

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **88401343.4**

(51) Int. Cl.: **H 01 P 7/10**

(22) Date de dépôt: **03.06.88**

(30) Priorité: **05.06.87 FR 8707940**

(43) Date de publication de la demande:
21.12.88 Bulletin 88/51

(84) Etats contractants désignés:
DE ES GB IT NL SE

(71) Demandeur: **THOMSON-CSF**
173, Boulevard Haussmann
F-75379 Paris Cédex 08 (FR)

(72) Inventeur: **Bert, Alain Thomson-CSF-SCPI**
19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

Mamodaly-Quentin, Narguise Thomson-CSF-SCPI
19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

Guillon, Pierre Thomson-CSF-SCPI
19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

Bermudez, Luis Thomson-CSF-SCPI
19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Taboureau, James et al**
THOMSON-CSF SCPI 19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

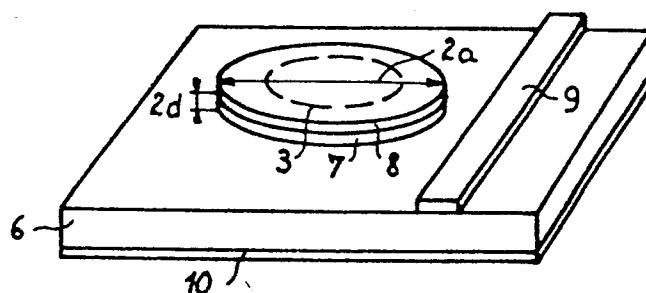
(54) **Résonateur hyperfréquence en mode de chuchotement en galerie.**

(57) L'invention concerne un résonateur hyperfréquence, utilisant le mode de chuchotement en galerie (whispering gallery mode).

Un résonateur selon l'invention est constitué par un élément résonant compris dans un disque plat (7), de diamètre (2a) beaucoup plus grand que son épaisseur (2d). Une onde électromagnétique s'y propage, confinée entre le pourtour du disque (7) et une surface dite caustique (3), de rayon (a_c) inférieur. L'onde ne rayonne pas à l'extérieur, et le résonateur peut être posé sur un substrat diélectrique (6) ou métallique (26). Le disque peut être évidé à l'intérieur (22) de la caustique (3). Un résonateur peut être simulé, dans l'épaisseur d'un substrat diélectrique (6) par au moins un anneau métallique (13) qui forme avec le plan de masse (10) un court-circuit magnétique (14). Excitation par microbandes (9) ou par guides image diélectriques (11).

Application à la stabilisation en fréquence des oscillateurs hyperfréquences, à la combinaison de puissance avec filtrage passif ou actif hyperfréquence.

FIG_3



Description

RESONATEUR HYPERFREQUENCE EN MODE DE CHUCHOTEMENT EN GALERIE

La présente invention concerne un résonateur diélectrique pour les hyperfréquences: ce résonateur est de type planaire, c'est-à-dire qu'il se présente sous la forme d'un disque plat, qui est soit physiquement distinct des composants avec lesquels il coopère, soit intégré dans une plaquette de diélectrique dans laquelle le disque plat est défini par un mur magnétique. Ce résonateur fonctionne en "mode de chuchotement", plus connu sous le sigle "whispering-gallery mode".

Le mode de chuchotement a été découvert par lord Rayleigh, dans le domaine acoustique: dans un édifice ayant une architecture voûtée en galerie, un bruit aussi faible qu'un chuchotement se transmet le long de la voûte, et est facilement transmis à grande distance, sans perte d'énergie.

Ce type de propagation s'applique également à d'autres domaines dont celui des hyperfréquences, et la théorie a été étudiée par Vedrenne et Arnaud, dans un article "Whispering-gallery modes of dielectric resonators" paru dans IEE Proc. vol. 129, N° 4, pages 183-187 d'août 1982.

Pour un cylindre en matériau diélectrique dans lequel se propage une onde électromagnétique, la résolution de l'équation de propagation permet de définir les composantes longitudinales et transversales des modes susceptibles de se propager. Ces modes sont définis par un nombre azimutal (propagation le long de l'axe du cylindre) et un nombre radial (propagation le long d'un rayon du cylindre). Pour les modes à nombre azimutal élevé, les champs électriques E et magnétique H qui entretiennent l'onde sont confinés entre une surface dite caustique et la surface latérale du cylindre diélectrique: il y a donc un confinement radial.

Si on appelle:

a: le rayon du cylindre,

a_c : le rayon de la surface caustique,

R: le rayon d'un point dont on considère la forme d'onde,

pour $R < a_c$: l'onde est évanescence,

pour $a_c < R < a$: l'onde est oscillante,

pour $R > a$: l'onde est évanescence.

En outre, on sait piéger ces ondes en mode de chuchotement en diminuant le diamètre du cylindre diélectrique de part et d'autre de la région discaire dans laquelle existe une onde confinée par mode de chuchotement. En effet, le rayonnement extérieur est très faible, puisque une onde de chuchotement est confinée dans un disque d'épaisseur $2d$ pour un mode à nombre azimutal élevé.

L'invention propose donc de réaliser les résonateurs pour dispositifs hyperfréquences non plus, comme dans l'art connu, au moyen d'un cylindre de matériau diélectrique, dont la longueur est de même ordre de grandeur que le diamètre, mais au moyen d'un disque de matériau diélectrique ou métallique, d'épaisseur faible devant son diamètre, fonctionnant en mode de chuchotement, la fréquence de l'onde de chuchotement étant liée au rayon du disque, au rayon de la surface caustique et à la matière du matériau.

Du fait que l'onde électromagnétique est confinée, et que le rayonnement extérieur est très faible, un résonateur selon l'invention fonctionne sur n'importe quel support, qu'il soit diélectrique ou métallique.

Du fait que ce résonateur en mode de chuchotement est un disque plat, il peut être soit déposé par sérigraphie ou tout autre procédé analogue, soit gravé dans une plaque de céramique.

