sont placées à l'intérieur de la bande passante étroite E.

30 Finalement, quatre éléments d'excitation 40 à 43 sont placés les uns à côté des autres dans la cavité 36 sur le plan réflecteur 22. Dans l'exemple décrit ici, les centres géométriques de ces éléments d'excitation sont placés

aux quatre angles d'un losange dont les dimensions des côtés sont strictement inférieures à  $2R$ .

Chacun de ces éléments d'excitation est apte à émettre et/ou recevoir une onde électromagnétique à une fréquence de travail  $f_{Ti}$  différente de celle des autres éléments d'excitation. Ici, la fréquence  $f_{Ti}$  de chaque élément d'excitation est voisine de  $f_{m0}$  de manière à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 36. Ces éléments d'excitation 40 à 43 sont raccordés à un générateur/récepteur 45 classique de signaux électriques destinés à être transformés par chaque élément d'excitation en une onde électromagnétique et vice-versa.

Ces éléments d'excitation sont, par exemple, constitués par un dipôle rayonnant, une fente rayonnant, une sonde plaque ou un patch rayonnants. L'encombrement latéral de chaque élément rayonnant, c'est-à-dire dans un plan parallèle à la surface extérieure 38, est strictement inférieur à la surface de la tache rayonnante à laquelle il donne naissance.

La figure 6 illustre un exemple d'application de l'antenne 4. La figure 6 représente un système 60 d'émission et/ou de réception d'ondes électromagnétiques propre à équiper un satellite géostationnaire. Ce système 60 comporte une parabole 62 formant réflecteur de faisceaux d'ondes électromagnétiques et l'antenne 4 placée au foyer de cette parabole 62. Les faisceaux d'ondes électromagnétiques émis ou reçus par la surface extérieure 38 de l'antenne 4 sont représentés sur cette figure par des traits 64.

Le fonctionnement de l'antenne de la figure 4 va maintenant être décrit dans le cas particulier du système de la figure 6.

En émission, l'élément d'excitation 40, activé par le générateur/récepteur 45, émet une onde électromagnétique à une fréquence de travail  $f_{T0}$  et excite le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 36. Les autres éléments rayonnants 41 à 43 sont, par exemple, simultanément activés par le générateur/récepteur 45 et font de même respectivement aux fréquences de travail  $f_{T1}$ ,  $f_{T2}$  et  $f_{T3}$ .

Il a été découvert que, pour le mode de résonance  $TM_0$ , la tache rayonnante et le diagramme de rayonnement correspondant sont indépendants des dimensions latérales de la cavité 36. En effet, le mode de résonance  $TM_0$

n'est fonction que de l'épaisseur et de la nature des matériaux de chacune des lames 30 à 36 et s'établit indépendamment des dimensions latérales de la cavité 36 lorsque celles-ci sont plusieurs fois supérieures au rayon  $R$  défini précédemment. Ainsi, plusieurs modes de résonance  $TM_0$  peuvent s'établir  
5 simultanément l'un à côté de l'autre et donc générer simultanément plusieurs taches rayonnantes disposées les unes à côté des autres. C'est ce qui se produit lorsque les éléments d'excitation 40 à 43 excitent, chacun en des points différents de l'espace, le même mode de résonance. Par conséquent, l'excitation par l'élément d'excitation 40 du mode de résonance  $TM_0$  se traduit  
10 par l'apparition d'une tache rayonnante 46 sensiblement circulaire et dont le centre géométrique est placé à la verticale du centre géométrique de l'élément 40. De façon similaire, l'excitation par les éléments 41 à 43 du mode de résonance  $TM_0$  se traduit par l'apparition, à la verticale du centre géométrique de chacun de ces éléments, respectivement de taches rayonnantes 47 à 49. Le  
15 centre géométrique de l'élément 40 étant à une distance strictement inférieure à  $2R$  du centre géométrique des éléments 41 et 43, la tache rayonnante 46 chevauche en partie les taches rayonnantes 47 et 49 correspondant respectivement aux éléments rayonnants 41 et 43. Pour les mêmes raisons, la tache rayonnante 49 chevauche en partie les taches rayonnantes 46 et 48, la  
20 tache rayonnante 48 chevauche en partie les taches rayonnantes 49 et 47 et la tache rayonnante 47 chevauche en partie les taches rayonnantes 46 et 48.

Chaque tache rayonnante correspond à l'embase ou section droite à l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonné vers la parabole 62 et réfléchi par cette parabole 62 vers la surface terrestre. Ainsi, de façon  
25 similaire aux antennes multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées connues, les zones de couverture sur la surface terrestre correspondant à chacun des faisceaux émis sont proches les unes des autres, voire se chevauchent, de manière à supprimer ou à réduire les trous de réception.

En réception, de façon similaire à ce qui a été décrit en émission,  
30 chaque tache rayonnante de la surface extérieure 38 correspond à une zone de couverture sur la surface terrestre. Ainsi, par exemple, si une onde électromagnétique est émise à partir de la zone de couverture correspondant à la tache rayonnante 46, celle-ci est reçue dans la surface correspondant à la

tache 46 après avoir été réfléchiée par la parabole 62. Si l'onde reçue est à une fréquence comprise dans la bande passante étroite E, elle n'est pas absorbée par le matériau BIP 20 et elle est reçue par l'élément d'excitation 40. Chaque onde électromagnétique reçue par un élément d'excitation est transmise sous  
5 forme d'un signal électrique au générateur/récepteur 45.

La figure 7 représente une antenne 70 réalisée à partir d'un matériau BIP 72 et d'un réflecteur 74 d'ondes électromagnétiques et la figure 8 l'évolution du coefficient de transmission de cette antenne en fonction de la fréquence.

Le matériau BIP 72 est, par exemple, identique au matériau BIP 20  
10 et présente la même bande non passante B (figure 8). Les lames formant ce matériau BIP déjà décrites en regard de la figure 3 portent les mêmes références numériques.

Le réflecteur 74 est formé, par exemple, à partir du plan réflecteur 22 déformé de manière à diviser la cavité 36 en deux cavités résonantes 76 et 78  
15 de hauteurs différentes. La hauteur constante  $H_1$  de la cavité 76 est déterminée de manière à placer, au sein de la bande non passante B, une bande passante étroite  $E_1$  (figure 8), par exemple, autour de la fréquence de 10 GHz. De façon similaire, la hauteur  $H_2$  de la cavité résonante 78 est déterminée pour placer, au sein de la même bande non passante B, une bande passante étroite  $E_2$   
20 (figure 8), par exemple centrée autour de 14 GHz. Le réflecteur 74 se compose ici de deux demi-plans réflecteurs 80 et 82 disposés en gradins et reliés électriquement l'un à l'autre. Le demi-plan réflecteur 80 est parallèle à la lame 32 et espacé de celle-ci de la hauteur  $H_1$ . Le demi-plan 82 est parallèle à la lame 32 et espacé de celle-ci de la hauteur constante  $H_2$ .

25 Finalement, un élément d'excitation 84 est disposé dans la cavité 76 et un élément d'excitation 86 est disposé dans la cavité 78. Ces éléments d'excitation 84, 86 sont, par exemple, identiques aux éléments d'excitation 40 à 43 à l'exception du fait que l'élément d'excitation 84 est propre à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 76, tandis que l'élément d'excitation 86 est  
30 propre à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 78.

Dans ce mode de réalisation, la distance horizontale, c'est-à-dire parallèle à la lame 32, séparant le centre géométrique des éléments

d'excitation 84 et 86, est strictement inférieure à la somme des rayons de deux taches rayonnantes produites respectivement par les éléments 84 et 86.

Le fonctionnement de cette antenne 70 est identique à celui de l'antenne de la figure 3. Toutefois, dans ce mode de réalisation, les fréquences de travail des éléments d'excitation 84 et 86 sont situées dans des bandes passantes étroites  $E_1$ ,  $E_2$  respectives. Ainsi, contrairement à l'antenne 4 de la figure 3, les fréquences de travail de chacun de ces éléments d'excitation sont séparées l'une de l'autre par un grand intervalle de fréquence, par exemple, ici, 4 GHz. Dans ce mode de réalisation, les positions des bandes passantes  $E_1$ ,  $E_2$  sont choisies de manière à pouvoir utiliser des fréquences de travail imposées.

La figure 9 représente une antenne multi-faisceaux 100. Cette antenne 100 est similaire à l'antenne 4 à l'exception du fait que le matériau BIP mono-défaut 20 du dispositif rayonnant 4 est remplacé par un matériau BIP 102 à plusieurs défauts. Sur la figure 7, les éléments déjà décrits en regard de la figure 4 portent les mêmes références numériques.

L'antenne 100 est représentée en coupe suivant un plan de coupe perpendiculaire au plan réflecteur 22 et passant par les éléments d'excitation 41 et 43.

Le matériau BIP 102 comporte deux groupements successifs 104 et 106 de lames réalisées dans un premier matériau diélectrique. Les groupements 104 et 106 sont superposés dans la direction perpendiculaire au plan réflecteur 22. Chaque groupement 104, 106 est formé, à titre d'exemple non limitatif, respectivement par deux lames 110, 112 et 114, 116 parallèles au plan réflecteur 22. Chaque lame d'un groupement a la même épaisseur que les autres lames de ce même groupement. Dans le cas du groupement 106, chaque lame a une épaisseur  $e_2 = \lambda/2$  où  $\lambda$  désigne la longueur d'onde de la fréquence médiane de la bande étroite créée par les défauts du matériau BIP.

Chaque lame du groupement 104 a une épaisseur  $e_1 = \lambda/4$ .

Le calcul de ces épaisseurs  $e_1$  et  $e_2$  découle de l'enseignement divulgué dans le brevet français 99 14521 (2 801 428).

