



⑫

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet :  
**21.06.95 Bulletin 95/25**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup> : **H01Q 3/26, H01Q 3/46**

②① Numéro de dépôt : **92401383.2**

②② Date de dépôt : **21.05.92**

⑤④ **Antenne hyperfréquence à balayage optoélectronique.**

③⑩ Priorité : **18.06.91 FR 9107422**

⑦③ Titulaire : **THOMSON-CSF**  
**173, Boulevard Haussmann**  
**F-75008 Paris (FR)**

④③ Date de publication de la demande :  
**23.12.92 Bulletin 92/52**

⑦② Inventeur : **Cachier, Georges**  
**Thomson-CSF,**  
**SCPI - Cédex 67**  
**92045 Paris la Défense (FR)**

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :  
**21.06.95 Bulletin 95/25**

⑧④ Etats contractants désignés :  
**DE FR GB IT SE**

⑦④ Mandataire : **Beylot, Jacques et al**  
**Thomson-CSF**  
**SCPI**  
**B.P. 329**  
**F-92402 COURBEVOIE CEDEX (FR)**

⑤⑥ Documents cités :  
**EP-A- 0 442 562**  
**GB-A- 2 225 122**  
**US-A- 5 014 069**  
**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no.**  
**97 (E-723)(3445) 7 Mars 1989 & JP-A-63 269 807**  
**(MITSUBISHI)**

**EP 0 519 772 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

La présente invention concerne une antenne hyperfréquence utilisant, pour le pointage de son faisceau, un réseau de réflecteurs élémentaires à éléments actifs capables de modifier, à volonté, sous le contrôle d'une commande optique, la longueur du trajet de pénétration des ondes hyperfréquences dans les réflecteurs du réseau pour engendrer des déphasages variant d'un réflecteur élémentaire à l'autre et assurer le pointage du faisceau d'antenne.

Une antenne connue de ce genre possède un réflecteur réalisé à partir d'un substrat en un matériau diélectrique à faibles pertes pour les ondes hyperfréquences, transparent à la lumière, tel que de l'oxyde de silice  $\text{SiO}_2$  ou de l'alumine cristallisée  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Du côté exposé aux hyperfréquences ce substrat est revêtu d'éléments photoconducteurs isolés entre eux par un matériau électriquement isolant, éventuellement recouverts d'une couche opaque transparente aux hyperfréquences, et disposés en réseau avec un pas de maillage égal à  $\lambda/2$  pour éviter les angles multiples de réflexion,  $\lambda$  étant la longueur d'onde des hyperfréquences considérées. Du côté opposé, non exposé aux hyperfréquences, il est revêtu d'une électrode transparente à la lumière réalisée en un matériau électriquement conducteur tel que de l'oxyde d'étain ITO.

Les éléments photoconducteurs, qui peuvent être en silicium "intrinsèque" c'est à dire isolant, sont éclairés ou non sur commande au travers du substrat et de l'électrode transparente, par exemple à l'aide d'un écran à cristaux liquides plaqué contre le substrat sur l'électrode transparente et éclairé par une source lumineuse. Lorsqu'ils sont éclairés, ils deviennent électriquement conducteurs et réfléchissent les ondes hyperfréquences avant qu'elles ne pénètrent dans le substrat. Lorsqu'ils ne sont pas éclairés, ils sont électriquement isolants et se laissent traverser par les ondes hyperfréquences qui pénètrent au travers du substrat et se réfléchissent sur l'électrode transparente. Si le retard de propagation à travers les épaisseurs des éléments photoconducteurs et du substrat est proche d'un nombre impair de quarts de période de l'onde hyperfréquence, le déphasage obtenu entre des ondes hyperfréquences selon qu'elles rencontrent un élément photoconducteur éclairé ou un élément photoconducteur non éclairé est de  $\pi$ .

On réalise ainsi un réseau de réflecteurs élémentaires, avec un maillage au pas de la moitié de la longueur d'onde des hyperfréquences, qui sont capables chacun d'engendrer à volonté des déphasages de 0 ou  $\pi$  sous contrôle d'une commande optique. Cependant, les performances d'une antenne hyperfréquence à balayage concernant le gain, le niveau de lobes secondaires et le diffuss nécessitent, en général, pour être acceptables, l'utilisation d'un déphaseur commandable à plus de deux états de phase au ni-

veau de chaque réflecteur élémentaire.

