



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 554 777 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**03.05.2006 Bulletin 2006/18**

(51) Int Cl.:  
**H01Q 5/00** <sup>(2006.01)</sup> **H01Q 15/00** <sup>(2006.01)</sup>  
**H01Q 19/17** <sup>(2006.01)</sup> **H01Q 25/00** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Numéro de dépôt: **03778447.7**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2003/003147**

(22) Date de dépôt: **23.10.2003**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2004/040696 (13.05.2004 Gazette 2004/20)**

(54) **ANTENNE A MATERIAU BIP MULTI-FAISCEAUX**

MEHRFACHSTRAHLANTENNE MIT PHOTONISCHEM BANDLÜCKENMATERIAL  
MULTIBEAM ANTENNA WITH PHOTONIC BANDGAP MATERIAL

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(74) Mandataire: **Colombet, Alain André et al**  
**Cabinet Lavoix,**  
**2, Place d'Estienne d'Orves**  
**75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(30) Priorité: **24.10.2002 FR 0213326**  
**31.07.2003 FR 0309473**

(56) Documents cités:  
**FR-A- 2 801 428 US-A- 4 236 161**  
**US-B1- 6 262 830**

(43) Date de publication de la demande:  
**20.07.2005 Bulletin 2005/29**

(73) Titulaires:  
• **Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS**  
**75016 Paris Cedex 16 (FR)**  
• **CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES**  
**75001 Paris (FR)**

- **CHUNG K B ET AL: "Defect modes in a two-dimensional square-lattice photonic crystal" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 209, no. 4-6, 15 août 2002 (2002-08-15), pages 229-235, XP004375303 ISSN: 0030-4018**
- **THEVENOT M ET AL: "DIRECTIVE PHOTONIC-BANDGAP ANTENNAS" IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 47, no. 11, novembre 1999 (1999-11), pages 2115-2121, XP000865109 ISSN: 0018-9480**
- **SHI B ET AL: "DEFECTIVE PHOTONIC CRYSTALS WITH GREATLY ENHANCED SECOND-HARMONIC GENERATION" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 26, no. 15, 1 août 2001 (2001-08-01), pages 1194-1196, XP001110592 ISSN: 0146-9592**

(72) Inventeurs:  
• **THEVENOT, Marc**  
**F-87510 PEYRILHAC (FR)**  
• **CHANTALAT, Régis**  
**F-87000 LIMOGES (FR)**  
• **JECKO, Bernard**  
**F-87570 RILHAC-RANCON (FR)**  
• **LEGER, Ludovic**  
**F-87100 LIMOGES (FR)**  
• **MONEDIERE, Thierry**  
**F-87000 LIMOGES (FR)**  
• **DUMON, Patrick**  
**F-31320 Vigoulet-Auzil (FR)**

**EP 1 554 777 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description**

**[0001]** L'invention concerne une antenne multi-faisceaux comportant :

- 5 - 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 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
- 10 - un dispositif d'excitation 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.

**[0002]** 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 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 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.

**[0003]** 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 des autres de manière à rapprocher le plus possible les taches rayonnantes les unes des autres.

**[0004]** 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.

**[0005]** 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 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.

**[0006]** 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.

**[0007]** 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

## EP 1 554 777 B1

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.

5 **[0008]** L'invention vise à remédier à cet inconvénient en proposant une antenne multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées plus simple.

**[0009]** Elle a donc pour objet une antenne telle que définie plus haut, caractérisée :

- 10 - 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,
- 15 - en ce que la 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 ;
- en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter le même 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 ;
- 20 - 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
- 25 - 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.

30 **[0010]** 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 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.

35 **[0011]** Suivant d'autres caractéristiques d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention :

- 40 - 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,
- 45 - 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,
- 50 - 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,
- un plan réflecteur de rayonnement électromagnétique associé au matériau BIP, ce plan réflecteur étant déformé de manière à former lesdites cavités distinctes,
- 55 - la ou chaque cavité est de forme parallélépipédique.

**[0012]** 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 :

## EP 1 554 777 B1

- 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 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 représente un deuxième mode de réalisation d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention ;
- la figure 7 représente le coefficient de transmission de l'antenne de la figure 6 ; et
- la figure 8 représente un troisième mode de réalisation d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention.
- la figure 9 est une illustration d'une antenne semi-cylindrique conforme à l'invention.

**[0013]** 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:

**[0014]** 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.

**[0015]** 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.

**[0016]** 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.

**[0017]** La position et la largeur de cette bande non passante B est uniquement fonction des propriétés et des caractéristiques du matériau BIP.

**[0018]** 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.

**[0019]** 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.

**[0020]** 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 :

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

où:

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

**[0021]** Ici, la fréquence médiane  $f_m$  est sensiblement égale à 12 GHz.

**[0022]** 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 :

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

5 où:

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

10

**[0023]** A titre d'exemple, pour un gain de 20 dB, le rayon R est sensiblement égal à  $2,15 \lambda$ .

15

**[0024]** 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 modes de résonance sont connus sous les termes 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.

20

**[0025]** 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 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 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 sensiblement égale à la puissance rayonnée maximale.