Entre chaque lame du matériau BIP 102 à défaut est interposée une lame en un second matériau diélectrique, tel que de l'air. L'épaisseur de ces lames séparant les lames 110, 112, 114 et 116 est égale à  $\lambda/4$ .

La première lame 116 est disposée en vis-à-vis du plan réflecteur 22 et séparée de ce plan par une lame en second matériau diélectrique d'épaisseur  $\lambda/2$  de manière à former une cavité parallélépipédique résonante à fuites. De préférence, l'épaisseur  $e_i$  des lames de matériau diélectrique, consécutive de chaque groupe de lames de matériau diélectrique, est en progression géométrique de raison  $q$  dans la direction des groupements 104, 106 successifs.

De plus, dans le mode de réalisation décrit ici, à titre d'exemple non limitatif, le nombre de groupements superposés est égal à 2 afin de ne pas surcharger le dessin, et la raison de progression géométrique est également prise égale à 2. Ces valeurs ne sont pas limitatives.

Cette superposition de groupements de matériau BIP ayant des caractéristiques de perméabilité magnétique, de permittivité diélectrique et d'épaisseur  $e_i$  différentes accroît la largeur de la bande passante étroite créée au sein de la même bande non passante du matériau BIP. Ainsi, les fréquences de travail des éléments rayonnants 40 à 43 sont choisies plus espacées les unes des autres que dans le mode de réalisation de la figure 3.

Le fonctionnement de ce dispositif rayonnant 100 découle directement de celui de l'antenne 4.

En variante, la parabole 62 est remplacée par une lentille électromagnétique.

La figure 10 représente une antenne multi-fréquences comportant un matériau 142 à bande d'interdiction photonique ou matériau BIP et un plan métallique 144 réflecteur d'ondes électromagnétiques.

Il est rappelé qu'un matériau BIP est un matériau qui possède la propriété d'absorber certaines gammes de fréquences, de sorte qu'il présente une ou plusieurs bandes non passantes, dans lesquelles toute transmission d'ondes électromagnétiques est interdite.

Le matériau BIP est généralement constitué d'un arrangement périodique de diélectrique de permittivité et/ou de perméabilité variable.

L'introduction d'une rupture dans cette périodicité géométrique et/ou radioélectrique, rupture encore appelée défaut, permet d'engendrer un défaut d'absorption et donc de créer une bande passante étroite au sein d'une bande non passante du matériau BIP. Le matériau BIP est, dans ces conditions, désigné par matériau BIP à défaut.

Pour une description détaillée d'une telle antenne présentant un seul défaut, le lecteur pourra utilement se reporter à la demande de brevet français FR 99 14521 (2 801 428), et plus particulièrement au mode de réalisation décrit en regard de la figure 6.

L'agencement général de l'antenne 140 étant déjà décrit en détail dans la demande de brevet référencée ci-dessus, seules les caractéristiques spécifiques à cette antenne 140 seront décrites ici en détail.

Le matériau BIP 142 est ici choisi pour présenter une bande non passante B la plus large possible. Cette bande non passante B est illustrée sur le graphique de la figure 11 représentant l'évolution du coefficient de transmission en décibels du matériau BIP à défaut 142 en fonction de la fréquence des ondes électromagnétiques. Ce coefficient de transmission représente le rapport entre la quantité d'énergie électromagnétique émise sur la quantité d'énergie électromagnétique reçue. La bande non passante B du matériau BIP s'étend ici de 5 GHz à 17 GHz.

Le matériau BIP 142 comporte un empilement de lames plates diélectriques, le long d'une direction perpendiculaire au plan réflecteur 144. Cet empilement se compose ici, par exemple, de deux lames 150, 152 réalisées dans un premier matériau diélectrique tel que, par exemple, de l'alumine, et de deux lames 154 et 156 réalisées dans un matériau diélectrique différent tel que, par exemple, de l'air. La lame 154 est interposée entre les lames 150 et 152, tandis que la lame 156 est interposée entre la lame 152 et le plan réflecteur 144. La lame 150 est placée à l'extrémité de l'empilement à l'opposé du plan réflecteur 144 et présente une surface intérieure en contact avec la lame 154 et une surface extérieure 158 à l'opposé de la surface intérieure. La

surface extérieure 158 forme une surface rayonnante de l'antenne en émission et/ou en réception.

Les lames 150 à 156 sont parallèles au plan réflecteur 144.

La hauteur de la lame 156 est supérieure à la hauteur de la lame 154  
5 et forme donc une unique rupture de la périodicité géométrique de l'empilement de matériaux diélectriques du matériau BIP. Le matériau BIP 142 présente donc, dans cet exemple de réalisation, un seul et unique défaut. La lame 156 forme ici une cavité résonante parallélépipédique à fuites de hauteur constante H dans une direction perpendiculaire au plan réflecteur 144.

10 La cavité 156 crée une bande passante étroite  $BP_1$  (figure 11) centrée autour d'une fréquence fondamentale  $f_0$ . La hauteur H détermine la fréquence  $f_0$  et donc la position de la bande passante étroite  $BP_1$  au sein de la bande non passante B. Ici,  $f_0$  est sensiblement égal à 7 GHz.

Il a été constaté que ce même défaut ou cavité 156 génère  
15 également d'autres bandes passantes étroites sensiblement centrées sur des multiples entiers de la fréquence  $f_0$ . Jusqu'à présent, ces autres bandes passantes étroites n'avaient pas été observées, car elles se situaient en dehors de la bande non passante B. En effet, dans les antennes de ce type connues, la bande non passante n'est pas suffisamment large et la fréquence  $f_0$  est placée  
20 sensiblement au milieu de la bande non passante.

Dans ce mode de réalisation, la hauteur H est donc choisie pour que la bande passante  $BP_1$  soit suffisamment excentrée de manière à ce qu'une bande passante  $BP_2$  (figure 11), centrée sur une fréquence  $f_1$  sensiblement égale à deux fois  $f_0$ , soit également placée à l'intérieur de la même bande non  
25 passante B. Ici,  $f_1$  est sensiblement égal à 14 GHz.

De façon connue, une telle cavité résonante parallélépipédique présente plusieurs familles de fréquences de résonance. Chaque famille de fréquences de résonance est formée par une fréquence fondamentale et ses harmoniques ou multiples entiers de la fréquence fondamentale. Chaque  
30 fréquence de résonance d'une même famille excite le même mode de résonance de la cavité. Ces modes de résonance sont connus sous les termes de modes  $TM_0, TM_1, \dots, TM_j$ . Ces modes de résonance sont décrits plus en détail dans le document de F. Cardiol, "Electromagnétisme, traité d'Electricité,

d'Electronique et d'Electrotechnique", Ed. Dunod, 1987. Chaque mode de résonance  $TM_i$  est susceptible d'être excité ou activé par une onde électromagnétique voisine d'une fréquence fondamentale  $f_{mi}$ . Ces fréquences  $f_{mi}$  ou leurs harmoniques sont présents dans chacune des bandes passantes étroites  $BP_1$  et  $BP_2$ .

Chaque mode de résonance correspond à un diagramme rayonnant ou forme de rayonnement de l'antenne 140 particulier.

A titre d'exemple, les figures 12A et 12B représentent chacune un diagramme de rayonnement ou forme de rayonnement correspondant respectivement aux modes de résonance  $TM_0$  et  $TM_1$ .

Ici, les caractéristiques des lames dans la direction perpendiculaire au plan réflecteur, c'est-à-dire, notamment, leur hauteur ou épaisseur respective, est déterminée conformément à l'enseignement de la demande de brevet FR 99 14521. Plus précisément, ces caractéristiques sont déterminées pour que le mode de résonance  $TM_0$  corresponde à un rayonnement directif selon une direction privilégiée d'émission et/ou de réception perpendiculaire à la surface extérieure 158. Ici, ce rayonnement directif est représenté dans la figure 12A par un lobe principal allongé le long de la direction perpendiculaire à la surface 158. Il a été constaté que la forme du rayonnement représenté à la figure 12A ne dépend pas des dimensions latérales de la cavité 156, c'est-à-dire des dimensions de cette cavité dans un plan parallèle au plan réflecteur si ces dimensions latérales sont supérieures à  $\phi$ ,  $\phi$  étant donné par la formule suivante :

$$G_{dB} \geq 20 \log \frac{\pi \Phi}{\lambda} - 2,5. \quad (1)$$

où :

- $G_{dB}$  est le gain en décibels souhaité pour l'antenne,
- $\Phi = 2 R$ ,
- $\lambda$  est la longueur d'onde correspondant à la fréquence médiane  $f_1$

A titre d'exemple, pour un gain de 20 dB, le rayon R est sensiblement égal à  $2.15 \lambda$ .

Par contre, la forme du rayonnement correspondant à des modes de résonance supérieurs au mode de résonance  $TM_0$  varie en fonction des

dimensions latérales de la cavité 156. Ici, ces dimensions latérales sont déterminées de manière à ce que le mode de résonance  $TM_1$  corresponde à un diagramme de rayonnement sensiblement omnidirectionnel dans un demi-espace à trois dimensions délimité par le plan passant par le plan réflecteur 144.

Les dimensions de l'antenne 140 permettant d'obtenir les formes de rayonnement voulues sont déterminées, par exemple, par expérimentation.

Avantageusement, ces expérimentations consistent, à l'aide d'un logiciel de simulation de l'antenne 140, à déterminer les formes de rayonnement correspondant à des dimensions données, puis à faire varier ces dimensions jusqu'à obtenir les diagrammes de rayonnement voulus pour chaque mode de résonance.