De façon plus précise, l'invention consiste en un résonateur hyperfréquence, en mode de chuchotement en galerie, caractérisé en ce que l'élément résonant est un disque plat, de diamètre très supérieur à son épaisseur et dont le pourtour est le siège d'une propagation d'ondes électromagnétiques dont les fréquences de résonances sont liées au diamètre du disque, lesdites ondes électromagnétiques étant confinées, par le mode de chuchotement en galerie, entre le pourtour du disque et une surface interne dite caustique.

L'invention sera mieux comprise par la description plus détaillée du mode de fonctionnement et de plusieurs exemples de réalisation, et les avantages détaillés au cours de cette description qui s'appuie sur les figures jointes en annexe, représentant:

- fig. 1 : schéma d'un cylindre en matériau diélectrique, dans lequel une onde électromagnétique est confinée selon le mode de chuchotement, selon l'art connu,

- fig. 2 : représentation, sous forme de rayons optiques, du confinement d'une onde par mode de chuchotement, selon l'art connu,

- fig. 3 : vue de 3/4 dans l'espace d'un résonateur planaire fonctionnant en mode de chuchotement en galerie (WG mode) selon l'invention,

- fig. 4, 5, 6 : différents moyens d'excitation et de couplage à une onde extérieure d'un résonateur planaire en mode de chuchotement selon l'invention,

- fig. 7 : vue en coupe d'un résonateur pseudo-planaire, fonctionnant en mode de chuchotement en galerie, selon l'invention,

-fig. 8, 9 : moyens d'excitation et de couplage à une onde extérieure d'un résonateur pseudo-planaire en mode de chuchotement selon l'invention.

- fig. 10 à 21 : exemples de réalisations de résonateurs planaires ou pseudo-planaires, selon l'invention.

La figure 1 représente un cylindre diélectrique dans lequel est créée une onde électromagnétique, par des moyens appropriés de couplage extérieur. Ce cylindre 1, d'axe z, a un diamètre $2a$, et, pour piéger l'onde confinée selon le mode de chuchotement, on définit une région de ce cylindre, de longueur $2d$, en

diminuant en 2 le diamètre du cylindre à l'extérieur de ladite région.

La résonance en mode de chuchotement en galerie - plus connue sous le sigle anglais "W-G mode" - peut être décrite comme étant une onde qui se réfléchit contre la paroi concave d'un cylindre, à l'interface courbée entre le milieu diélectrique et l'air ambiant. L'onde se déplace dans le plan d'un cercle de rayon "a", perpendiculaire à l'axe z, et elle est confinée par la discontinuité diélectrique air, mais également par une surface cylindrique 3 dite caustique, de rayon a_c , coaxiale au cylindre de diélectrique, de rayon $a > a_c$.

La figure 2 donne, dans un plan perpendiculaire à l'axe z, la représentation, sous forme d'un rayon optique, du phénomène de mode de chuchotement en galerie. Un rayon lumineux issu de A se réfléchit sur la surface concave 1, en B, C, D..., et définit ainsi une surface caustique 3 contre laquelle il reste toujours tangent. Le processus est exactement le même avec une onde électromagnétique hyperfréquence.

Une onde qui se déplace dans un milieu est régie par une équation de propagation, qui comprend les composantes longitudinale (selon l'axe z) et transversale (selon un rayon a) des modes susceptibles de se propager. A ces composantes sont associés un nombre de mode azimutal n, un nombre de mode radial α et une constante de propagation h le long de l'axe. Pour obtenir une onde confinée par mode de chuchotement, il faut que $h = 0$ et que le nombre n de mode azimutal soit grand, et dans ce cas les champs d'excitation de l'onde électromagnétique sont confinés entre une caustique de rayon a_c et la surface latérale du cylindre, de rayon a. Si l'on considère un point distant de R de l'axe z,

- l'onde est oscillante si $a_c < R < a$

- l'onde est évanescence si $R < a_c$ ou si $R > a$

De plus, le confinement axial est amélioré si, comme en figure 1, le cylindre diélectrique 1 est diminué de diamètre dans les régions 2 externes à la région dans laquelle est créée l'onde en mode de chuchotement. Ainsi, le champ du mode résonant décroît exponentiellement dans la direction axiale z, en dehors de la région de large diamètre.

Ceci se traduit sur la figure 1 par les deux courbes 4 et 5 qui ont été superposées à la coupe géométrique. La courbe 4, qui donne la variation du champ transversal, montre que l'onde oscille entre a_c et a, et est évanescence à l'intérieur de la caustique de rayon a_c et à l'extérieur du cylindre de rayon a. La courbe 5, qui donne la variation du champ axial montre que l'onde oscille dans la région de longueur 2d du cylindre 1, et est évanescence en dehors de cette région. On a donc bien un résonateur, en forme de disque, dans lequel une onde électromagnétique est confinée par mode de chuchotement en galerie.

En outre, on appelle n le nombre de périodes le long du cercle, en coupe radiale, c'est-à-dire le nombre de réflexions en B, C, D, E... dans la représentation optique de la figure 2. La fréquence de l'onde de chuchotement dépend de a_c , a, de la nature du matériau, donc de sa constante diélectrique ϵ_r , et un peu de la longueur 2d de la région 1 du cylindre.

Les champs des modes en chuchotement de galerie étant confinés entre la caustique et le rayon extérieur du cylindre dans lequel existe une onde, ils sont très peu rayonnants. C'est pourquoi les facteurs de qualité Q associés à ces dispositifs sont élevés, proches des facteurs de qualité intrinsèques du matériau, et limités uniquement par les pertes dans le matériau.

De plus, ces types de modes de chuchotement en galerie permettent une facile suppression des modes parasites, évanescents axialement qui sont facilement absorbés sans perturbation des autres modes.

Enfin, les modes à chuchotement de galerie peuvent exister dans un guide métallique.

L'objet de l'invention est d'appliquer le mode de chuchotement en galerie, connue pour des cylindres de matériaux diélectriques, à la réalisation de résonateurs, en électronique hyperfréquence notamment. En effet, alors que, pour les fréquences très élevées, par exemple 10 à 100GHz, les résonateurs classiques cylindriques ont des dimensions si petites qu'ils deviennent difficilement manipulables, les résonateurs en mode de chuchotement se présentent sous forme d'un disque plat, de très faible épaisseur, qui peut être sérigraphié sur un substrat ou délimité dans une plaque de plus grandes dimensions.