25

**[0026]** 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 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.

30

**[0027]** Les fréquences  $f_{mi}$  sont placées à l'intérieur de la bande passante étroite E.

**[0028]** 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  $2R$ .

35

**[0029]** 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.

40

**[0030]** Ces éléments d'excitation sont, par exemple, constitués par un dipôle rayonnant, une fente rayonnante, 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.

**[0031]** Le fonctionnement de l'antenne de la figure 3 va maintenant être décrit.

45

**[0032]** 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  $f_{T3}$ .

50

**[0033]** 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 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 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

55

verticale du centre géométrique de chacun de ces éléments, respectivement de taches rayonnantes 47 à 49. Le 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 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.

**[0034]** Chaque tache rayonnante correspond à l'embase ou section droite à l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonné. Ainsi, cette antenne fonctionne de façon similaire aux antennes multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées connues.

**[0035]** Le fonctionnement de l'antenne en réception, découle de celui décrit en émission. Ainsi, par exemple, si une onde électromagnétique est émise vers la tache rayonnante 46, celle-ci est reçue dans la surface correspondant à la tache 46. 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 forme d'un signal électrique au générateur/récepteur 45.

**[0036]** La figure 6 représente une antenne 70 réalisée à partir d'un matériau BIP 72 et d'un réflecteur 74 d'ondes électromagnétiques et la figure 7 l'évolution du coefficient de transmission de cette antenne en fonction de la fréquence.

**[0037]** Le matériau BIP 72 est, par exemple, identique au matériau BIP 20 et présente la même bande non passante B (figure 7). Les lames formant ce matériau BIP déjà décrites en regard de la figure 3 portent les mêmes références numériques.

**[0038]** 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 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 7), 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  $E_2$  (figure 7), 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  $H_2$ .

**[0039]** 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 propre à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 78.

**[0040]** 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.

**[0041]** 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.

**[0042]** La figure 8 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 8, les éléments déjà décrits en regard de la figure 4 portent les mêmes références numériques.

**[0043]** 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.

**[0044]** 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.

**[0045]** Chaque lame du groupement 104 a une épaisseur  $e_1 = \lambda/4$ .

**[0046]** Le calcul de ces épaisseurs  $e_1$  et  $e_2$  découle de l'enseignement divulgué dans le brevet français 99 14521 (2 801 428).

**[0047]** 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  $\lambda/4$ .

**[0048]** 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] Le fonctionnement de ce dispositif rayonnant 100 découle directement de celui de l'antenne 4.

[0052] 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 voisins sont limités.

[0053] 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 différentes. Un tel élément d'excitation est également apte à faire de la commutation de fréquence.

## Revendications

### 1. Antenne multi-faisceaux 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,
- 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 ; 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 ;
- 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 ;
- la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter le même 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,
- chacune des taches rayonnantes (46 à 49) 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
- 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 extérieure (38) du matériau BIP l'une à côté de l'autre et se chevauchent partiellement.

### 2. Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que :

## EP 1 554 777 B1

- chaque tache rayonnante (46 à 49) 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 (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.

3. Antenne selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** le centre géométrique de chaque tache rayonnante (46 à 49) est placé sur la ligne orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante (38) et passant par le centre géométrique de l'élément d'excitation (40 à 43) lui donnant naissance.

4. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **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).

5. Antenne selon la revendication 4, **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).

6. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **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 chacune un mode de résonance indépendant des dimensions latérales de leur cavité respective.

7. Antenne selon la revendication 6, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un plan réflecteur (74) de rayonnement électromagnétique associé au matériau BIP (72), ce plan réflecteur étant déformé de manière à former lesdites cavités distinctes.

8. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce que** la ou chaque cavité est de forme parallélépipédique.

### Patentansprüche

1. Mehrstrahlige Antenne, enthaltend:

- ein BIP-Material (20, 142, 172) (Bande d'Interdiction Photonique - Photonensperrband), das geeignet ist, räumlich und frequenzbezogen elektromagnetische Wellen zu filtern, wobei dieses BIP-Material wenigstens ein nicht durchlässiges Band aufweist und eine Außenfläche (38; 158) ausbildet, die beim Senden und/oder Empfangen ausstrahlt,

- wenigstens einen Periodizitätsdefekt (36, 76, 78, 156, 180) des BIP-Materials, so dass in dem wenigstens einen nicht durchlässigen Band dieses BIP-Materials wenigstens ein schmales durchlässiges Band erzeugt wird, wobei der oder jeder Periodizitätsdefekt (36, 76, 78) des BIP-Materials einen Resonanz-Hohlraum (36, 76, 78) mit Leckstellen ausbildet, der eine konstante Höhe in einer Richtung, die orthogonal zu der ausstrahlenden Außenfläche (38) verläuft, und bestimmte seitliche Abmessungen aufweist, die parallel zu der ausstrahlenden Außenfläche verlaufen; und

- eine Erregervorrichtung (40 bis 43, 84, 86, 160, 162, 190), die geeignet ist, elektromagnetische Wellen in dem wenigstens einen schmalen durchlässigen Band zu senden und/oder zu empfangen, das durch den wenigstens einen Defekt erzeugt wird,

**dadurch gekennzeichnet, dass:**

- die Erregervorrichtung geeignet ist, gleichzeitig wenigstens auf einer ersten und einer zweiten unterschiedlichen Arbeitsfrequenz zu arbeiten;