Finalement, l'antenne 140 comporte, ici, deux éléments d'excitation 160 et 162 disposés l'un à côté de l'autre sur la surface du plan 144 à l'intérieur de la cavité 156. Ces éléments d'excitation 160 et 162 sont propres à émettre et/ou recevoir une onde électromagnétique respectivement aux fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$ . La fréquence  $f_{T1}$  est voisine de la fréquence  $f_{m0}$  ou de l'un de ses harmoniques. Elle est située à l'intérieur de la bande passante étroite  $BP_1$  de manière à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 156. La fréquence  $f_{T2}$  est voisine de la fréquence  $f_{m1}$  ou de l'un de ses harmoniques. Elle est placée à l'intérieur de la bande passante  $BP_2$  de manière à exciter le mode de résonance  $TM_1$ .

Ces éléments d'excitation sont connus en tant que tels. Ce sont, par exemple, des antennes plaques ou patch, des dipôles ou des antennes à fente propres à transformer des signaux électriques en des ondes électromagnétiques. A cet effet, les éléments d'excitation 160 et 162 sont raccordés à un générateur/récepteur 164 de signaux électriques conventionnels.

Le fonctionnement de l'antenne multi-fréquences décrit en regard de la figure 10 va maintenant être décrit.

En émission, le générateur/récepteur 164 transmet des signaux électriques à l'un ou simultanément aux deux éléments d'excitation 160 et 162. Ces signaux électriques sont convertis par l'élément 160 en une onde

électromagnétique de fréquence  $f_{T1}$  et par l'élément 162 en une onde électromagnétique de fréquence  $f_{T2}$ . Ces ondes électromagnétiques aux fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$  n'interfèrent pas l'une avec l'autre, puisque les fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$  sont très différentes. En effet, ici, les fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$  sont situées  
5 chacune dans une bande passante étroite, espacées l'une de l'autre par une gamme de fréquences absorbées de largeur de l'ordre de 7 GHz. De plus, ces fréquences de travail  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$  étant chacune située à l'intérieur d'une bande passante étroite à l'intérieur de la bande non passante B, elles ne sont pas absorbées par le matériau BIP 142.

10 L'onde électromagnétique de fréquence  $f_{T1}$  excite le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 156, ce qui se traduit par un rayonnement de l'antenne 140 directif pour cette fréquence.

L'onde électromagnétique de fréquence  $f_{T2}$  excite, quant à elle, le mode de résonance  $TM_1$ , ce qui se traduit par un rayonnement omnidirectionnel  
15 dans un demi-espace à cette fréquence  $f_{T2}$ .

En réception seules les ondes électromagnétiques reçues par la surface extérieure 158 et ayant une fréquence comprise soit dans la bande passante  $BP_1$ , soit dans la bande passante  $BP_2$ , se propagent jusqu'à la cavité 156.

20 Etant donné la directivité du diagramme de rayonnement de l'antenne 140 pour la fréquence  $f_{T1}$ , seules les ondes électromagnétiques à la fréquence  $f_{T1}$  et sensiblement perpendiculaires à la surface extérieure 158, sont transmises jusqu'à l'élément d'excitation 160. Au contraire, étant donné que, pour la fréquence  $f_{T2}$ , l'antenne 140 est pratiquement omnidirectionnelle dans  
25 un demi-espace, la direction de réception des ondes électromagnétiques à la fréquence  $f_{T2}$  sur la surface extérieure est pratiquement quelconque.

A l'intérieur de la cavité 156, l'élément d'excitation 160 transforme les ondes électromagnétiques à la fréquence  $f_{T1}$  en des signaux électriques transmis au générateur/récepteur 164. L'élément d'excitation 162 agit de façon  
30 identique pour les ondes électromagnétiques à la fréquence  $f_{T2}$ .

Ainsi, l'antenne 140 présente les caractéristiques d'une antenne multifonctions, c'est-à-dire d'être apte à travailler à deux fréquences différentes et d'avoir, pour chaque fréquence de travail, un diagramme de rayonnement

particulier. Ici, l'antenne 140 est directive pour la fréquence de travail  $f_{T1}$  et omnidirectionnelle dans un demi-espace pour la fréquence  $f_{T2}$ .

La figure 13 représente un deuxième mode de réalisation d'une antenne multi-fréquences 170 comportant un matériau BIP 172 associé à un plan métallique 174 réflecteur d'ondes électromagnétiques.

Dans ce mode de réalisation, le matériau BIP est agencé de manière à présenter plusieurs bandes non passantes séparées les unes des autres par de larges bandes où les ondes électromagnétiques ne sont pas absorbées.

La figure 14 représente l'évolution du coefficient de transmission de cette antenne 140 et, en particulier, deux bandes non passantes  $B_1$  et  $B_2$  du même matériau BIP 172. La bande non passante  $B_1$  est centrée sur une fréquence  $f_0$  et la bande non passante  $B_2$  est centrée sur un multiple entier de  $f_0$ , ici  $2 f_0$ .

Des matériaux BIP présentant plusieurs bandes non passantes sont connus et l'agencement de ce matériau 172 pour créer ces bandes non passantes ne sera pas décrit ici.

Le matériau BIP 172 comporte, de façon similaire au matériau BIP 142, une rupture de périodicité de ses caractéristiques géométriques formant une cavité parallélépipédique résonante 180 ayant une hauteur constante  $G$ .

La hauteur  $G$  est ici déterminée de manière à créer une bande passante étroite  $E_1$  sensiblement au milieu de la bande non passante  $B_1$  et une bande non passante  $E_2$  sensiblement placée au milieu de la bande non passante  $B_2$ . Ici, la bande passante  $E_1$  est centrée sur la fréquence fondamentale  $f_0$  sensiblement égale à 13 GHz. La bande passante étroite  $E_2$  est centrée sur une fréquence  $f_1$  égale à un multiple entier de la fréquence fondamentale  $f_0$ . Cette fréquence  $f_1$  est ici sensiblement égale à 26 GHz.

Finalement, par exemple, un seul élément d'excitation 190 est placé sur le plan réflecteur 174 à l'intérieur de la cavité 180. Cet élément d'excitation 190 est propre à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques à des fréquences de travail  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$ . Ces fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$  sont propres toutes les deux à exciter le même mode de résonance de la cavité 180, par exemple ici, le mode de résonance  $TM_0$ , de manière à

présenter, pour chacune de ces fréquences, pratiquement le même diagramme de rayonnement. Toutefois, ces fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$  sont comprises respectivement dans les bandes passantes  $E_1$  et  $E_2$ .

Dans ce mode de réalisation, l'élément d'excitation 190 est une  
5 antenne plaque ou patch rectangulaire, équipée de deux accès 192, 194  
raccordés à un générateur/récepteur 196 de signaux électriques. Les accès 192  
et 194 sont propres à exciter deux polarisations, de préférence deux  
polarisations orthogonales entre elles, de l'élément d'excitation 190. Ici, les  
accès 192 et 194 sont destinés à recevoir et/ou émettre les signaux  
10 respectivement aux fréquences  $f_{T2}$  et  $f_{T1}$ .

Cette antenne 170, de façon similaire à l'antenne 140, exploite le fait  
qu'un même défaut crée plusieurs bandes passantes étroites centrées sur des  
fréquences multiples entiers d'une fréquence fondamentale. Toutefois, dans ce  
mode de réalisation, un seul élément d'excitation est utilisé pour travailler  
15 simultanément aux deux fréquences de travail  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$ . De plus, dans ce mode  
de réalisation, les ondes électromagnétiques émises aux fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$   
sont polarisées de façon orthogonale l'une par rapport à l'autre pour limiter les  
interférences entre ces deux fréquences de travail.

Le fonctionnement de cette antenne 170 découle de celui décrit pour  
20 l'antenne 140.

L'antenne 170 décrite ici est une antenne multi-bandes, c'est-à-dire  
apte à travailler à plusieurs fréquences différentes, mais présentant, pour  
chaque fréquence de travail, le même diagramme de rayonnement.

En variante, les éléments d'excitation 160 et 162 de l'antenne 140  
25 sont remplacés par un seul élément d'excitation apte à travailler simultanément  
aux fréquences  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$ . Cet unique élément d'excitation est, par exemple,  
identique à l'élément d'excitation 190. Réciproquement, l'élément  
d'excitation 190 de l'antenne 170 est remplacé, en variante, par deux éléments  
d'excitation distincts et indépendants l'un de l'autre aptes respectivement à  
30 travailler à la fréquence  $f_{T1}$  et  $f_{T2}$ . Ces deux éléments d'excitation sont, par  
exemple, identiques aux éléments d'excitation 160 et 162.

Les dispositifs rayonnants décrits jusqu'à présents sont réalisés à  
partir de structures planes. Toutefois, en variante, la surface de ces différents

éléments est adaptée à la forme de la parabole ou du dispositif apte à focaliser les faisceaux d'ondes électromagnétiques. Par exemple, la figure 15 représente une antenne 200 équipée d'un dispositif 202 apte à focaliser les faisceaux d'ondes électromagnétiques sur une antenne 204. Le dispositif 202 est, par  
5 exemple, un réflecteur métallique en forme de demi-cylindre. L'antenne 204 est placée au foyer de ce dispositif 202. L'antenne 204 est similaire à l'antenne de la figure 3, à l'exception du fait que le plan réflecteur, et les lames du matériau BIP à défaut, présentent chacun une surface convexe correspondant à la surface concave du demi-cylindre.

10 En variante, le rayonnement émis ou reçu par chaque élément d'excitation est polarisé dans une direction différente de celle utilisée par les éléments d'excitation voisins. Avantageusement, la polarisation de chaque élément d'excitation est orthogonale à celle utilisée par les éléments d'excitation voisins. Ainsi, les interférences et les couplages entre éléments d'excitation  
15 voisins sont limités.

En variante, un même élément d'excitation est adapté pour fonctionner successivement ou simultanément à plusieurs fréquences de travail différentes. Un tel élément permet de créer une zone de couverture dans laquelle, par exemple, l'émission et la réception se font à des longueurs d'ondes  
20 différentes. Un tel élément d'excitation est également apte à faire de la commutation de fréquence.