La figure 3 représente un premier type de résonateur planaire en mode de chuchotement selon l'invention, vu de 3/4 dans l'espace.

Il consiste en un petit disque 7 de matériau diélectrique isotrope, anisotrope ou piézoélectrique, posé sur un substrat 6, qui peut être isolant ou métallique puisque le résonateur ne rayonne pas. Le disque 7 a un diamètre 2a, défini précédemment, une très faible épaisseur 2d et le matériau a une permittivité ϵ_r . Le disque 7 peut être recouvert par un disque métallique 8 dont l'utilité sera détaillée ultérieurement, et il est excité et couplé à l'extérieur par au moins un guide d'ondes ou une ligne microbande 9 et son plan de masse 10.

A titre d'exemples non limitatifs, pour un résonateur en mode de chuchotement en galerie:

- le diamètre 2a est de l'ordre de 8 à 19 mm, pour des fréquences de l'ordre de 10 à 20 GHz,

- l'épaisseur 2d est de l'ordre de 0,2 à 1,3 mm,

- la permittivité est comprise entre 9 et 36.

Les fréquences de résonance des modes de chuchotement excités dans ces résonateurs sont pratiquement indépendants de l'épaisseur du disque 7, seules intervenant les valeurs du diamètre 2a et de la permittivité ϵ_r comme le montre le tableau I dans lequel on constate également que les facteurs de

qualité Q suivent une évolution comparable avec la fréquence et indépendamment de l'épaisseur.

Cette indépendance de la fréquence de résonance par rapport à l'épaisseur $2d$ du disque peut être confirmée en plaçant le résonateur 7 en sandwich entre deux rondelles de matériaux absorbants : les fréquences de résonance et les facteurs de qualité sont les mêmes.

5 Par contre, on observe que le facteur de qualité Q croît avec l'ordre n du mode, c'est-à-dire avec la fréquence. En effet, le rayonnement diminuant lorsque la fréquence croît, le facteur de qualité tend vers la valeur intrinsèque du facteur de qualité du matériau. C'est ce que montre le tableau II, par comparaison avec la partie droite du tableau I.

10 Les modes de chuchotement en galerie sont classés en :

- modes WGE, possédant un champ électrique E radial,
- modes WGH, possédant un champ électrique E axial, selon la façon dont ils sont excités. On observe que, pour un même résonateur, les facteurs de qualité Q sont plus élevés pour les modes WGE que pour les modes WGH comme le montre le tableau III.

15 Enfin, la comparaison entre le tableau II et le tableau IV montre que la fréquence de résonance diminue lorsque la permittivité ϵ_r augmente.

L'excitation et le couplage des modes de chuchotement en galerie sont obtenus en synchronisant une mode extérieure avec l'onde en mode chuchotement dans le disque résonateur.

Ce couplage peut être réalisé :

20 - soit au moyen de lignes microélectroniques : ligne microbande telle que représentée en figure 3, ou ligne à fente.

- soit au moyen d'un guide d'onde métallique muni d'une fente,

25 - soit au moyen d'un guide image diélectrique dont la permittivité est identique à celle du résonateur planaire en WG mode. La figure 4 donne une représentation du montage réalisé pour mesurer n , F et Q qui sont donnés dans les tableaux I à IV. Le disque résonateur 7 est maintenu à proximité d'un barreau 11 fonctionnant en guide d'onde diélectrique, muni de transitions 12 vers un guide d'onde métallique non représenté.

L'excitation du mode du chuchotement en galerie peut également se faire selon les figures 5 et 6. En figure 5, un résonateur 7, posé à plat sur un substrat 6, est excité par deux lignes microbandes 9 orientées selon un diamètre du résonateur 7. L'équivalent en guide image diélectrique en est donné en figure 6.

30 Il a été dit précédemment qu'un résonateur en mode de chuchotement peut fonctionner sur un substrat métallique : dans ce cas, il est bien entendu que la ou les lignes microbandes 9 doivent être isolées du substrat pouvant alors servir de plan de masse.

35 Un résonateur en mode de chuchotement, tel qu'il a été défini jusqu'à présent dans le cadre de l'invention, consiste donc en un disque plat dans lequel des ondes sont piégées entre une surface caustique et une surface latérale. Ce disque peut être réalisé :

- soit par découpe d'un cylindre diélectrique, si l'épaisseur $2d$ du disque est suffisante, et de l'ordre de 0,2mm ou davantage,

40 - soit par sérigraphie d'une pâte diélectrique, sur un substrat céramique, métallique ou résistif, si l'épaisseur est suffisamment faible pour permettre la sérigraphie ($< 0,5$ mm). Le dépôt d'une pâte est particulièrement commode, car on peut faire varier, par mélanges, la permittivité de la pâte, et, par les écrans, le diamètre et l'épaisseur du disque de résonateur.

Cependant, l'invention comporte également un résonateur pseudo-planaire, fonctionnant en mode de chuchotement, dont la structure est facilement intégrable aux circuits hybrides ou monolithiques.

45 Dans un résonateur planaire, l'interface diélectrique-air sur le pourtour du disque, satisfait approximativement aux conditions aux limites d'un circuit ouvert. Pour réaliser un résonateur pseudo-planaire, il suffit de simuler une telle condition de circuit ouvert sur un substrat diélectrique.

50 Un résonateur pseudo-planaire est représenté en coupe en figure 7. Soit un substrat diélectrique 6, métallisé en 10 sur une face inférieure. Le résonateur pseudo-planaire est défini en 12 par un anneau métallique 13 de largeur w , déposé sur la face supérieure du substrat 6. L'anneau 13 et la métallisation 10 simulent un court-circuit magnétique 14 dans le corps du substrat 6, et ce court-circuit constitue un interface équivalent à la paroi latérale d'un cylindre. Le disque plat d'un résonateur à mode de chuchotement est donc intégré dans un substrat et il est défini magnétiquement.

55 Les modes de chuchotement en galerie excités dans ces résonateurs sont de même type que ceux présentés précédemment. Le tableau V donne les fréquences de résonance et les facteurs de qualité pour deux résonateurs pseudo-planaires.