- die Erregervorrichtung ein erstes und ein zweites Erregerelement (40 bis 43, 84, 86) aufweist, die verschieden und voneinander unabhängig sind, die geeignet sind, elektromagnetische Wellen zu senden und/oder zu empfangen, wobei das erste Erregerelement geeignet ist, auf der ersten Arbeitsfrequenz zu arbeiten, und das zweite Erregerelement geeignet ist, auf der zweiten Arbeitsfrequenz zu arbeiten;

- die erste und die zweite Arbeitsfrequenz geeignet sind, den gleichen Resonanzmodus eines Resonanz-Hohl-

raums mit Leckstellen (36, 76, 78) zu erregen, wobei dieser Resonanzmodus in identischer Weise hergestellt wird, ungeachtet der seitlichen Abmessungen des Hohlraums, so dass auf der Außenseite jeweils ein erster und ein zweiter ausstrahlender Fleck (46 bis 49) erzeugt wird, wobei jeder dieser ausstrahlenden Flecke den Ursprung eines Bündels von elektromagnetischen Wellen darstellt, die beim Senden und/oder Empfang durch die Antenne ausgestrahlt werden,

- wobei jeder der ausstrahlenden Flecke (46 bis 49) eine geometrische Mitte aufweist, deren Position eine Funktion der Position des Erregerelements ist, das zu ihrer Entstehung führt, und deren Oberfläche größer als diejenige des ausstrahlenden Elements ist, das zu ihrer Entstehung führt, und

- das erste und das zweite Erregerelement (40 bis 43, 84, 86) in Bezug aufeinander so positioniert sind, dass der erste und der zweite ausstrahlende Fleck (46 bis 49) auf der Außenfläche (38) des Materials BIP nebeneinander und sich teilweise überlappend angeordnet sind.

2. Antenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**:

- jeder ausstrahlende Fleck (46 bis 49) im Wesentlichen kreisförmig ist, wobei die geometrische Mitte einer maximalen gesendeten und/oder empfangenen Leistung entspricht und der Umfang einer gesendeten und/oder empfangenen Leistung entspricht, die gleich einem Bruchteil der maximalen, in seiner Mitte gesendeten und/oder empfangenen Leistung ist, und

- in einer zur Außenfläche parallelen Ebene der Abstand, der die geometrischen Mitten der zwei Erregerelemente (40 bis 43, 84, 86) trennt, deutlich kleiner ist als die Strahlung des ausstrahlenden Flecks, der durch das erste Erregerelement erzeugt wird, angefügt an die Strahlung des ausstrahlenden Flecks, der durch das zweite Erregerelement erzeugt wird.

3. Antenne nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die geometrische Mitte jedes ausstrahlenden Flecks (46 bis 49) auf der Linie positioniert ist, die zu der ausstrahlenden Außenfläche (38) orthogonal verläuft und die die geometrische Mitte des Erregerelements (40 bis 43) durchquert, das zu seiner Entstehung führt.

4. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und das zweite Erregerelement (40 bis 43) im Inneren des selben Hohlraums (36) positioniert sind.

5. Antenne nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und die zweite Arbeitsfrequenz sich in dem gleichen schmalen durchlässigen Band befinden, das durch diesen selben Hohlraum (36) erzeugt wird.

6. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und das zweite Erregerelement (84, 86) jeweils im Inneren von verschiedenen Resonanz-Hohlräumen (76, 78) positioniert sind, und **dadurch**, dass die erste und die zweite Arbeitsfrequenz geeignet sind, jeweils einen von den seitlichen Abmessungen ihres jeweiligen Hohlraums unabhängigen Resonanzmodus zu erregen.

7. Antenne nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Reflektorebene (74) für elektromagnetische Strahlung aufweist, die mit dem BIP-Material (72) verbunden ist, wobei diese Reflektorebene so verformt ist, dass sie die verschiedenen Hohlräume bildet.

8. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der oder jeder Hohlraum in Parallelflachform ausgebildet wird.

**Claims**

1. Multi-beam antenna comprising:

- a PIB - Photon Interdiction Band - material (20, 142, 172), capable of spatially and frequency filtering electromagnetic waves, this PIB material having at least one non-pass band and forming a radiating transmitting and/or receiving outer surface (38; 158),

- at least one periodicity defect (36, 76, 78, 156, 180) in the PIB material so as to create at least one narrow pass band within said minimum of one non-pass band of this PIB material,

- the or each periodicity defect (36, 76, 78) in the PIB material forming a leaking cavity resonator (36, 76, 78) having a constant height in a direction perpendicular to said radiating outer surface (38), and specific lateral dimensions parallel to said radiating outer surface; and

- an excitation device (40 to 43, 84, 86, 160, 162, 190) capable of transmitting and/or receiving electromagnetic waves within said minimum of one narrow pass band created by said minimum of one defect,