## **REVENDEICATIONS**

1. Antenne comportant :

- un matériau BIP (20 ; 142 ; 172) (Bande d'Interdiction Photonique) apte à filtrer spatialement et fréquentiellement des ondes électromagnétiques, ce matériau BIP présentant au moins une bande non passante et formant une surface extérieure (38 ; 158) rayonnante en émission et/ou en réception,

- au moins un défaut (36 ; 76, 78 ; 156 ; 180) de périodicité du matériau BIP de manière à créer au moins une bande passante étroite au sein de ladite au moins une bande non passante de ce matériau BIP, et

- un dispositif d'excitation (40 à 43 ; 84, 86 ; 160, 162 ; 190) apte à émettre et/ou recevoir des ondes électromagnétiques à l'intérieur de ladite au moins une bande passante étroite créée par ledit au moins un défaut,

caractérisée en ce que le dispositif d'excitation est apte à travailler simultanément au moins autour d'une première et d'une seconde fréquences de travail distinctes.

2. Antenne multi-faisceaux selon la revendication 1, caractérisée :

- en ce que le dispositif d'excitation comporte un premier et un second éléments d'excitation (40 à 43 ; 84, 86) distincts et indépendants l'un de l'autre, aptes chacun à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques, le premier élément d'excitation étant apte à travailler à la première fréquence de travail et le second élément d'excitation étant apte à travailler à la seconde fréquence de travail,

- en ce que le ou chaque défaut (36 ; 76, 78) de périodicité du matériau BIP forme une cavité (36 ; 76, 78) résonante à fuites présentant une hauteur constante dans une direction orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante (38), et des dimensions latérales déterminées parallèles à ladite surface extérieure rayonnante,

- en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter chacune un mode de résonance d'une cavité résonante à fuites (36 ; 76, 78), ce mode de résonance s'établissant de façon identique quelles que soient les dimensions latérales de la cavité, de manière à créer sur ladite surface extérieure respectivement une première et une seconde taches rayonnantes (46 à 49), chacune de ces taches rayonnantes représentant

l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonnées en émission et/ou en réception par l'antenne,

- en ce que chacune des taches rayonnantes (46 à 49) présente un centre géométrique dont la position est fonction de la position de l'élément  
5 d'excitation qui lui donne naissance et dont la surface est supérieure à celle de l'élément rayonnant lui donnant naissance, et

- en ce que le premier et le second éléments d'excitation (40 à 43 ;  
84, 86) sont placés l'un par rapport à l'autre de manière à ce que la première et  
la seconde taches rayonnantes (46 à 49) soient disposées sur la surface  
10 extérieure (38) du matériau BIP l'une à côté de l'autre et se chevauchent partiellement.

3. Antenne selon la revendication 2, caractérisée :

- en ce que chaque tache rayonnante (46 à 49) est sensiblement  
circulaire, le centre géométrique correspondant à un maximum de puissance  
15 émise et/ou reçue et la périphérie correspondant à une puissance émise et/ou reçue égale à une fraction de la puissance maximale émise et/ou reçue en son centre, et

- en ce que la distance, dans un plan parallèle à la surface  
extérieure, séparant les centres géométriques des deux éléments d'excitation  
20 (40 à 43 ; 84, 86), est strictement inférieure au rayon de la tache rayonnante produite par le premier élément d'excitation ajouté au rayon de la tache rayonnante produite par le second élément d'excitation.

4. Antenne selon la revendication 2 ou 3, caractérisée en ce que le  
centre géométrique de chaque tache rayonnante (46 à 49) est placé sur la ligne  
25 orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante (38) et passant par le centre géométrique de l'élément d'excitation (40 à 43) lui donnant naissance.

5. Antenne selon l'une quelconque des revendications 2 à 4,  
caractérisée en ce que le premier et le second éléments d'excitation (40 à 43)  
sont placés à l'intérieur d'une même cavité (36).

30 6. Antenne selon la revendication 5, caractérisée en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont situées à l'intérieur de la même bande passante étroite créée par cette même cavité (36).

7. Antenne selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisée en ce que le premier et le second éléments d'excitation (84, 86) sont placés chacun à l'intérieur de cavités résonantes distinctes (76, 78), et en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter  
5 chacune un mode de résonance indépendant des dimensions latérales de leur cavité respective.

8. Antenne selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisée en ce que la ou chaque cavité est de forme parallélépipédique.

9. Système d'émission et/ou de réception d'ondes  
10 électromagnétiques comportant :

- un dispositif (62) apte à focaliser les ondes électromagnétiques émises et/ou reçues par le système sur un point focal, et

- un émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques placé  
15 sensiblement au point focal de manière à émettre et/ou recevoir lesdites ondes électromagnétiques,

caractérisé en ce qu'il comporte une antenne (4) selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, dont la surface extérieure rayonnante est sensiblement placée sur le point focal de manière à former ledit émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques.

20 10. Système selon la revendication 9, caractérisé en ce que le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est un réflecteur parabolique (62).

11. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est une lentille  
25 électromagnétique.

12. Antenne multi-fréquences selon la revendication 1, caractérisée en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont situées à l'intérieur respectivement d'une première et d'une seconde bandes passantes étroites, distinctes l'une de l'autre, et en ce que la première et la seconde  
30 bandes passantes étroites sont créées par le même défaut (156 ; 180) de périodicité du matériau BIP (142 ; 172).

13. Antenne selon la revendication 12, caractérisée en ce que le défaut de périodicité du matériau BIP (142 ; 172) créant la première et la

seconde bandes passantes étroites forme une cavité résonante à fuites présentant une hauteur constante dans une direction orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante (158), et en ce que cette hauteur est adaptée pour placer la première et de la seconde bandes passantes étroites au sein de ladite au moins une bande non passante du matériau BIP.

14. Antenne selon la revendication 13, caractérisée en ce que la hauteur de la cavité est adaptée pour placer la première et la seconde bandes passantes étroites au sein d'une même bande non passante du matériau BIP (156).

15. Antenne selon la revendication 13, caractérisée en ce que le matériau BIP (172) présente une première et une seconde bandes non passantes disjointes et espacées l'une de l'autre, et en ce que la hauteur de la cavité est adaptée pour placer la première et la seconde bandes passantes étroites au sein respectivement de la première et de la seconde bandes non passantes du matériau BIP (172).

16. Antenne selon l'une quelconque des revendications 12 à 15, caractérisée en ce que ladite première bande passante étroite est sensiblement centrée sur une fréquence fondamentale, tandis que ladite seconde bande passante étroite est sensiblement centrée sur un multiple entier de cette fréquence fondamentale.

17. Antenne selon l'une quelconque des revendications 13 à 16, caractérisée en ce que la cavité présente une famille de fréquences de résonance formée par une fréquence fondamentale et ses harmoniques, le mode de résonance de la cavité et le diagramme de rayonnement de l'antenne étant les mêmes pour chaque fréquence de résonance de la famille, et en ce que la première et la seconde fréquences de travail correspondent chacune, dans leur bande passante étroite respective, à une fréquence de la même famille.

18. Antenne selon l'une quelconque des revendications 13 à 16, caractérisée en ce que la cavité présente au moins deux familles de fréquences de résonance formées chacune par une fréquence fondamentale et ses harmoniques, le mode de résonance et le diagramme de rayonnement de l'antenne étant les mêmes pour chaque fréquence de résonance d'une même

famille et différents de ceux des autres familles de fréquences de résonance, et en ce que la première et la seconde fréquences de travail correspondent chacune, dans leur bande passante étroite respective, à des fréquences appartenant à des familles différentes.

5                    19. Antenne selon l'une quelconque des revendications 12 à 18, caractérisée en ce que le dispositif d'excitation (190) est propre à émettre des ondes électromagnétiques à la première fréquence de travail ayant une polarisation différente des ondes électromagnétiques émises à la seconde fréquence de travail.

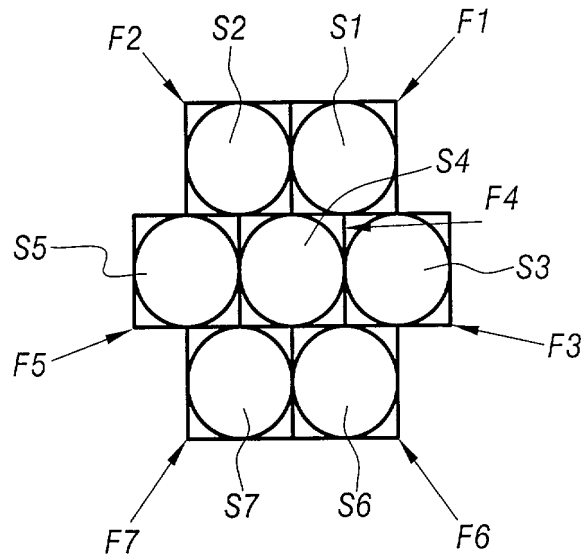
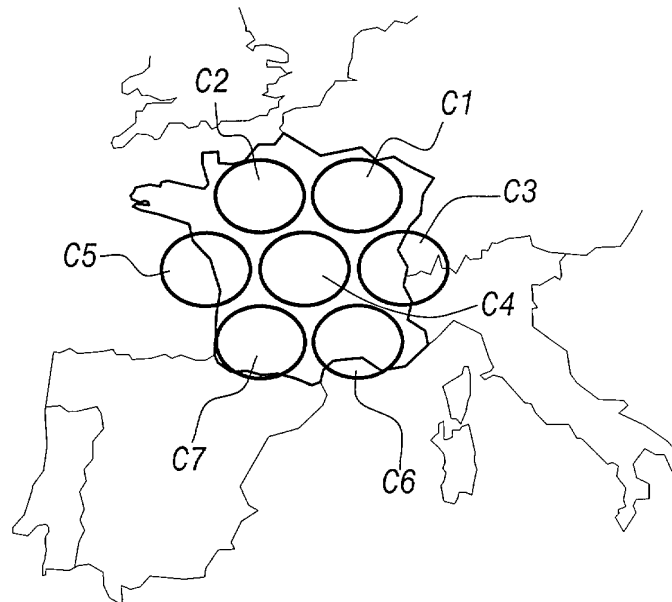
10                   20. Antenne selon l'une quelconque des revendications 12 à 19, caractérisée en ce que le dispositif d'excitation comporte au moins un même élément d'excitation (190) apte à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques simultanément à la première et à la seconde fréquences de travail.