Les fréquences de résonance sont en bon accord avec celles du tableau I pour deux résonateurs planaires.

60 On constate aussi que les facteurs de qualité sont plus élevés lorsque la largeur w de l'anneau métallique 13 est plus grande, parce que la condition de court-circuit magnétique est mieux respectée.

65 Les résultats obtenus l'ont été avec le même type d'excitation que pour les résonateurs planaires, et les figures 8 et 9 en donnent deux exemples. En figure 8, deux lignes microbandes 9, sur le substrat 6 sont couplées selon un diamètre à un anneau métallique 13 qui définit le résonateur 12. En figure 9, deux guides image diélectriques 11, posés sur le substrat 6, sont couplés selon un diamètre à un anneau diélectrique 15, lui-même posé sur un anneau métallique qui définit le résonateur 12.

Les résonateurs, planaires ou pseudo-planaires, en mode de chuchotement en galerie peuvent être réalisés d'autres façons encore. Par exemple en gravant un disque plat en relief sur une surface principale d'un substrat, comparable aux mésas des semi-conducteurs. Ou bien en gravant une rainure circulaire dans un substrat, le disque étant coplanaire avec le substrat.

Il a été dit que le phénomène de chuchotement en galerie se développe aussi dans les métaux: un résonateur en WG mode peut être réalisé au moyen d'un disque ou d'un anneau métallique, mais le substrat est dans ce cas obligatoirement un diélectrique.

Enfin, puisque les modes de chuchotement sont confinés entre une surface caustique de rayon a_c et une surface extérieure à la caustique, de rayon a , l'espace à l'intérieur de la caustique, de rayon inférieur à a_c , n'intervient pas, ce qui justifie qu'un résonateur peut dans certaines réalisations se présenter sous forme d'un anneau de matière, d'épaisseur $2d$. Cet espace peut être utilisé pour intégrer d'autres composants, tels que puces semiconductrices, sans altérer les propriétés des modes de chuchotement. Un résonateur en WG mode peut donc constituer le boîtier d'encapsulation d'un dispositif semiconducteur, ce boîtier étant formé par un couvercle métallique, dont on a vu qu'il ne perturbe pas les modes en chuchotement puisqu'ils ne rayonnent pas.

Les figures 10 à 21 représentent plusieurs exemples de réalisations de résonateurs en mode de chuchotement en galerie, planaires et pseudo-planaires. Pour chaque figure est donnée une vue en coupe associée à une vue en plan. Les numéros des repères sont constants pour toutes ces figures et comprennent notamment:

- 6 = le substrat de permittivité ϵ_r ,
- 10 = le plan de masse
- 9 = au moins une microbande de couplage
- 11 = au moins un guide image diélectrique.

Selon les cas, on a:

- fig. 10 : résonateur planaire, tel que décrit en figure 3 constitué par un disque diélectrique plat 7 rapporté sur un substrat 6,

- fig. 11 : résonateur planaire, constitué par un disque plat 17 taillé en méssa dans un substrat 16, de permittivité différente de celle du substrat 6,

- fig. 12 : résonateur planaire, constitué par un disque plat métallique 18 rapporté sur un substrat diélectrique,

- fig. 13 : résonateur planaire, constitué par un anneau métallique 19 rapporté sur un substrat diélectrique,

- fig. 14 : résonateur pseudo-planaire, défini dans un substrat diélectrique par un anneau métallique 20, très fin, pour simuler la surface extérieure du résonateur et un anneau métallique 21, très fin et concentrique, pour simuler la surface caustique,

- fig. 15 : résonateur pseudo-planaire, défini dans un substrat diélectrique par un anneau métallique 20, très fin, pour simuler la surface extérieure du résonateur, et un trou 22 dans le substrat, de diamètre égal à celui de la caustique,

- fig. 16 : résonateur pseudo-planaire, constitué par un disque 23 découpé dans un substrat diélectrique par une rainure circulaire 24,

- fig. 17 : résonateur pseudo-planaire, défini dans un substrat diélectrique par un anneau métallique 20, très fin, et par une rainure circulaire 25, pratiquée dans la face du substrat qui porte le plan de masse,

- figure 18 : résonateur planaire 17, couplé à un guide image diélectrique 11, les deux étant taillés en méssa dans un substrat diélectrique 16.

- fig. 19 : résonateur planaire constitué par un disque diélectrique 7, couplé à un guide image diélectrique 11 rapportés sur un substrat métallique 26.

- fig. 20 : résonateur constitué par un disque ou anneau 21 métallique, placé dans une ligne triplaquée et couplé à une microbande 9,

- fig. 21 : résonateur constitué par un disque diélectrique 7, placé dans un guide d'onde métallique 10, et couplé à une microbande 9 déposée sur un substrat diélectrique 6.

D'autres variantes sont évidentes pour l'homme de l'art, par combinaisons entre les différents substrats et les différentes formes de résonateurs et de moyens de couplage. Entre autres, tous les résonateurs représentés peuvent être couplés à deux microbandes 9 ou deux guide-image diélectrique 11.

Ces résonateurs en mode de chuchotement en galerie ont de très intéressantes propriétés dans le domaine des fréquences millimétriques pour la conception des circuits hybrides ou monolithiques, mais également dans le domaine des fréquences optiques. Ils ont des caractéristiques proches de celles des meilleures réalisations en techniques non planaires, telles que les cavités métalliques.

Ils sont utilisés en électronique hyperfréquence, notamment:

- pour la stabilisation en fréquence des oscillateurs.
- pour la conception de combineurs de puissance millimétrique.
- pour le filtrage micro-onde passif ou actif.

Tableau I

$\epsilon_r=9,6 \quad 2a=19,0 \text{ mm}$					
$2d = 0,635 \text{ mm}$			$2d \quad h=1,3 \text{ mm}$		
n	Freq. [GHz]	"Q"	n	Freq. [GHz]	"Q"
WGE 18,0,0	28.467	43	WGE 18,0,0	28.885	59
WGE 19,0,0	30.688	89	WGE 19,0,0	30.940	72
WGE 20,0,0	32.886	171	WGE 20,0,0	32.752	273
WGE 21,0,0	34.990	402	WGE 21,0,0	34.563	172

n = nombre de périodes dans un disque, ou ordre du mode.