**characterised in that**

- 5
- the excitation device is capable of working simultaneously around a first and a second distinct working frequency;
  - the excitation device comprises a first and a second excitation element (40 to 43, 84, 86) which are distinct and independent of one another, each capable of transmitting and/or receiving electromagnetic waves, the first excitation element being capable of working at the first working frequency and the second excitation element being capable of working at the second working frequency;
  - the first and second working frequencies are capable of exciting the same resonance mode of a leaking cavity resonator (36, 76, 78), this resonance mode occurring in identical manner regardless of the lateral dimensions of the cavity, so as to create on said outer surface first and second radiant spots (46 to 49), respectively, each of these radiant spots representing the origin of a bundle of electromagnetic waves radiated on transmission and/or reception by the antenna,
  - each of the radiant spots (46 to 49) has a geometric centre the position of which is a function of the position of the excitation element which generates it and whose surface area is greater than that of the radiant element generating it, and
  - the first and second excitation elements (40 to 43, 84, 86) are placed relative to one another so that the first and second radiant spots (46 to 49) are located one beside the other and partially overlapping on the outer surface (38) of the PIB material.
- 10
- 15
- 20

**2. Antenna according to claim 1, characterised in that**

- 25
- each radiant spot (46 to 49) is substantially circular, the geometric centre corresponding to a maximum power transmitted and/or received and the periphery corresponding to a power transmitted and/or received equal to a fraction of the maximum power transmitted and/or received at its centre, and
  - the distance, in a plane parallel to the outer surface, separating the geometric centres of the two excitation elements (40 to 43, 84, 86) is strictly less than the radius of the radiant spot produced by the first excitation element added to the radius of the radiant spot produced by the second excitation element.
- 30

**3. Antenna according to claim 1 or 2, characterised in that** the geometric centre of each radiant spot (46 to 49) is placed on the line perpendicular to said radiating outer surface (38) and passing through the geometric centre of the excitation element (40 to 43) generating it.

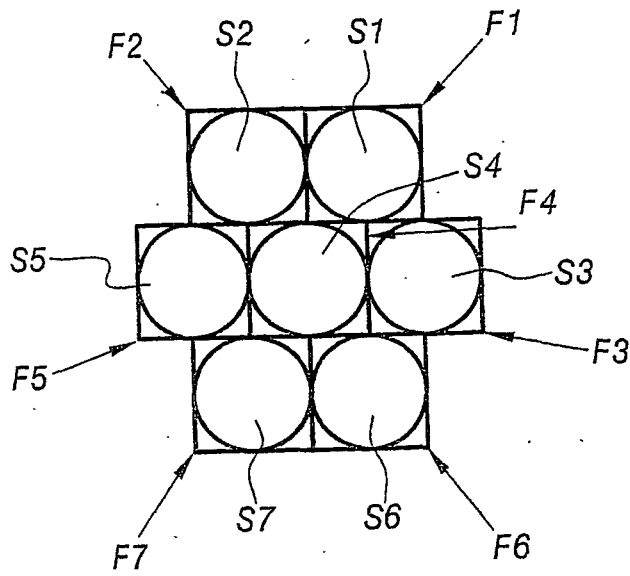
**4. Antenna according to any one of claims 1 to 3, characterised in that** the first and second excitation elements (40 to 43) are placed inside the same cavity (36).

**5. Antenna according to claim 4, characterised in that** the first and second working frequencies are located within the same narrow pass band created by this same cavity (36).

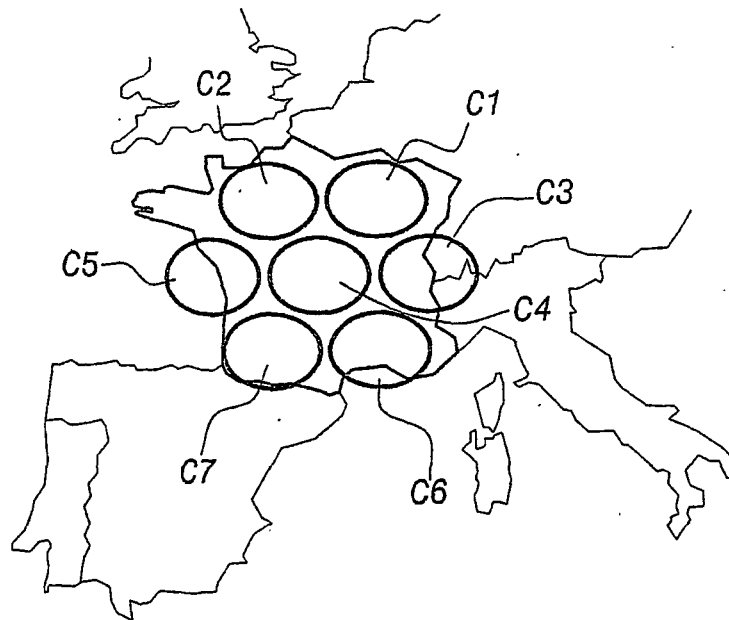
**6. Antenna according to any one of claims 1 to 3, characterised in that** the first and second excitation elements (84, 86) are each placed inside distinct cavity resonators (76, 78) and **in that** the first and second working frequencies are each capable of exciting a resonance mode independent of the lateral dimensions of their respective cavities.

**7. Antenna according to claim 6, characterised in that** it comprises a plane (74) for reflecting electromagnetic radiation associated with the PIB material (72), this reflecting plane being deformed so as to form said distinct cavities.