15                   21. Antenne selon l'une quelconque des revendications 12 à 19, caractérisé en ce que le dispositif d'excitation comporte un premier et un second éléments d'excitation (160, 162) aptes chacun à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques, et en ce que le premier élément d'excitation (160) est apte à travailler à la première fréquence de travail, tandis  
20 que le second élément d'excitation (162) est apte à travailler à la seconde fréquence de travail.

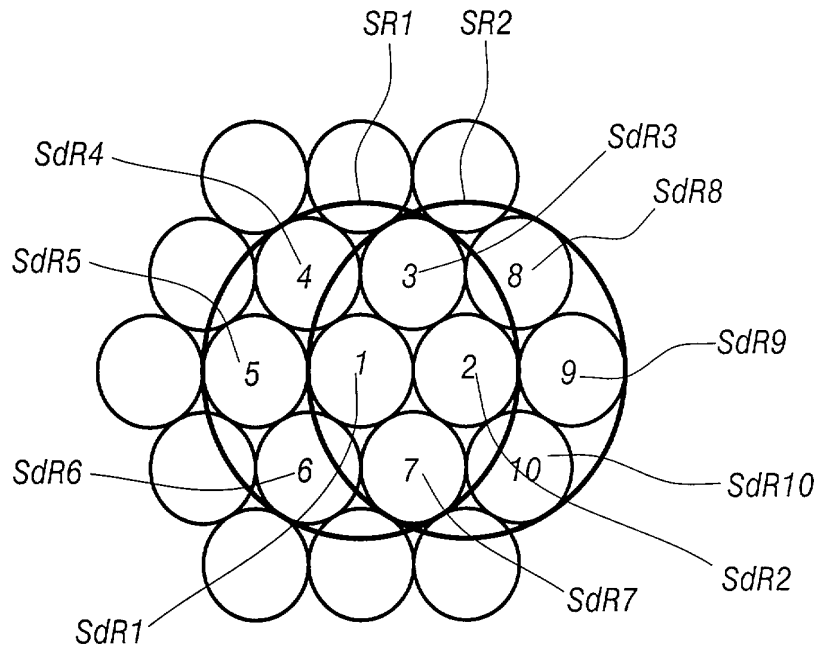
                     22. Antenne selon la revendication 21, caractérisée en ce que chacun des éléments d'excitation est propre à générer, sur ladite surface extérieure, respectivement une première et une seconde taches rayonnantes  
25 disjointes l'une de l'autre, chacune de ces taches rayonnantes représentant l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonné en émission et/ou en réception par l'antenne.

                     23. Antenne selon l'une quelconque des revendications 13 à 22, caractérisée en ce que la cavité résonante à fuites est de forme  
30 parallélépipédique.

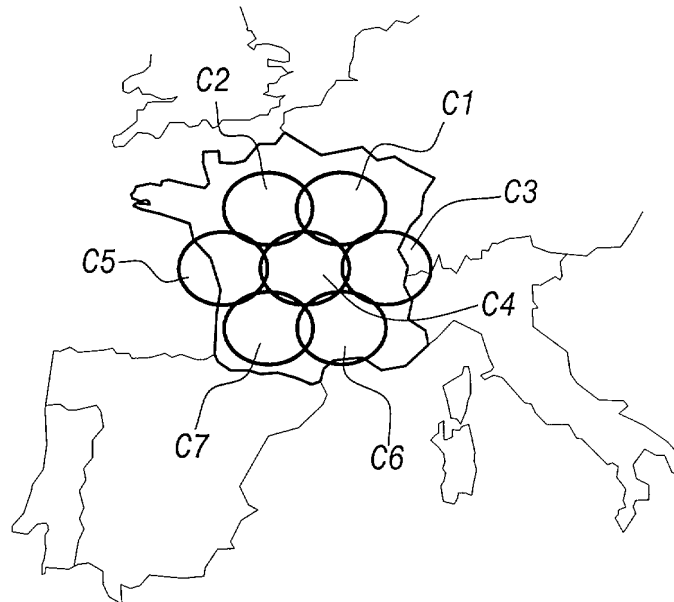
1/12

**FIG. 1A****FIG. 1B**

2/12

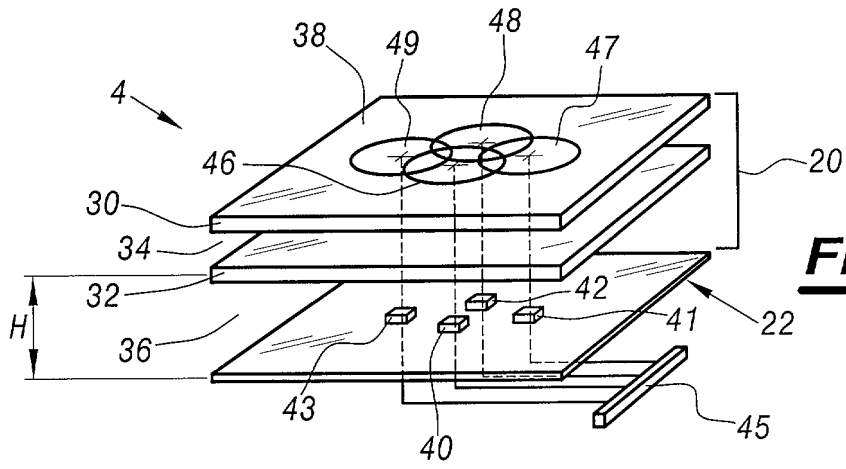
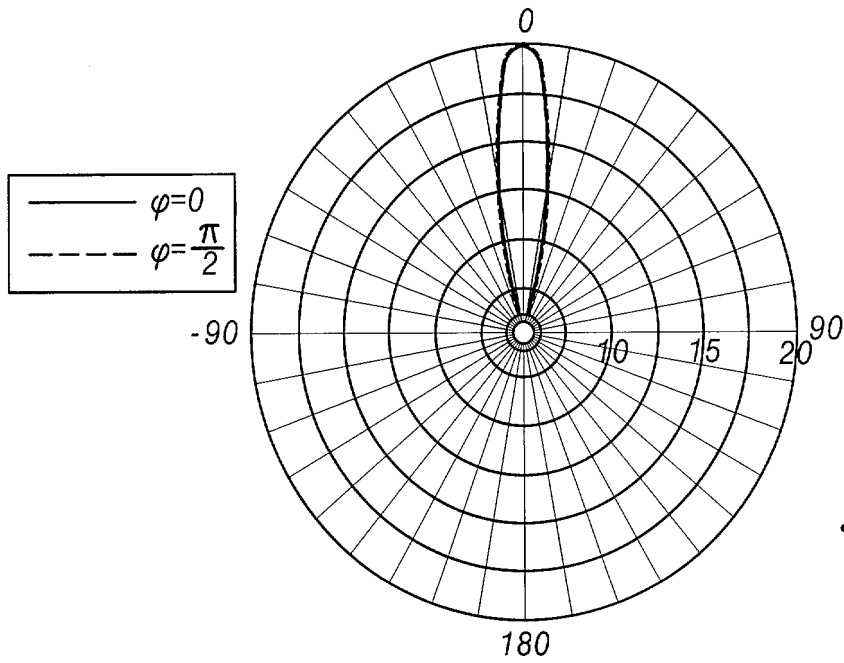
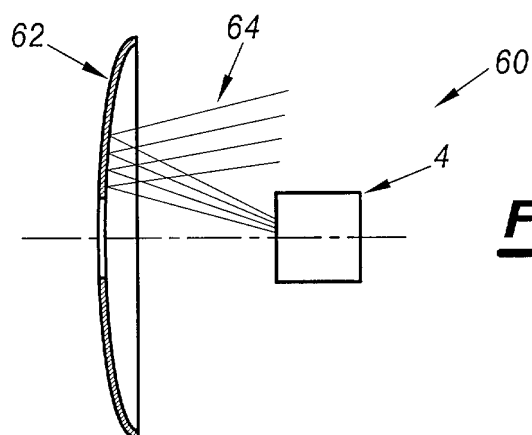