Pour satisfaire cette exigence, il a été proposé d'empiler des couches de silicium photoconducteur et de substrat diélectrique à faible perte devant l'électrode conductrice transparente pour présenter à l'onde hyperfréquence, au sein de chaque réflecteur élémentaire, différents chemins de longueurs échelonnées qui correspondent à diverses valeurs de déphasage comprises entre 0 et  $2\pi$  et qui sont fonctions de la profondeur dans l'empilement de la première couche de silicium photoconducteur rendue conductrice par éclairage. On rencontre alors des difficultés pour l'illumination sélective des différentes couches de silicium photoconducteur qui se masquent les unes les autres.

La présente invention a pour but de remédier à ces difficultés et de permettre l'obtention de déphaseurs commandables à plus de deux états de phase dans un réseau de réflecteurs pour onde hyperfréquence tout en conservant pour le réseau de réflecteurs une structure simple à trois couches formée d'un substrat en matériau diélectrique à faible perte transparent à la lumière portant, du côté exposé aux hyperfréquences, un réseau d'éléments photoconducteurs et, du côté opposé, une électrode conductrice transparente à la lumière.

Elle a pour objet une antenne hyperfréquence à balayage optoélectronique pourvue d'une part, d'un réseau de réflecteurs élémentaires à déphaseurs commandés optiquement comportant un substrat en un matériau diélectrique à faibles pertes en hyperfréquences, transparent à la lumière, revêtu, du côté exposé aux hyperfréquences, d'une couche d'éléments photoconducteurs répartis en réseau, et, du côté opposé, d'une électrode conductrice transparente à la lumière, et d'autre part, de moyens d'éclairage sélectif des éléments photoconducteurs aptes à faire passer ces derniers d'un état électriquement isolant à un état conducteur et réciproquement. Cette antenne est remarquable en ce que le réseau d'éléments photoconducteurs présente un maillage qui suréchantillonne le maillage du réseau de réflecteurs élémentaires. Ainsi, chaque réflecteur élémentaire regroupe  $n^2$  éléments photoconducteurs,  $n$  étant le taux de suréchantillonnage, dont une proportion plus ou moins grande est éclairée ce qui lui procure différents états de phase échelonnés depuis une valeur minimale obtenue lorsque tous ses éléments photoconducteurs sont éclairés jusqu'à une valeur maximale obtenue lorsque tous ses éléments photoconducteurs sont dans l'obscurité.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple. Cette description sera faite ci-après, en regard du dessin dans lequel :

- une figure 1 représente, de manière schématique et partiellement démontée, une antenne hyperfréquence à balayage optoélectronique

selon l'invention ;

- une figure 2 est un diagramme qui représente les variations du coefficient de réflexion sous incidence normale et du déphasage à la réflexion, en fonction de la résistivité, pour du silicium utilisé comme photoconducteur ;
- une figure 3 est un diagramme qui représente les variations du déphasage à la transmission et à la réflexion du silicium en fonction de la fréquence et
- une figure 4 illustre un exemple de répartition d'éléments photoconducteurs à la surface d'un réflecteur élémentaire de l'antenne représentée à la figure 1.

L'antenne hyperfréquence représentée à la figure 1 fonctionne aux environs de 94 GHz. Elle comporte un cornet 1 qui illumine avec une onde hyperfréquence un réseau plan 2 de réflecteurs élémentaires placé devant un écran à cristaux liquides 3 éclairé par une source lumineuse 4 au travers d'une optique de focalisation 5.

Le réseau de réflecteurs élémentaires se présente sous la forme d'un disque plat d'environ 10 cm de diamètre. Il est constitué d'un substrat 20 en un matériau diélectrique à faibles pertes en hyperfréquences, transparent à la lumière, tel que de l'oxyde de Silice  $\text{SiO}_2$  ou de l'alumine cristallisée  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Du côté tourné vers le cornet 1, qui est exposé aux hyperfréquences, ce substrat 20 porte une couche 21 d'éléments photoconducteurs tel que du silicium ou de l'arséniure de gallium qui sont isolés entre eux et répartis à la surface du substrat de manière à suréchantillonner le maillage d'un réseau de réflecteurs élémentaires au pas de  $\lambda/2$  ici, environ 1,5 mm. Du côté opposé au cornet 1, le substrat 20 est revêtu d'une électrode conductrice 22 transparente à la lumière qui est, par exemple, en oxyde d'étain.