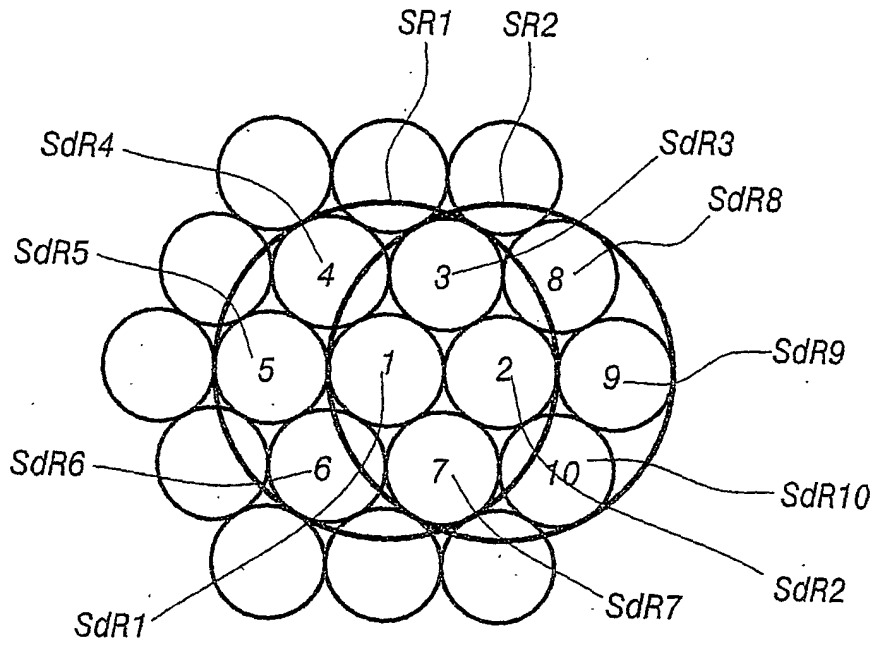
**8. Antenna according to any one of claims 1 to 7, characterised in that** the or each cavity is cuboid in shape.