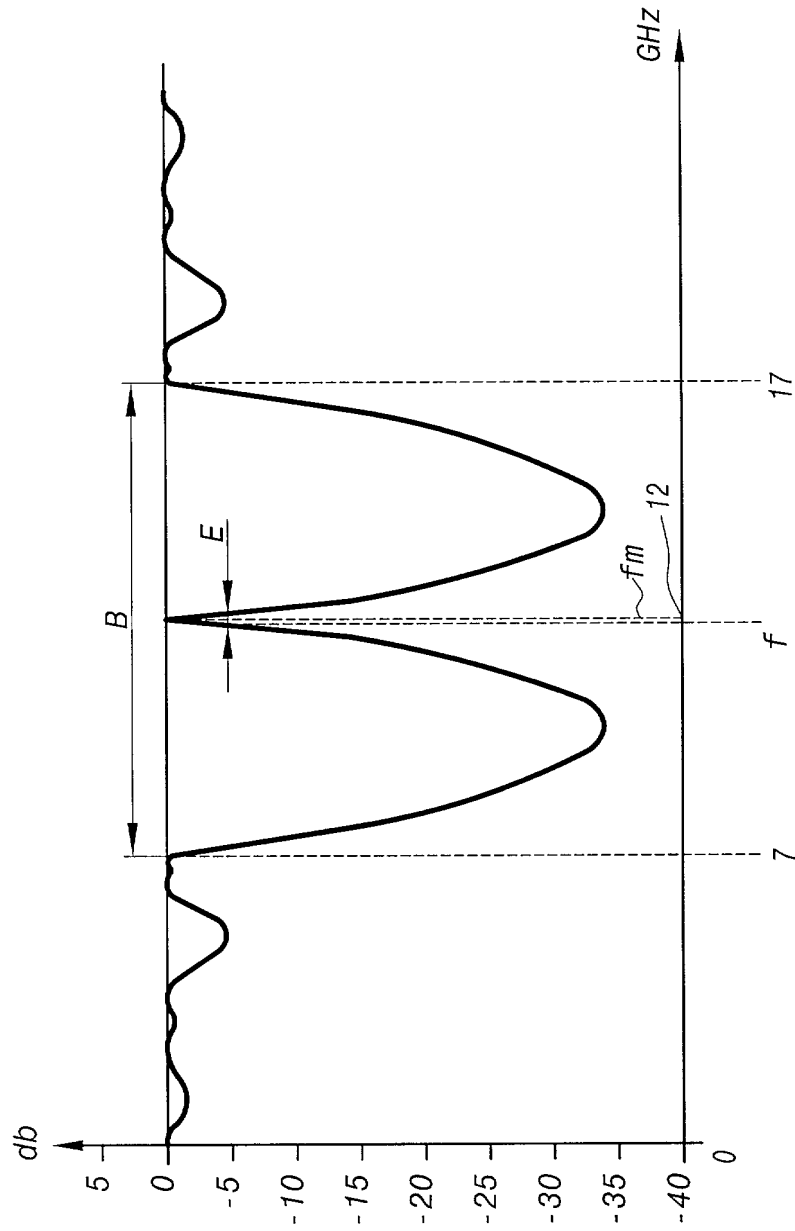
**FIG.2A**



**FIG.2B**

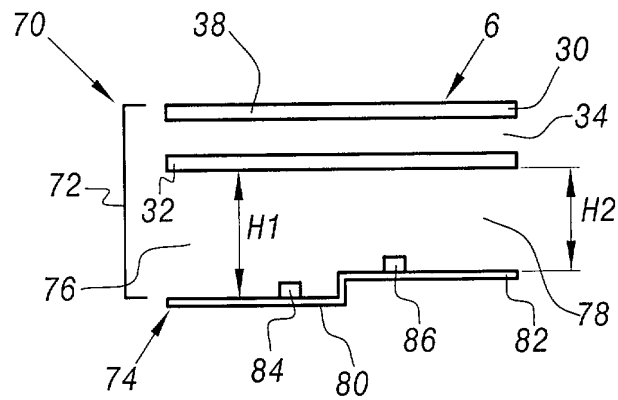
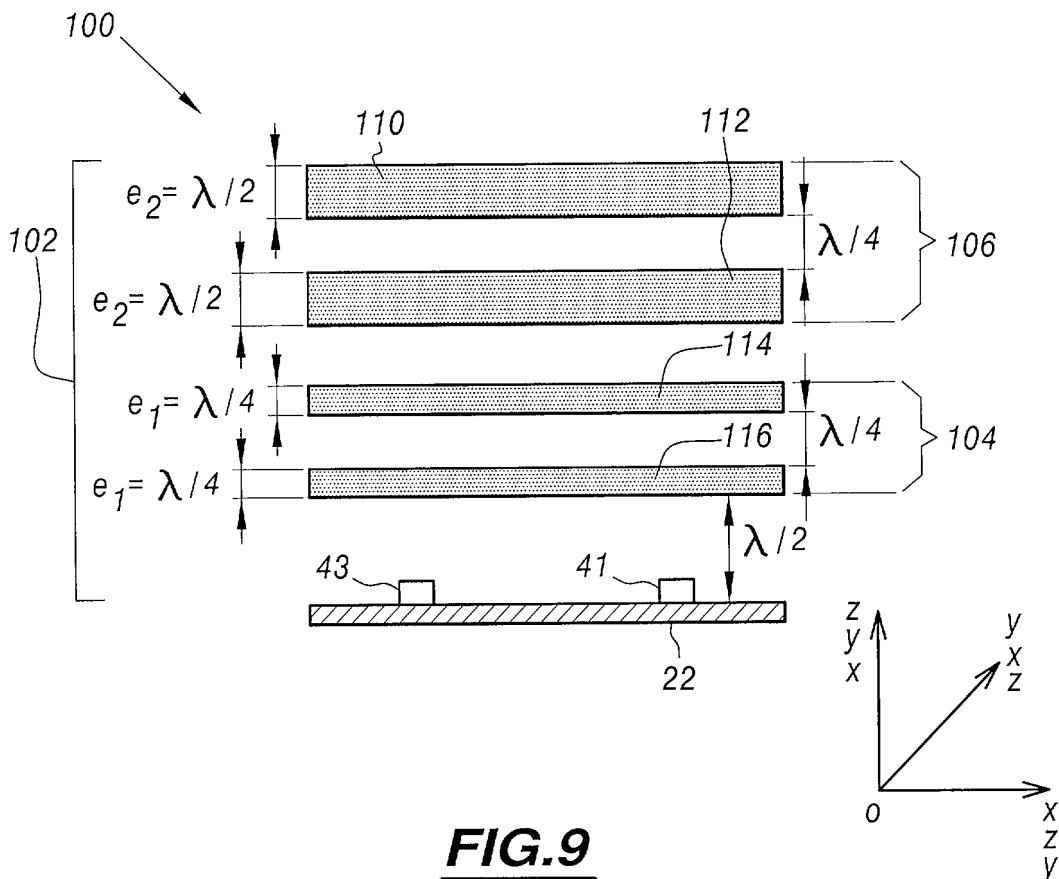
3/12