L'écran à cristaux liquides 3 est plaqué contre l'électrode conductrice 22 du substrat 20. Il comporte un réseau de pixels qui reproduisent fidèlement la répartition des éléments photoconducteurs 21 portés par le substrat 20 et qui peuvent être rendus, sur commande, soit transparents, soit opaques afin de provoquer, de manière sélective, l'éclairage des éléments photoconducteurs placés dans leur prolongement.

La source lumineuse 4 peut être un réseau de diodes électroluminescentes ou de lasers fournissant une puissance de 30 à 50 Watts en continu à une longueur d'ondes de 0,8  $\mu\text{m}$  environ. L'intensité lumineuse arrivant sur un élément photoconducteur en silicium, lorsque le pixel de l'écran de cristaux liquides qui lui est associé est transparent, est alors suffisante pour rendre ledit élément conducteur.

La figure 2 représente les variations du coefficient de réflexion sous incidence normale et du déphasage à la réflexion, en fonction de la résistivité, pour du silicium utilisé comme photoconducteur. Elle

montre qu'il est possible de passer d'une réflexion totale à une transmission quasi totale des ondes hyperfréquences avec du silicium dont la résistivité varie de 0,1 ohm.cm environ à plus de 1000 ohm.cm en fonction de son éclairement. Elle montre également qu'il existe une condition d'éclairement pour laquelle le silicium absorbe complètement les hyperfréquences. Cet effet peut être utilisé pour rendre l'antenne absorbante, donc furtive pour un système de détection.

La figure 3 représente la réponse en fréquence du déphasage à la transmission ( $P=1000$  ohm.cm) et à la réflexion ( $P=0,18$  ohm.cm) du silicium. Elle montre que le déphasage à la transmission est pratiquement nul pour une onde hyperfréquence de 94 GHz.

La figure 4 donne un exemple de répartition des éléments photoconducteurs à la surface du substrat 20. Ceux-ci suréchantillonnent le maillage du réseau de réflecteurs élémentaires au pas de  $\lambda/2$  représenté en traits pleins, avec un maillage quatre fois plus fin représenté en pointillés. Ainsi, chaque réflecteur élémentaire est formé d'un dallage de 16 éléments photoconducteurs 1a;...4d qu'il est possible d'éclairer individuellement par l'intermédiaire des pixels de l'écran à cristaux liquides afin de les rendre à volonté isolants ou conducteurs. On peut alors choisir une forme variable de la surface photoconductrice éclairée dans chaque réflecteur élémentaire pour définir une phase variable. Cela revient à l'introduction, dans un guide d'onde hyperfréquence matérialisé par le contour d'un réflecteur élémentaire, d'un iris conducteur qui est équivalent à une susceptance dont on sait calculer la phase en réflexion. Cette susceptance variable peut être la même pour plusieurs polarisations hyperfréquences si celles-ci voient des surfaces équivalentes.

Par exemple, une polarisation horizontale et une polarisation verticale voient le même déphasage si la surface de photoconducteur rendue conductrice a une forme conservée dans une rotation de  $\pi/2$ .

Dans le cas illustré par la figure 4 où un réflecteur élémentaire est constitué d'un dallage de 16 éléments photoconducteurs 1a;...4d on peut adopter cinq configurations différentes conservées par une rotation de  $\pi/2$  :

- une première configuration où aucun élément photoconducteur n'est éclairé ;
- une deuxième configuration, qui est celle représentée, où seuls les éléments photoconducteurs en coin 1a, 4a, 4d et 1d sont éclairés ;
- une troisième configuration où les éléments photoconducteurs 2a, 4b, 3d et 1c sont éclairés en plus des éléments photoconducteurs en coin 1a, 4a, 4d, et 1d ;
- une quatrième configuration où tous les éléments photoconducteurs du pourtour 1a, 2a, 3a, 4a, 4b, 4d, 3d, 2d, 1d, 1c, et 1b sont éclairés ;

- une cinquième configuration où tous les éléments photoconducteurs sont éclairés.

Si les épaisseurs des éléments photoconducteurs et du substrat sont de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde des hyperfréquences utilisées on obtient avec les quatre dernières configurations un déphaseur commandé à deux bits indépendant de la polarisation.

Bien évidemment, on peut adopter un taux de suréchantillonnage moindre par exemple de deux ou trois mais on a alors un moindre choix de configurations ou supérieur mais on se heurte alors à des difficultés de réalisation dues à la petitesse des éléments photoconducteurs et des pixels de l'écran à cristaux liquides qui doivent leur correspondre.