Tableau II

$\epsilon_r=9,6 \quad 2a=13,8 \text{ mm} \quad 2d = 1,3 \text{ mm}$		
n	Freq. [GHz]	"Q"
WGE 41,0,0	91.568	800
WGE 42,0,0	94.117	904
WGE 43,0,0	96.203	692
WGE 44,0,0	98.678	795

Tableau III

$\epsilon_r=9,6$ $2a=13,8$ mm $2d=0,635$ mm		
n	Freq. [GHz]	"Q"
WGE 41,0,0	91.230	2850
WGH 42,0,0	93.298	930
WGE 42,0,0	93.805	2680
WGH 43,0,0	96.010	1010
WGE 43,0,0	96.370	2350
WGH 44,0,0	98.684	1617
WGE 44,0,0	98.911	2355

Tableau IV

$\epsilon_r=36$ $2a=14,8$ mm $2d=230$ μm		
n	Freq. [GHz]	"Q"
WGE 26,0,0	27.685	113
WGE 27,0,0	29.683	117
WGE 29,0,0	31.536	213
WGE 31,0,0	33.287	250
WGE 33,0,0	34.978	330
WGE 34,0,0	36.586	580

Tableau V

$\epsilon_r=9,6 \quad 2d=0,635 \text{ mm}$					
Dint=18,9 mm			Dint=17,9 mm		
Dext=19,0 mm			Dext=18,9 mm		
n	Freq. [GHz]	"Q"	n	Freq. [GHz]	"Q"
WGE 17,0,0	27.844	*	WGE 17,0,0	28.274	471
WGE 18,0,0	29.680	*	WGE 18,0,0	30.006	526
WGE 19,0,0	31.520	*	WGE 19,0,0	31.736	435
WGE 20,0,0	33.334	331	WGE 20,0,0	33.455	281
WGE 21,0,0	35.131	326	WGE 21,0,0	35.157	418
WGE 22,0,0	36.908	188	WGE 22,0,0	36.855	300
WGE 23,0,0	38.669	216	WGE 23,0,0	38.551	464

Revendications

1. Résonateur hyperfréquence, en mode de chuchotement en galerie, caractérisé en ce que l'élément résonant est compris dans un disque plat (7), de diamètre (2a) très supérieur à son épaisseur (2d), et dont le pourtour est le siège d'une propagation d'onde électromagnétique dont les fréquences de résonances sont liées au diamètre (2a) du disque (7), ladite onde électromagnétique étant confinée, par le mode de chuchotement en galerie entre le pourtour du disque (7) et une surface interne dite caustique (3), de rayon inférieur (a_c).

2. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les fréquences de résonance sont indépendantes de l'épaisseur (2d) du disque plat (7).

3. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les fréquences de résonance sont déterminées par le mode (n), ou nombre de réflexions de l'onde électromagnétique sur le pourtour du disque plat (7), ce nombre (n) étant lui-même fixé par l'excitation extérieure du résonateur qui est couplé à une ligne microbande (9) ou à un guide image diélectrique (11).

4. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, l'onde électromagnétique étant confinée par le mode de chuchotement en galerie, le résonateur (7) ne rayonne pas à l'extérieur et en ce que le substrat qui supporte le résonateur (7) est en matériau diélectrique (6) isotrope, anisotrope ou piézoélectrique, métallique (26) ou résistif.

5. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, l'onde électromagnétique étant confinée entre le pourtour (rayon a) du résonateur et la surface caustique (rayon a_c), le résonateur est un anneau (19) de rayon externe (a) égal à celui du disque (7) et de rayon interne (a_c) égal à celui de la caustique (3).

6. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le disque plat de l'élément résonant est simulé, dans l'épaisseur d'un substrat diélectrique (6) muni d'une métallisation de plan de masse (10) par au moins un anneau métallique (13) qui, en combinaison avec le plan de masse (10), crée un court-circuit magnétique (14), de rayon intérieur égal au rayon extérieur (a) du résonateur (12).

7. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un disque diélectrique (7) rapporté sur un substrat diélectrique (6) ou métallique (26).

8. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un disque (18) ou un anneau (19) métallique rapporté sur un substrat diélectrique (6).

9. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un disque (17) taillé en

mésa dans un substrat diélectrique (16).

10 Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par deux métallisations fines (20, 21) concentriques déposées sur un substrat diélectrique (6), la métallisation extérieure (20) (rayon a) simulant dans le substrat (6) le pourtour du disque de l'élément résonant, la métallisation intérieure (21) (rayon a_c) simulant la caustique.

5

11. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par une métallisation fine (20) (rayon a) déposée sur un substrat diélectrique (6) et par un trou (22) (rayon a_c) creusé dans le substrat (6) concentriquement à la métallisation (20), ce trou (22) simulant la caustique.

12. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un disque (23) défini dans un substrat diélectrique (6) par une rainure circulaire (24).

10

13. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un anneau métallique (20) déposé sur une première face principale d'un substrat diélectrique (6), et par une rainure (25) creusée dans une deuxième face principale dudit substrat, et à l'aplomb de l'anneau métallique (20).

13. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un disque plat ou un anneau (21), en matériau diélectrique ou métallique, noyé dans un substrat diélectrique (6) métallisé sur ses deux faces (10) et constituant une ligne triplaque, une ligne microbande (9) étant de plus noyée dans le substrat (6) dans le plan du disque (21).

15

15. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par un disque (7), en matériau diélectrique ou métallique, placé à l'intérieur d'un guide d'onde métallique, parallèlement à l'une de ses faces principales, une ligne microbande (9) étant de plus déposée sur un substrat diélectrique (6), sur une face interne du guide d'onde.

20

16. Résonateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est couplé à au moins une ligne microbande (9) métallique, déposée sur le substrat (6) à proximité du disque de l'élément résonant (7).

17. Résonateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est couplé à au moins un guide image diélectrique (11), inséré dans le substrat diélectrique (16) ou déposé sur le substrat métallique (26).

25

18. Résonateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le disque (7) ou l'anneau (19), diélectrique ou métallique, et déposé sur le substrat par sérigraphie.