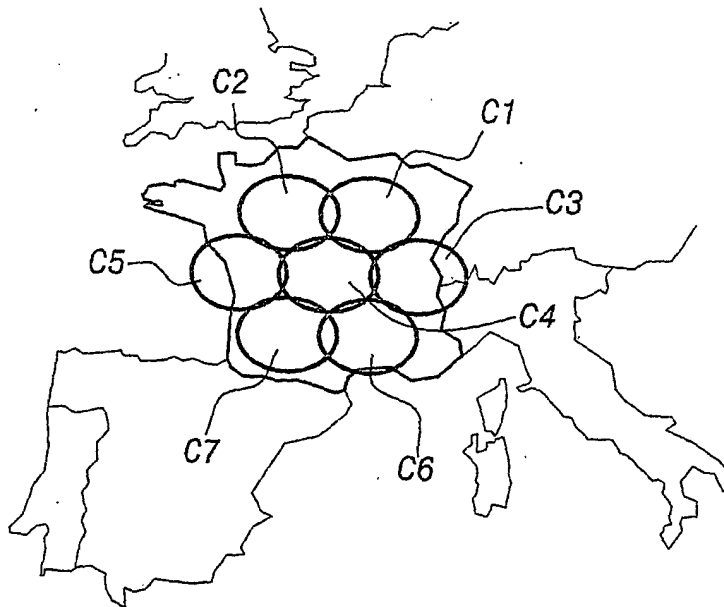
**FIG.1A**



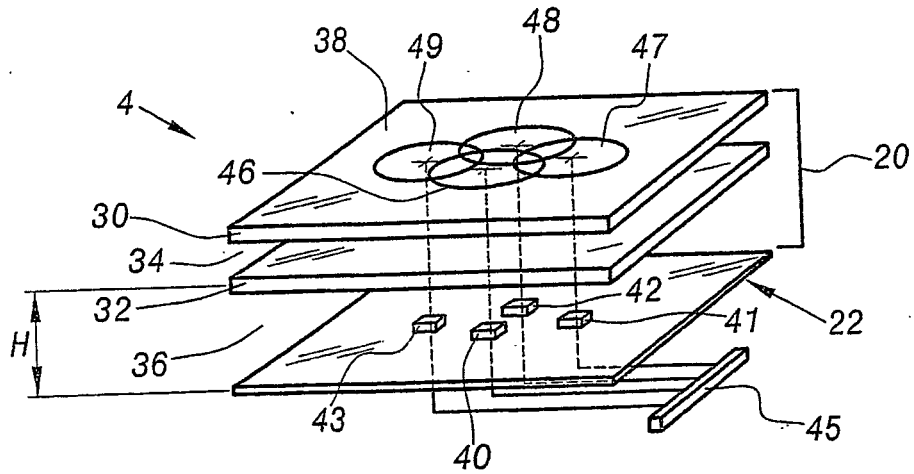
**FIG.1B**



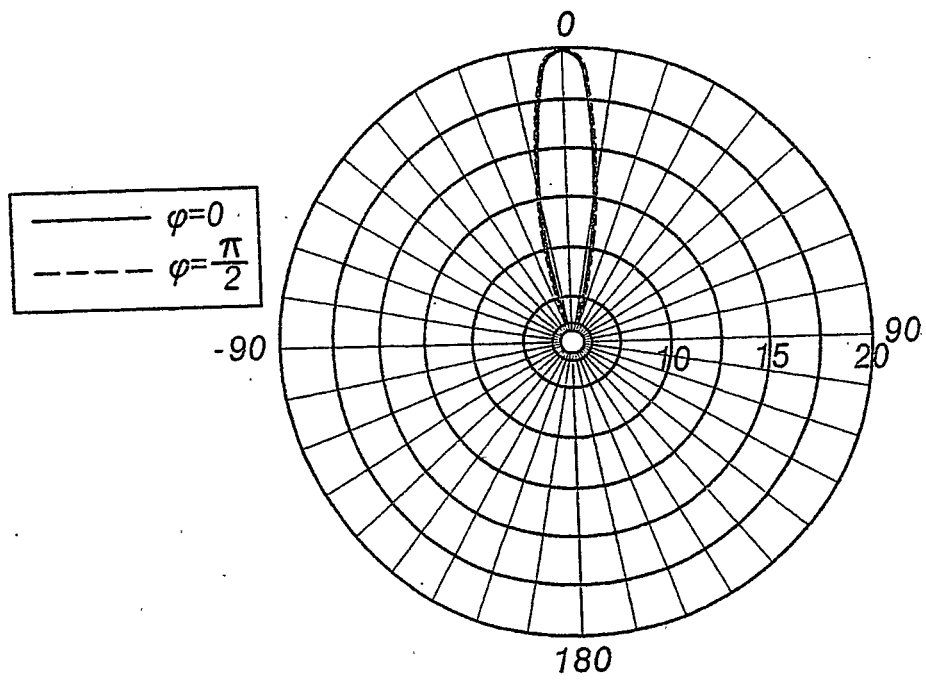