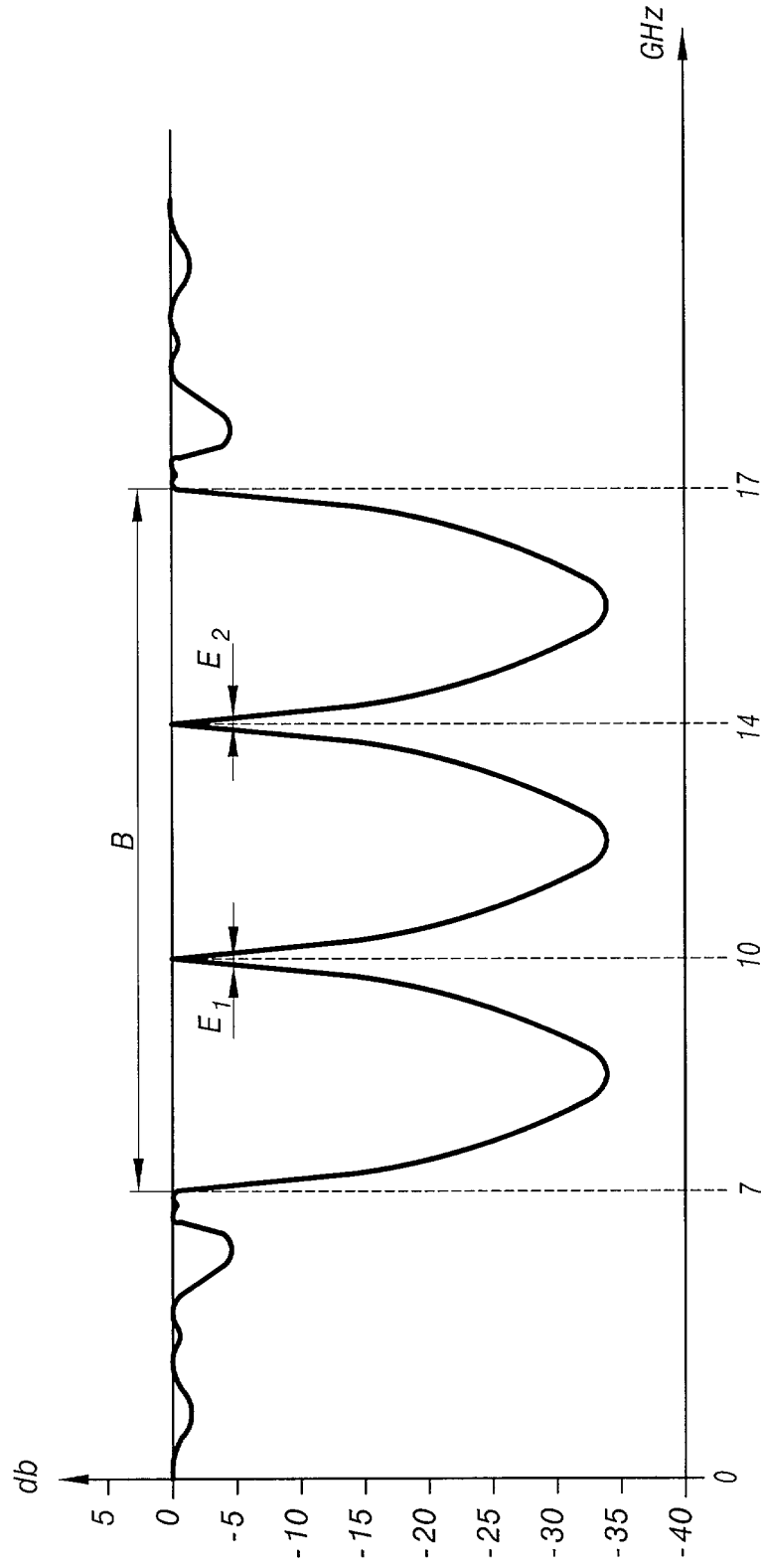
**FIG. 3****FIG. 5****FIG. 6**



**FIG.4**

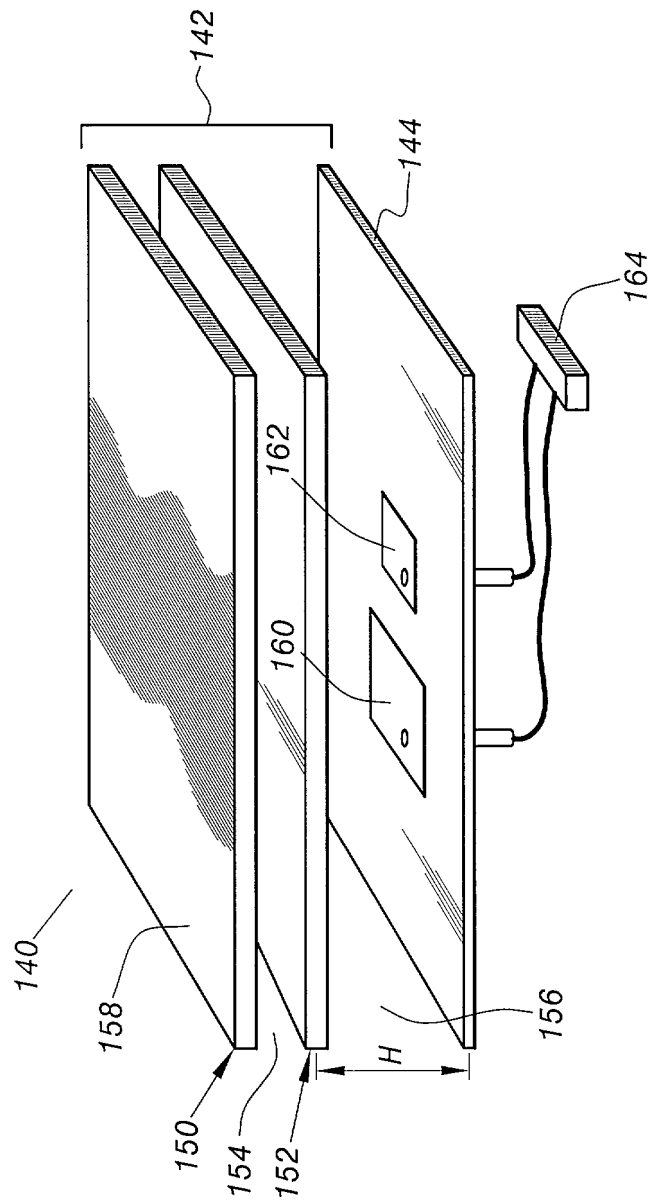
5/12

**FIG. 7****FIG. 9**

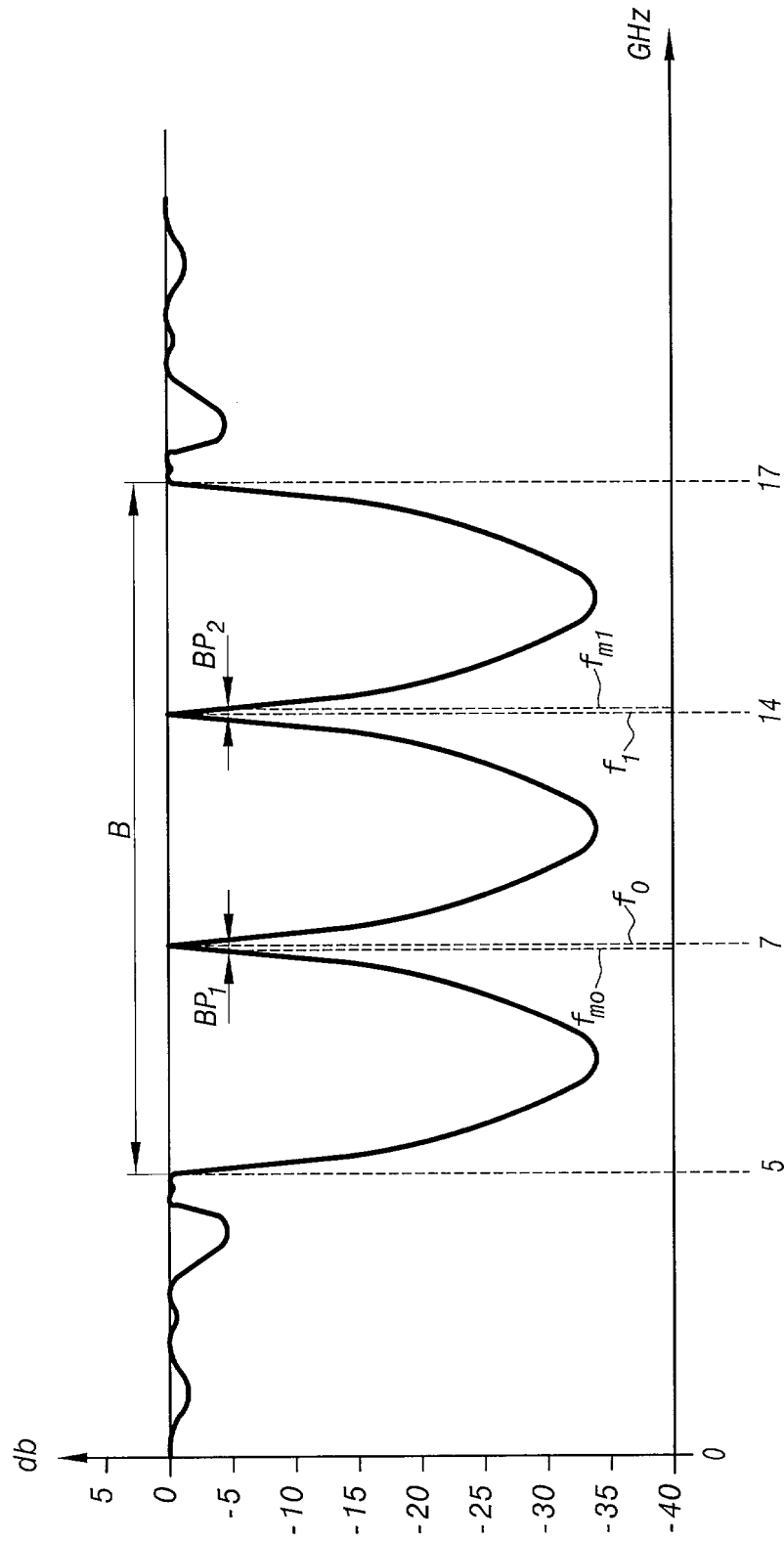


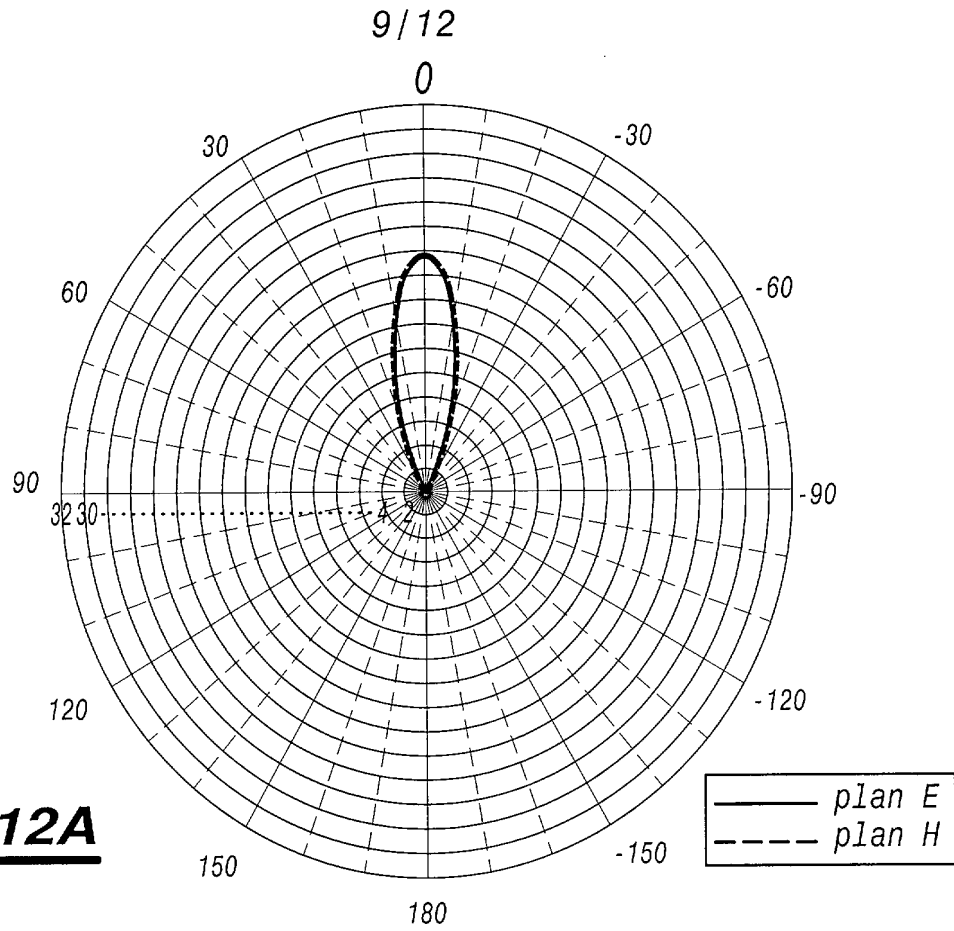
**FIG.8**

7/12