### Revendications

1. Antenne hyperfréquence à balayage optoélectronique pourvue d'une part, d'un réseau (2) de réflecteurs élémentaires commandés optiquement comportant un substrat (20) en un matériau diélectrique à faibles pertes en hyperfréquences, transparent à la lumière, revêtu, du côté exposé aux hyperfréquences, d'une couche (21) d'éléments photoconducteurs répartis en réseau, et, du côté opposé, d'une électrode (22) conductrice transparente à la lumière, et d'autre part, de moyens d'éclairage sélectif (3, 4, 5) des éléments photoconducteurs aptes à faire passer ces derniers d'un état électriquement isolant à un état conducteur et réciproquement, caractérisé en ce que le réseau d'éléments photoconducteurs a un maillage qui suréchantillonne le maillage du réseau de réflecteurs élémentaires.
2. Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que le réseau d'éléments photoconducteurs a un maillage qui suréchantillonne le maillage du réseau de réflecteurs élémentaires avec un taux de suréchantillonnage égal à quatre, chaque réflecteur élémentaire renfermant un dallage de seize éléments photoconducteurs.
3. Antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que les éléments photoconducteurs appartenant à un réflecteur élémentaire sont éclairés de manière sélective de manière à former des configurations d'éléments conducteurs et électriquement isolants invariables dans des rotations de  $\pi/2$ .

### Patentansprüche

1. Mikrowellenantenne mit optoelektronischer Strahlungsrichtung, die einerseits eine Matrix (2)

von optisch gesteuerten Elementarreflektoren mit einem lichtdurchlässigen Substrat (20) aus einem dielektrischen Material mit geringen Mikrowellenverlusten, mit einer Schicht (21) von matrixartig verteilten fotoleitenden Elementen auf der den Mikrowellen ausgesetzten Seite des Substrats und mit einer lichtdurchlässigen leitenden Elektrode (22) auf der entgegengesetzten Seite, und andererseits Mittel (3, 4, 5) zur selektiven Belichtung der fotoleitenden Elemente aufweist, die diese Elemente von einem elektrisch isolierenden Zustand in einen elektrisch leitenden Zustand und umgekehrt bringen können, dadurch gekennzeichnet, daß die Matrix von fotoleitenden Elementen ein Raster aufweist, das das Raster der Matrix von Elementarreflektoren übertastet.

2. Antenne nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Matrix von fotoleitenden Elementen ein Raster hat, das das Raster des Netzes von Elementarreflektoren mit einem Übertastungsfaktor 4 übertastet, so daß jedem Elementarreflektor ein Quadrat von 16 fotoleitenden Elementen zugeordnet ist.
3. Antenne nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die fotoleitenden Elemente, die einem Elementarreflektor zugeordnet sind, derart selektiv belichtet werden, daß sich Konfigurationen von leitenden bzw. elektrisch isolierenden Elementen ergeben, die bezüglich einer Drehung um  $\pi/2$  invariabel sind.

### Claims

1. Optoelectronic scanning microwave antenna provided, on the one hand, with an array (2) of optically-controlled elementary reflectors comprising a substrate (20) made of a dielectric material having low loss at microwave frequencies and being transparent to light, the said substrate being coated, on the side exposed to the microwaves, with a layer (21) of photoconductive elements distributed in an array and, on the opposite side, with a conductive electrode (22) transparent to light and, on the other hand, with means (3, 4, 5) for selective illumination of the photoconductive elements, capable of making these elements pass from an electrically insulating state to a conductive state and vice versa, characterized in that the array of photoconductive elements forms a lattice which subdivides the lattice of the array of elementary reflectors.
2. Antenna according to Claim 1, characterized in that the array of photoconductive elements forms

a lattice which subdivides the lattice of the array of elementary reflectors by a subdivision factor equal to four, each elementary reflector containing a tiling arrangement of sixteen photoconductive elements.

5

3. Antenna according to Claim 1, characterized in that the photoconductive elements belonging to an elementary reflector are illuminated selectively so as to form configurations of conductive elements and electrically insulating elements which are invariant under rotations  $\pi/2$ .