30

35

40

45

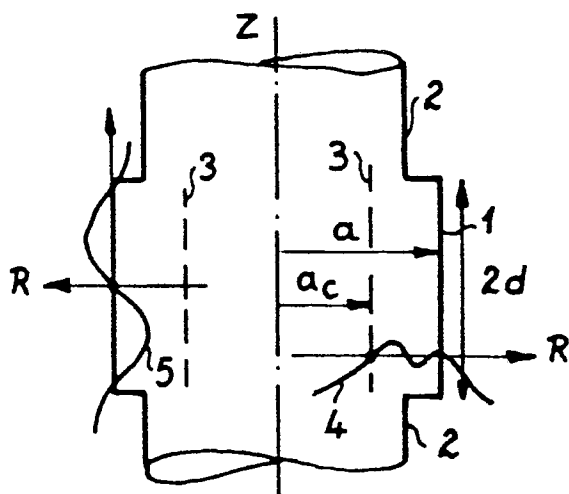
50

55

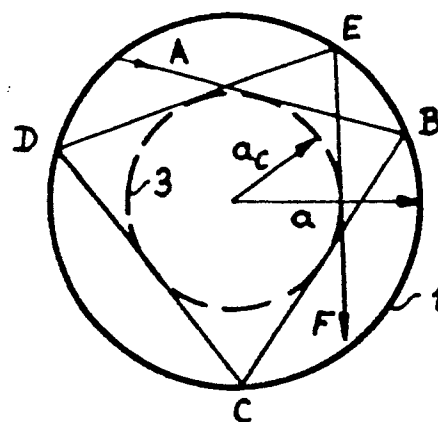
60

65

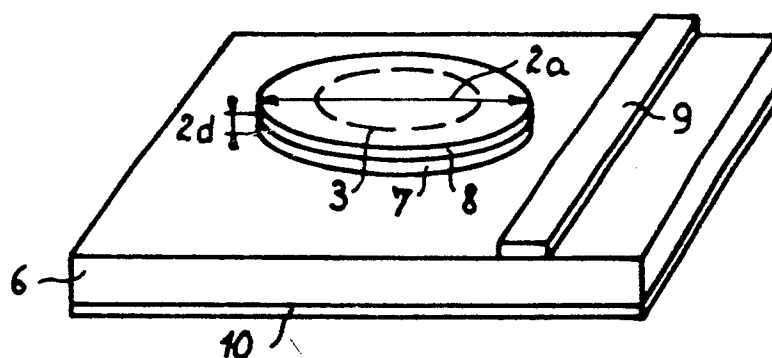
FIG_1



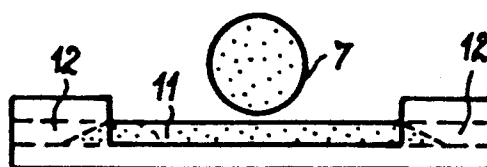
FIG_2



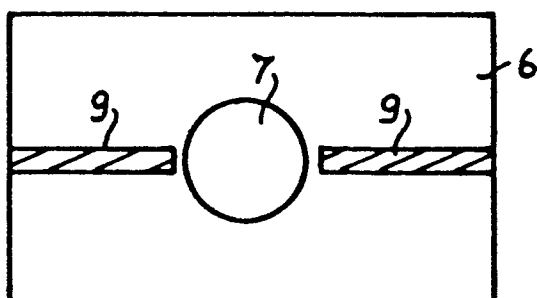
FIG_3



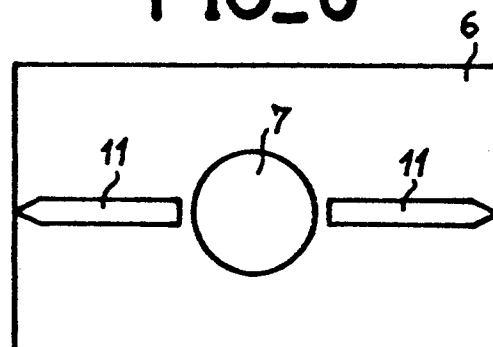
FIG_4



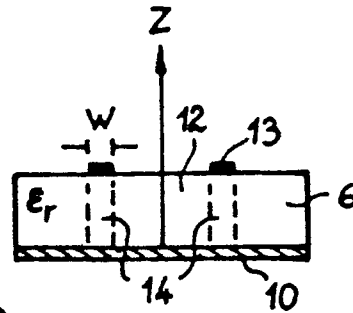
FIG_5



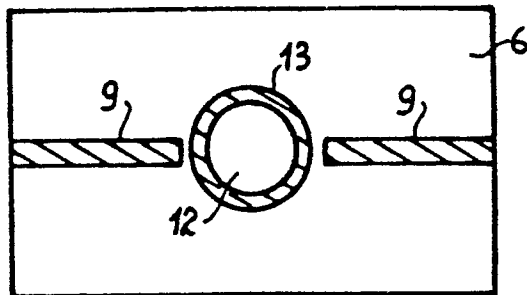
FIG_6



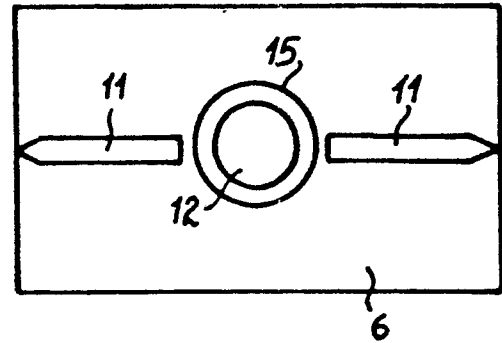
FIG_7



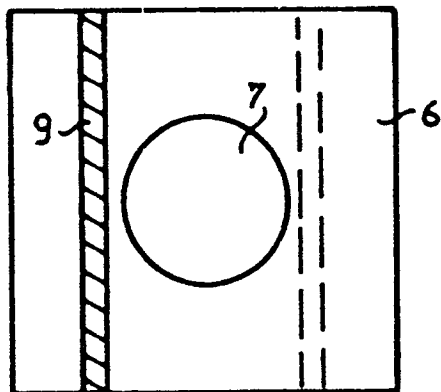
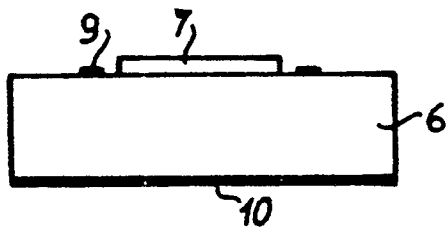
FIG_8