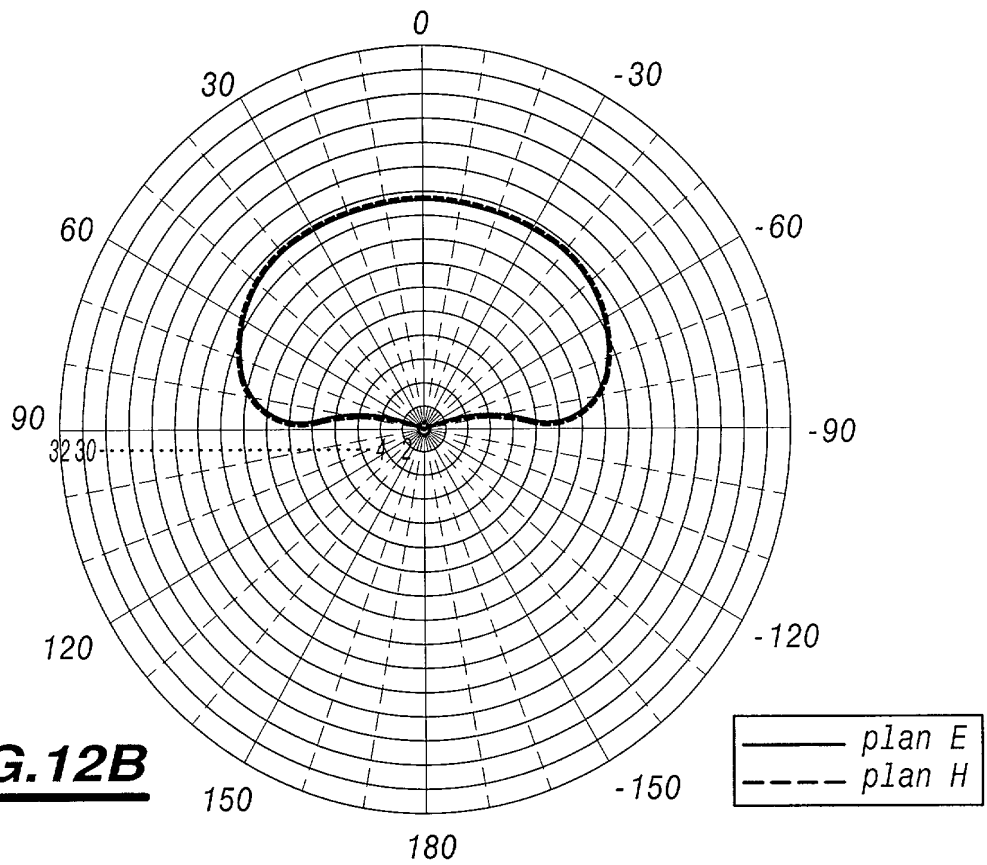
**FIG. 10**

8/12

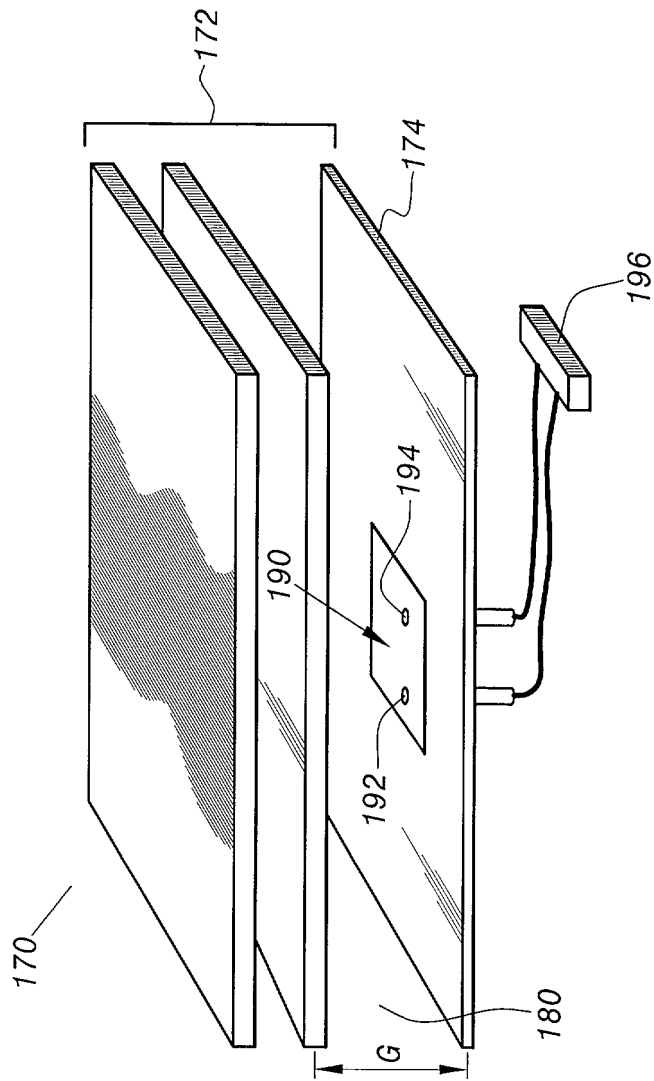
**FIG. 11**



**FIG. 12A**

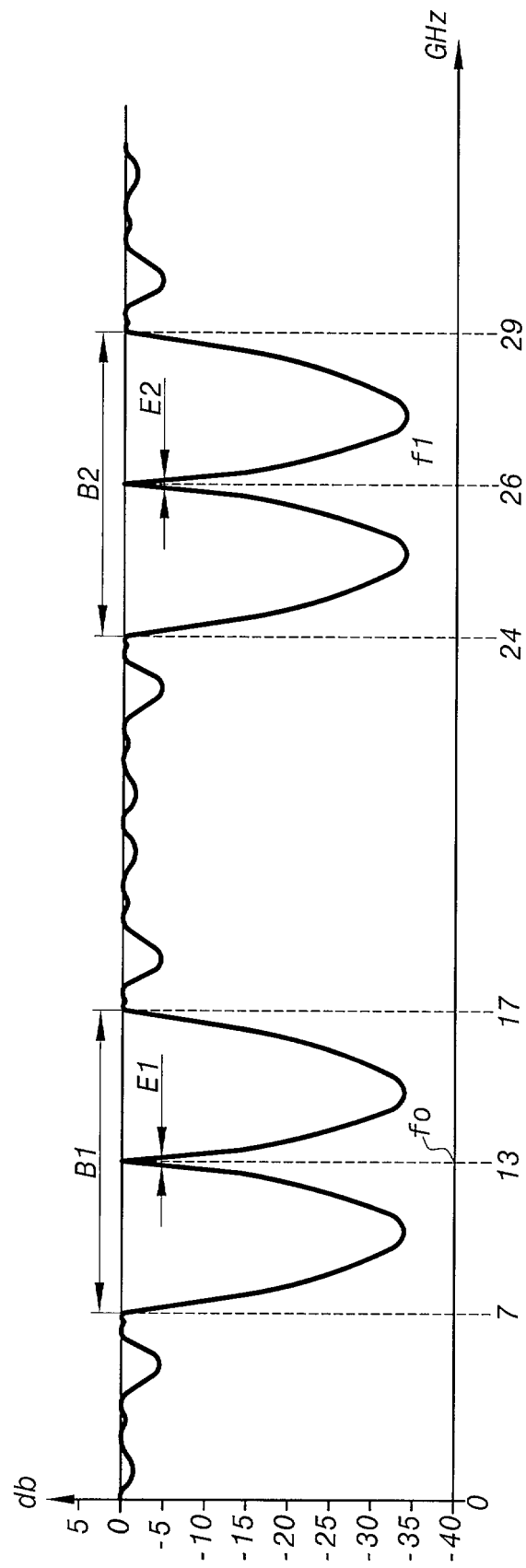


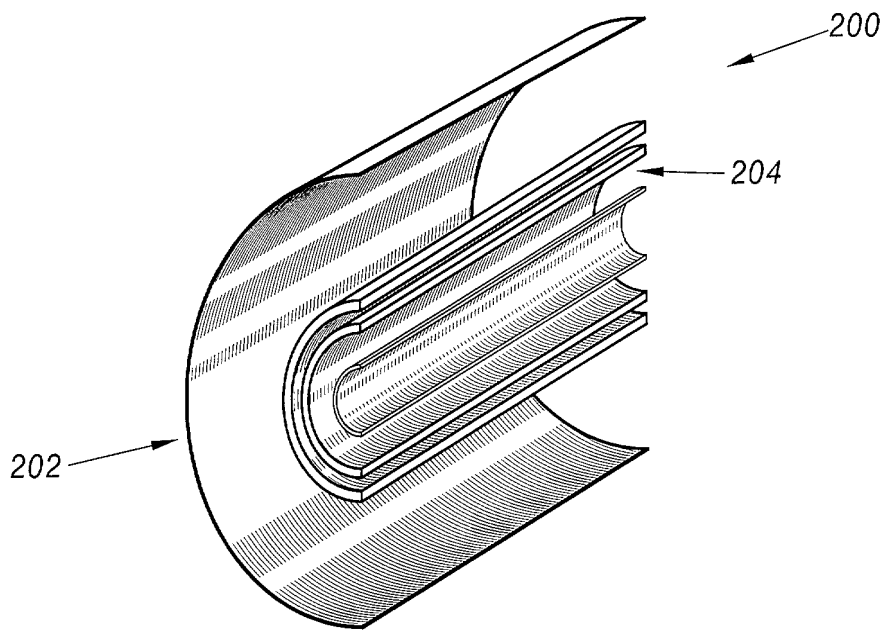
**FIG. 12B**



**FIG. 13**

11/12

**FIG.14**



**FIG.15**