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

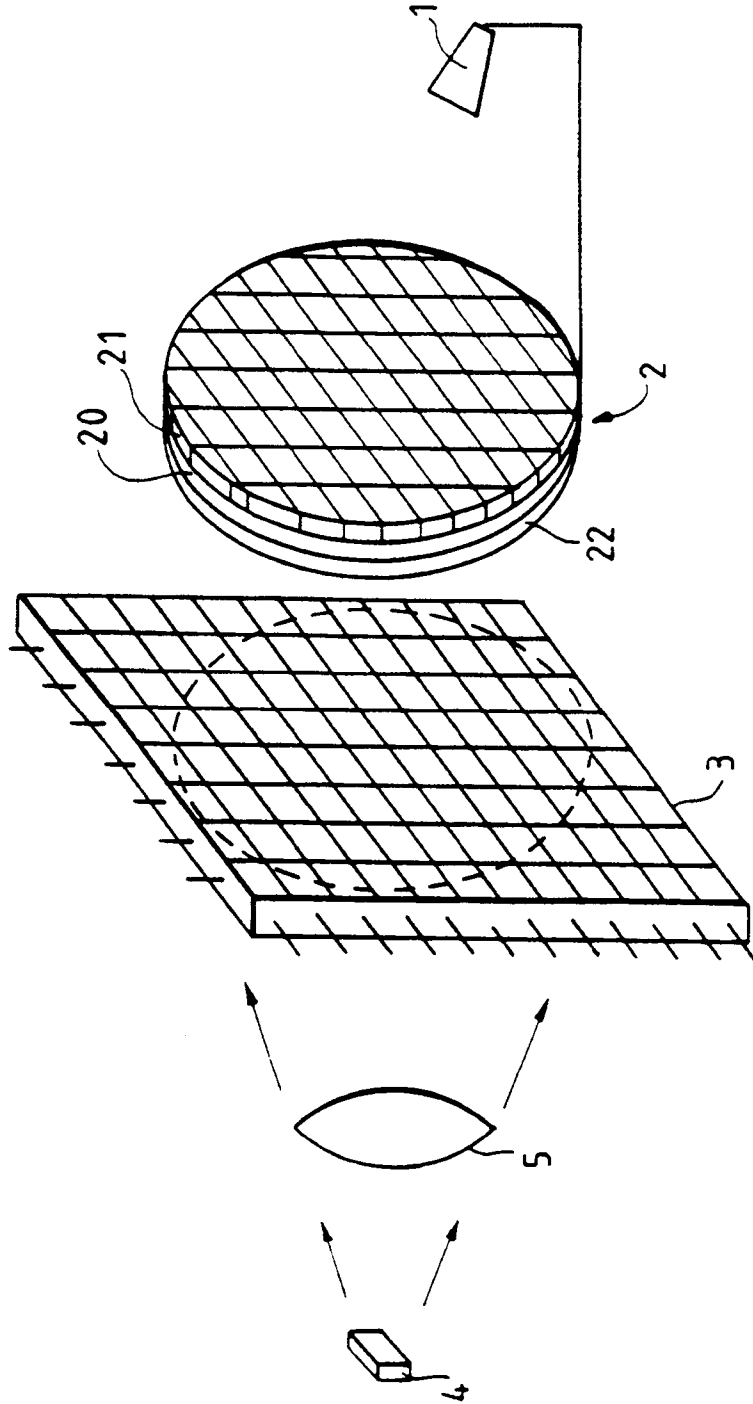


FIG.1

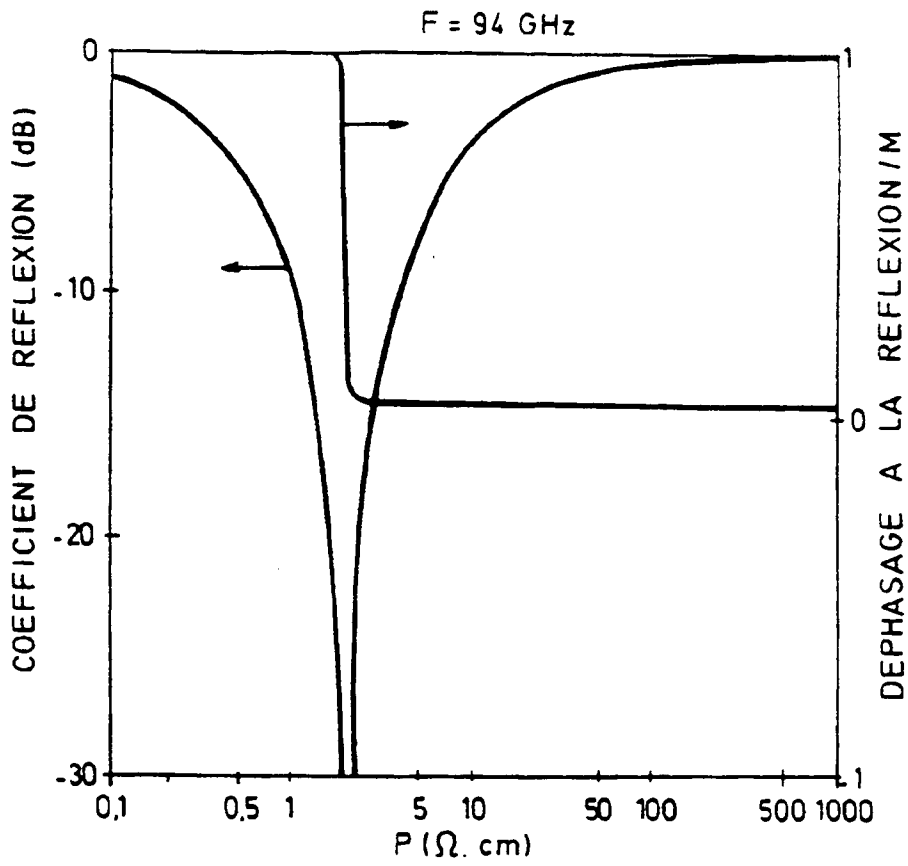