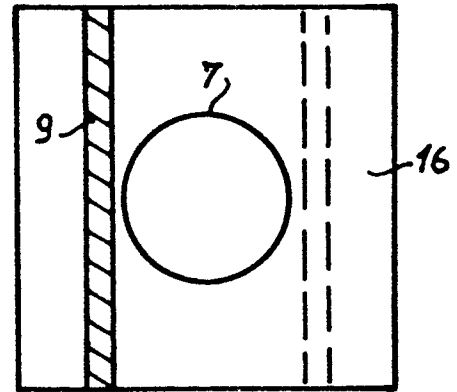
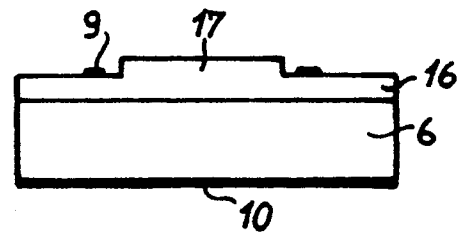
FIG_9



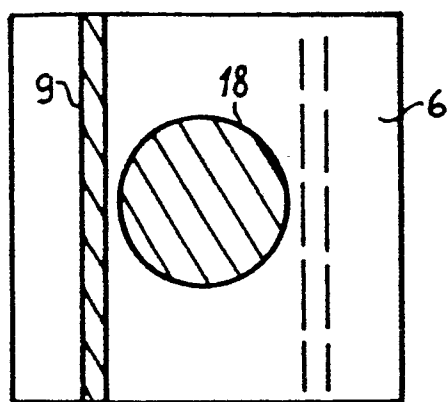
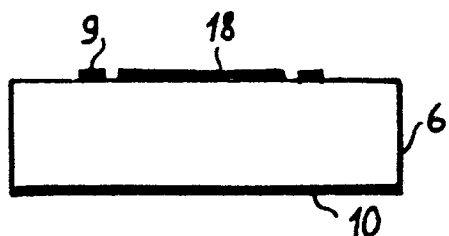
FIG_10



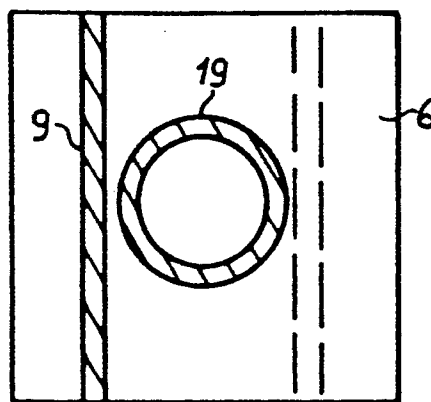
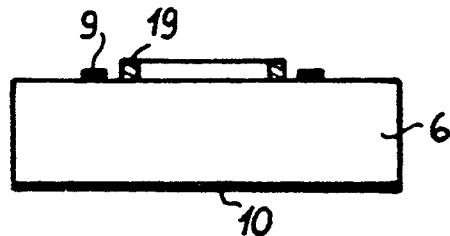
FIG_11



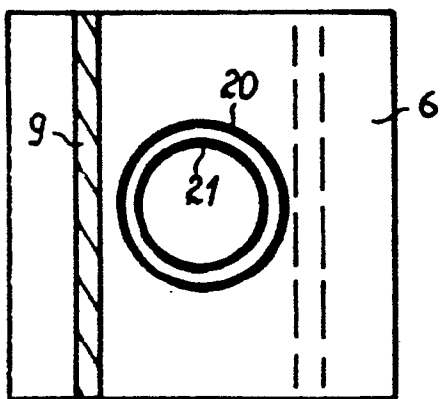
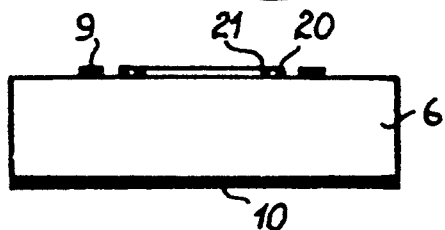
FIG_12



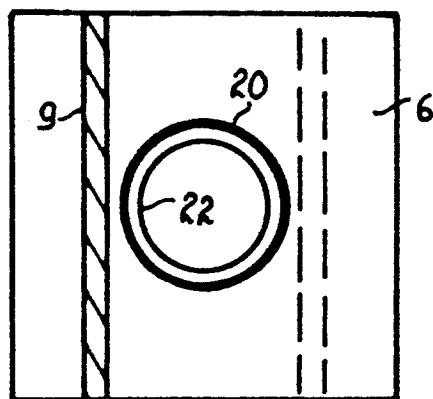
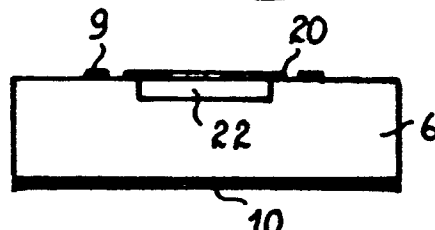
FIG_13



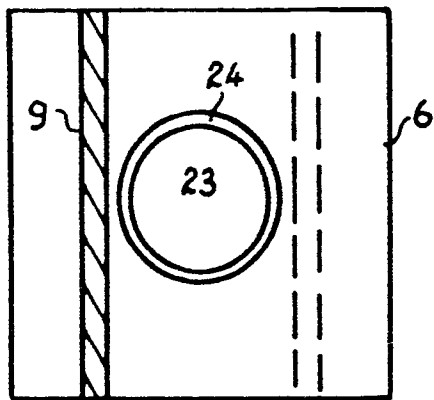
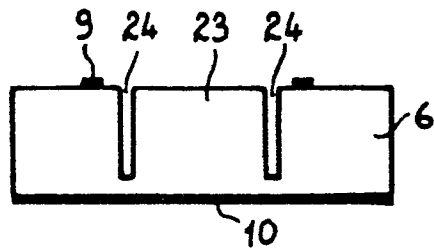
FIG_14