**FIG.2A**



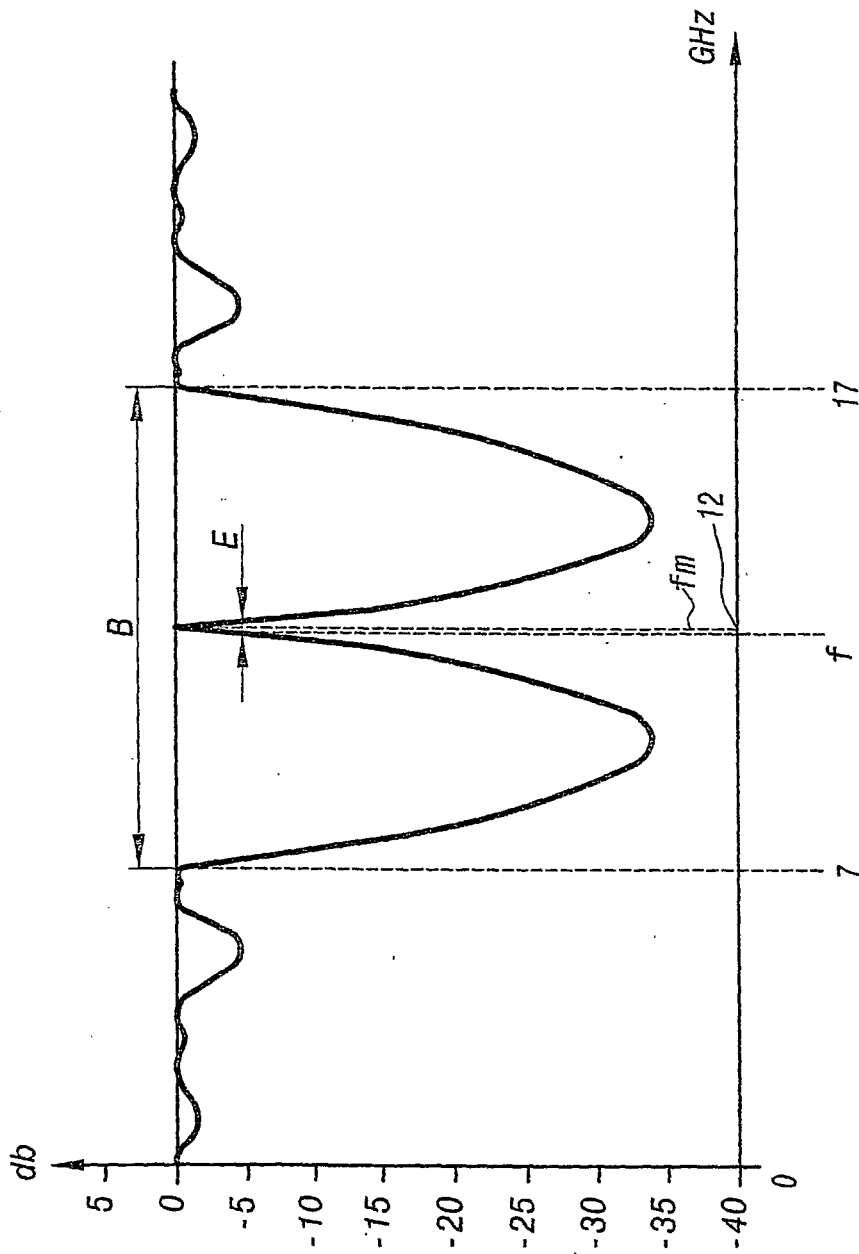
**FIG.2B**



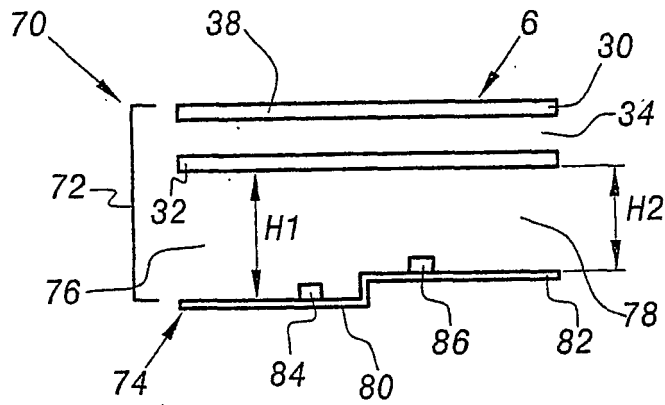
**FIG. 3**



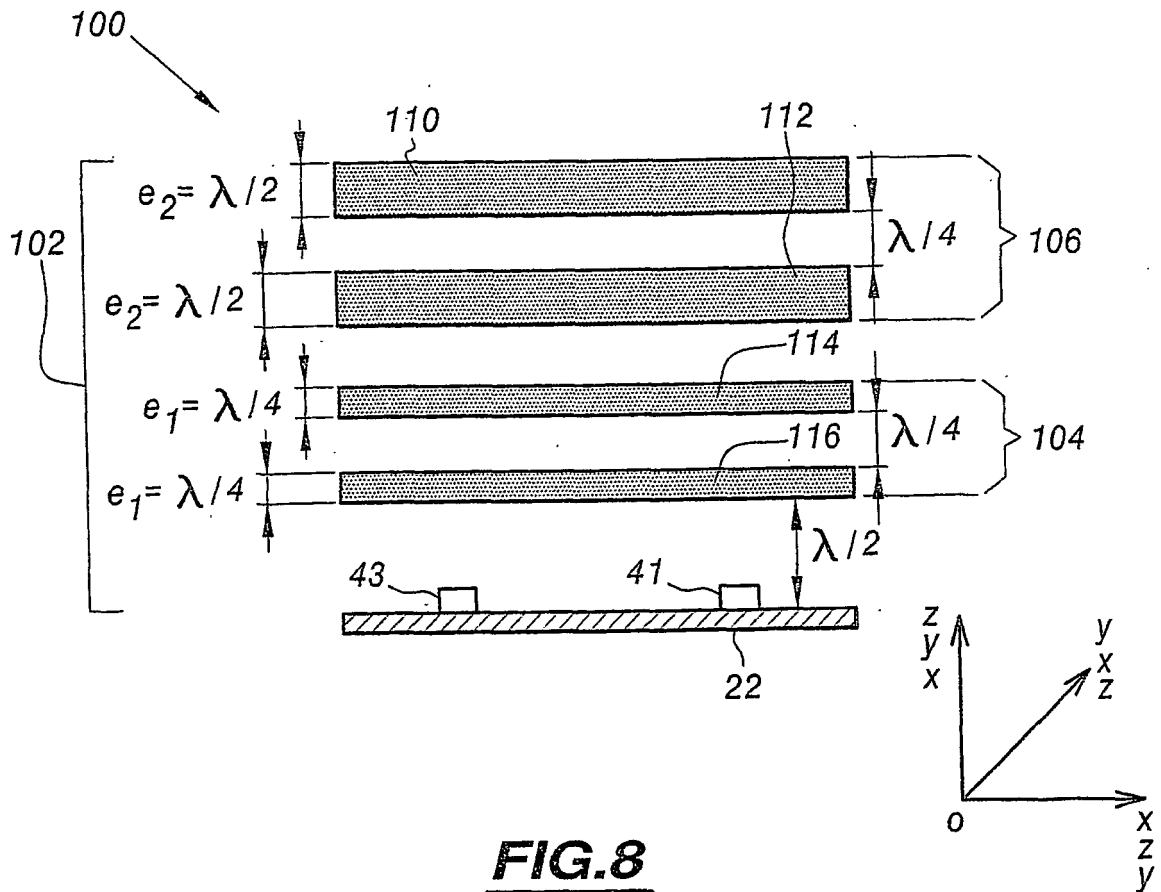
**FIG. 5**



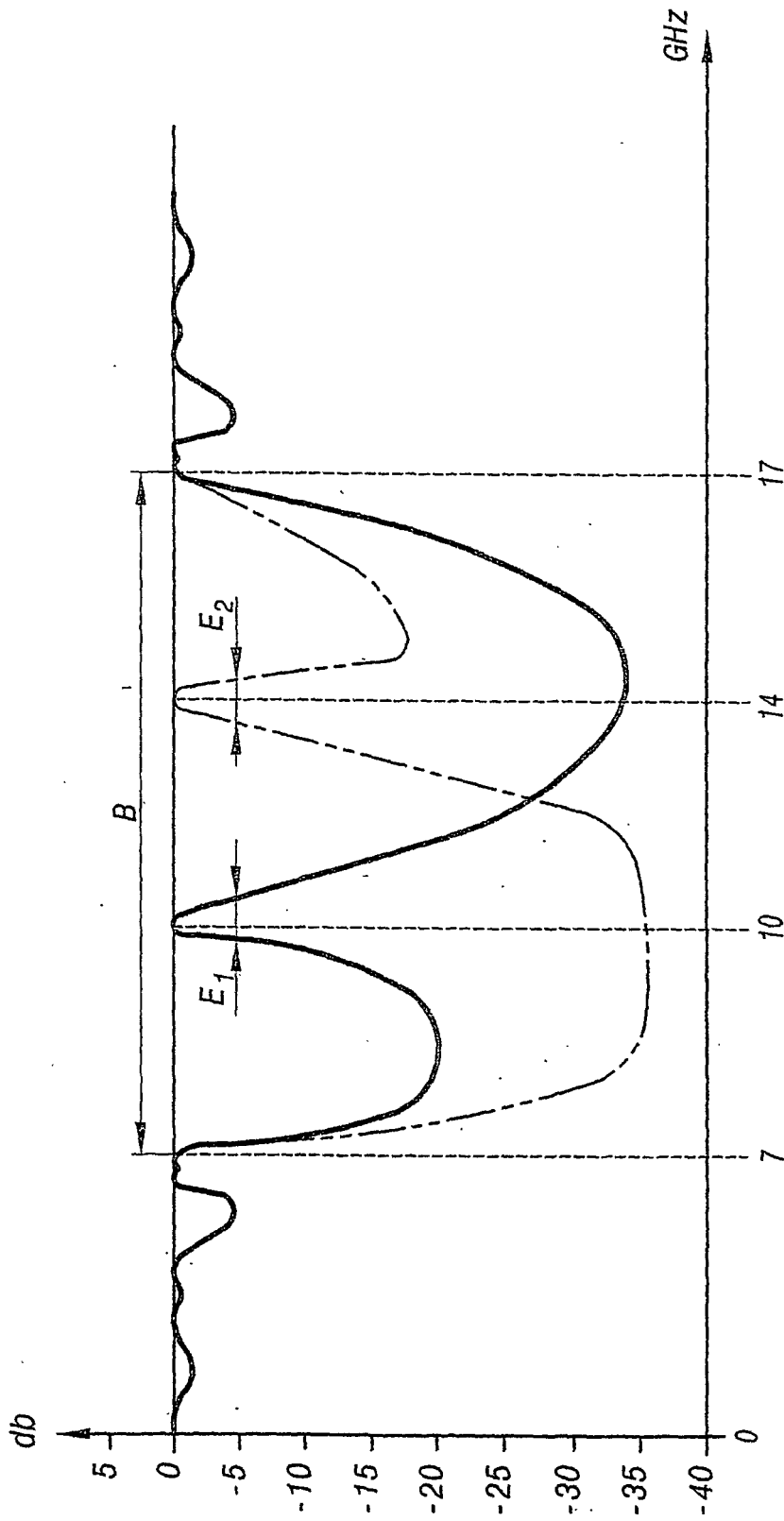
**FIG.4**



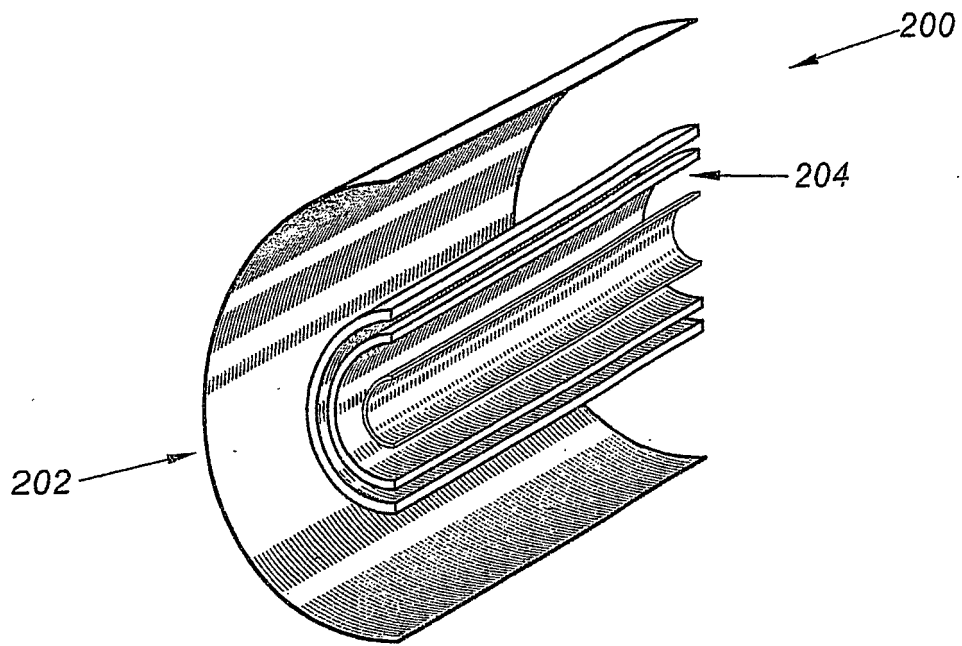
**FIG. 6**



**FIG. 8**



**FIG.7**



**FIG.9**