FIG. 2

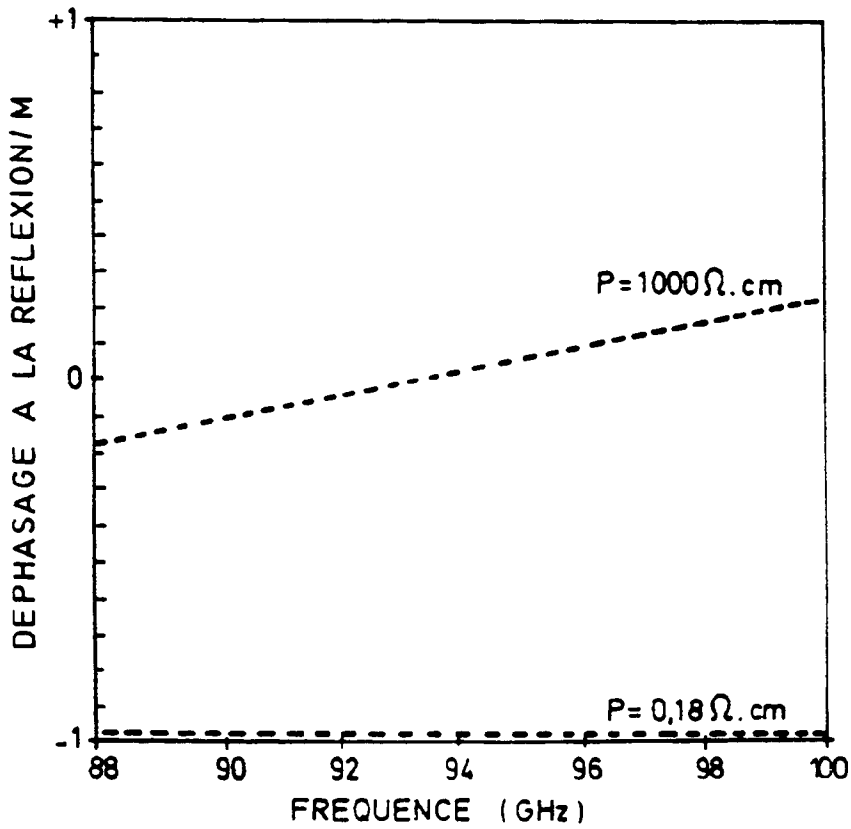


FIG. 3

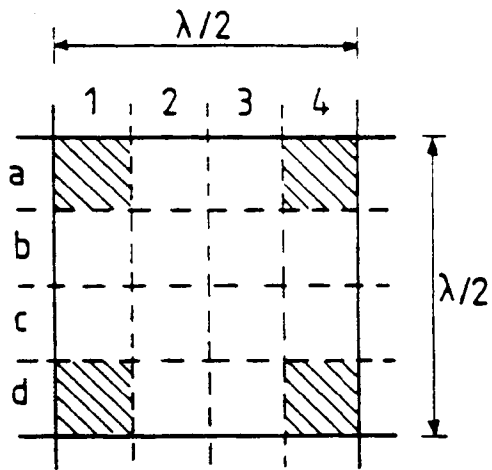


FIG.4