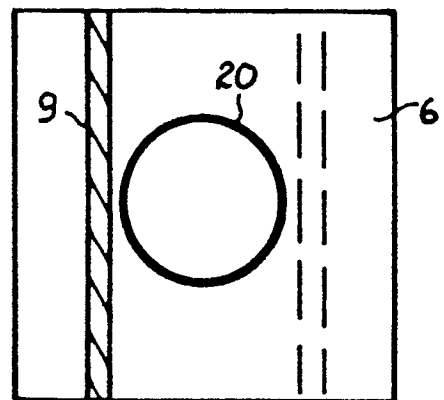
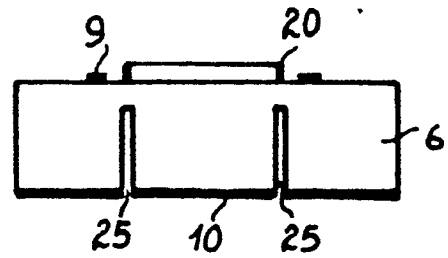
FIG_15



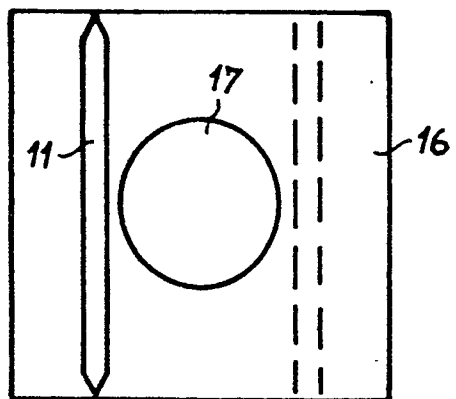
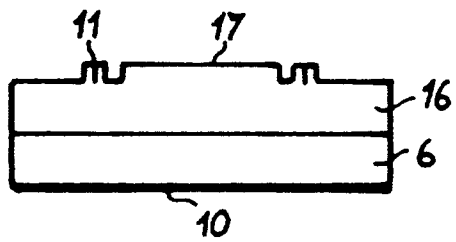
FIG_16



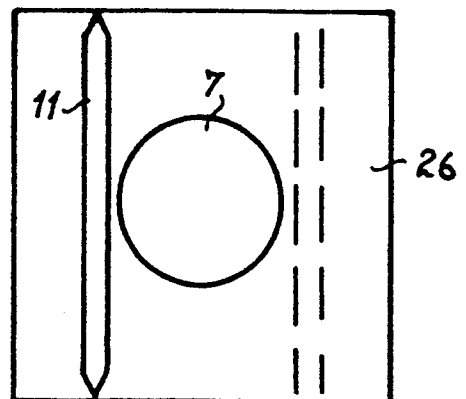
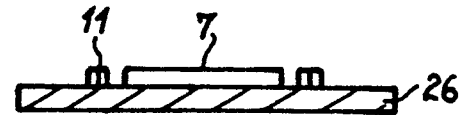
FIG_17



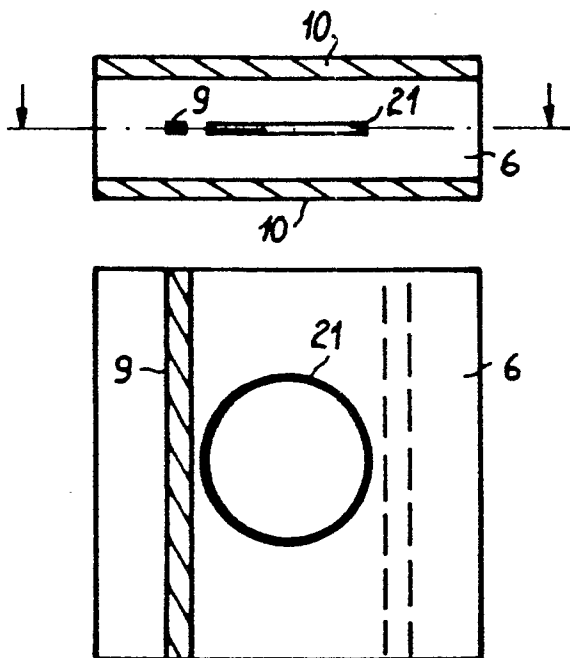
FIG_18



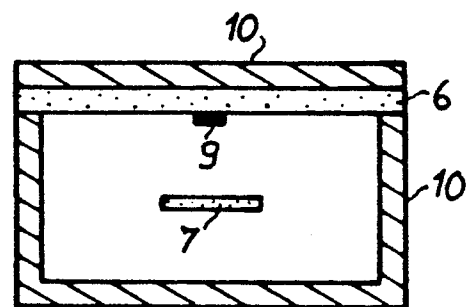
FIG_19



FIG_20



FIG_21





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 88 40 1343

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
D,Y	IEEE PROCEEDINGS SECTION A A I, vol. 129, no. 4, partie H, août 1982, pages 183-187, Old Woking, Surrey, GB; C. VEDRENNE et al.: "Whispering-gallery modes of dielectric resonators" * En entier * ---	1-5,7, 17	H 01 P 7/10
Y	US-A-3 558 213 (E.A.J. MARCATILI) * Colonne 2, lignes 39-45; colonne 4, lignes 24-33; figures * ---	1-5,7, 17	
P,X	1987 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, vol. 1, Las Vegas, Nevada, 9-11 juin 1987, pages 367-370, IEEE, New York, US; X.H. JIAO et al.: "Whispering-gallery modes of dielectric structures applications to millimeter wave bandstop filter" * En entier * ---	1-8	
P,X	IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, vol. MTT-35, no. 12, décembre 1987, pages 1169-1175, IEEE, New York, US; X.H. JIAO et al.: "Whispering-gallery modes of dielectric structures: applications to millimeter-wave bandstop filters" * En entier * -----	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4) H 01 P
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 08-09-1988	Examineur LAUGEL R.M.L.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant			