

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
—  
COURBEVOIE  
—

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

**3 104 835**

②1 N° d'enregistrement national : **19 14577**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **H 01 Q 13/20** (2019.12), **H 01 Q 1/38**

⑫

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤4 ANTENNE A ONDE DE FUITE EN TECHNOLOGIE AFSIW.

②2 Date de dépôt : 17.12.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 18.06.21 Bulletin 21/24.

④5 Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 29.09.23 Bulletin 23/39.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *THALES Société anonyme —FR,  
UNIVERSITE DE BORDEAUX Etablissement Public  
FR, INSTITUT POLYTECHNIQUE DE BORDEAUX  
Etablissement Public FR et CENTRE NATIONAL DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement  
Public — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : *GHIOTTO Anthony, RAIMOND Ryan  
et MAZEAU Thierry.*

⑦3 Titulaire(s) : *THALES Société anonyme,  
UNIVERSITE DE BORDEAUX Etablissement Public,  
INSTITUT POLYTECHNIQUE DE BORDEAUX  
Etablissement Public, CENTRE NATIONAL DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement Public.*

⑦4 Mandataire(s) : *ATOUT PI LAPLACE.*

**FR 3 104 835 - B1**



## Description

### **Titre de l'invention : Antenne à onde de fuite en technologie AFSIW.**

#### **DOMAINE DE L'INVENTION**

- [0001] L'invention se rapporte au domaine général des antennes hyperfréquences utilisées dans les radars et les télécommunications. Elle se rapporte plus particulièrement au domaine des antennes réseaux ou des antennes à ondes de fuite.
- [0002] **CONTEXTE DE L'INVENTION - ART ANTERIEUR**
- [0003] Les antennes à ondes de fuite (en anglais, leaky wave antenna) en technologie guide d'onde métallique sont largement décrites dans la littérature. La [Fig.1] présente une illustration sommaire du principe de réalisation d'une telle antenne 10 au moyen de guides d'ondes à fentes 11.
- [0004] De telles antennes sont cependant difficiles à fabriquer et coûteuses en raison de problématique d'assemblage et de précision de réalisation.
- [0005] Afin de réduire les coûts de fabrication et d'obtenir des antennes à ondes de fuite intégrées, il est par ailleurs connu de mettre en œuvre la technologie de guide d'onde intégré au substrat (en anglais, SIW, pour Substrate Integrated Waveguide). La [Fig.2] présente une illustration de la structure d'une telle antenne.
- [0006] Les antennes à fentes rayonnantes réalisées en mettant en œuvre une telle technologie présentent par rapport aux autres technologies employées, l'avantage d'être compactes, légères et faciles à réaliser. Elles peuvent avantageusement être montées sur des équipements pour lesquels les critères de poids et d'encombrement sont prépondérants.
- [0007] Cependant, les antennes à fentes, réalisée en mettant en œuvre cette technologie ont pour inconvénient connu de présenter des pertes diélectriques importantes. Par suite, pour compenser ces pertes on est contraint de surdimensionner les fonctions d'amplification associées à l'antenne, ce qui se traduit par un accroissement de la masse globale du système associé à l'antenne, de sorte que le gain en masse apporté par l'utilisation d'une antenne planaire est minoré par l'accroissement de masse induit par la nécessité de mettre en place des moyens pour compenser les pertes diélectriques.
- [0008] Par ailleurs, surdimensionner les fonctions d'amplification se traduit par un accroissement de la consommation d'énergie du système.
- [0009] Par conséquent, il existe à l'heure actuelle un besoin de trouver une solution permettant de réaliser des antennes à ondes de fuites, à structure planaire, présentant des pertes diélectriques améliorées (i.e. diminuées) par rapport aux antennes en technologies planaires existantes, en technologie SIW notamment.
- [0010] Récemment, la technologie guide d'onde intégré à substrat creux (en anglais, AFSIW, pour Air-Filled Substrate Integrated Waveguide) a émergé. Elle permet de réaliser des lignes de transmission guidées (i.e. des guides d'ondes) présentant des per-

performances accrues par rapport aux lignes de transmission intégrée à un substrat de type SIW. On peut parler dans ce cas de guides d'ondes AFSIW.

## **PRESENTATION DE L'INVENTION**

- [0011] Un but de l'invention est d'apporter une solution au problème consistant à trouver une solution permettant la conception et de la réalisation d'antennes sur substrat susceptibles de concilier performances de fonctionnement en termes de diagramme de rayonnement et limitation des pertes diélectriques.
- [0012] A cet effet l'invention a pour objet une antenne à ondes de fuite réalisée en technologie de guides d'ondes intégrés à un substrat creux (en anglais, AFSIW, pour Air-Filled Substrate Integrated Waveguide) comportant trois couches de substrat diélectrique, deux couches de substrat, une couche supérieure et une couche inférieure, prenant en sandwich une couche intermédiaire qui comporte elle-même une ouverture longitudinale de longueur  $L$  définissant un guide d'onde dont les parois supérieure et inférieure sont formées par les plans conducteurs recouvrant les couches supérieure et inférieure et dont la largeur  $W_f$  est délimitée par deux parois latérales conductrices.
- [0013] Selon l'invention, les faces internes des parois latérales conductrices sont revêtues d'une couche de matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$ . La couche supérieure de la structure présente une ouverture formant une fente rayonnante longitudinale de largeur  $W_f(z)$  positionnée en regard de l'ouverture longitudinale ménagée dans la couche intermédiaire de telle façon que l'axe médian de la fente rayonnante soit distant d'une distance  $d$  de l'axe médian de la cavité.
- [0014] L'épaisseur  $w(z)$  du revêtement en matériau diélectrique disposé sur la face interne de chacune des parois latérales varie selon l'axe longitudinal  $z$  selon une loi donnée, définie de façon à obtenir des variations le long de l'axe  $z$  de l'amplitude  $\text{Alpha}(z)$  et de la phase  $\text{Bêta}(z)$  de l'onde de fuite du guide, permettant de réaliser une antenne ayant le diagramme de rayonnement souhaité.
- [0015] Selon diverses dispositions, l'antenne selon l'invention peut présenter diverses caractéristiques techniques complémentaires, pouvant être considérées chacune séparément ou en combinaison.
- [0016] Selon une caractéristique particulière, la loi de variation  $w(z)$  de l'épaisseur de substrat diélectrique bordant la face interne de chacune des parois latérales de la cavité du guide AFSIW est une loi linéaire.
- [0017] Selon une autre caractéristique, les épaisseurs de substrat diélectrique bordant la face interne de chacune des parois latérales de la cavité du guide AFSIW suivent une même loi de variation  $w(z)$ .
- [0018] Selon une autre caractéristique, l'épaisseur de substrat diélectrique bordant la face interne d'une des parois latérales de la cavité du guide AFSIW suit une loi de variation

$w(z)$  linéaire, l'épaisseur de substrat diélectrique bordant la face interne de l'autre paroi latérales du guide AFSIW étant maintenue constante, voire nulle.

- [0019] Selon une autre caractéristique, l'axe médian de la fente rayonnante est distant de l'axe médian de la cavité du guide d'une distance donnée  $d$ .
- [0020] Selon une autre caractéristique, la distance  $d$  séparant l'axe médian de la fente rayonnante de l'axe médian de la cavité du guide varie selon une loi  $d(z)$  le long de l'axe longitudinal  $z$  de l'antenne.
- [0021] Selon une autre caractéristique, la fente rayonnante est une fente rectangulaire de largeur constante  $w_f$ .
- [0022] Selon une autre caractéristique, la fente rayonnante est une fente dont la largeur  $w_f(z)$  varie le long de l'axe longitudinal  $z$  du guide.
- [0023] Selon une autre caractéristique, la largeur totale  $W_f$  du guide le long de l'axe longitudinal  $z$  de l'antenne est définie comme une fonction  $W_f(z)$ .
- [0024] Selon une autre caractéristique, l'ouverture longitudinale de la couche intermédiaire formant la cavité du guide d'ondes, est délimitée par les plans conducteurs recouvrant les couches inférieure et supérieure et par deux parois conductrices constituées chacune d'une rangée de Vias en contact électrique avec lesdits plans conducteurs et formant les parois latérales conductrices dudit guide d'ondes, chacune desdites rangées de Vias étant disposée de façon à former une des parois latérales du guide, la face interne de la paroi ainsi formée étant revêtue d'une couche de matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$ .
- [0025] Selon une autre caractéristique, l'ouverture longitudinale de la couche intermédiaire formant la cavité du guide d'ondes, est délimitée par les plans conducteurs recouvrant les couches inférieure et supérieure et par deux parois conductrices formant les parois latérales dudit guide d'ondes; une des deux parois étant constituée d'une rangée de Vias en contact électrique avec lesdits plans conducteurs, ladite rangées de Vias étant disposée de façon à ce que la face interne de la paroi ainsi formée soit revêtue d'une couche de matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$ .
- [0026] Le dispositif selon l'invention qui reprend la technologie émergente des guides d'ondes AFSIW permet avantageusement de réaliser des antennes à onde de fuite présentant des dimensions, un poids et un coût, améliorés par rapport aux antennes existantes, les antennes à guides d'ondes à fentes traditionnelles notamment, en utilisant des techniques de fabrication simple et robuste, tout en gardant de bonnes performances.

## **DESCRIPTION DES FIGURES**

- [0027] Les caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux appréciés grâce à la description qui suit, description qui s'appuie sur les figures annexées qui illustrent

l'invention :

- [0028] [Fig.1] déjà commentée, représente de manière schématique la structure d'une antenne réseau à guides à fentes selon l'art antérieur;
- [0029] [Fig.2] déjà commentée, représente de manière schématique une structure planaire de type SIW connu;
- [0030] [Fig.3A] représente de manière schématique, en vue de profil, la structure standard en trois couche d'un guide d'onde réalisé en technologie AFSIW (i.e. Air-Filled Substrate Integrated Waveguide selon la terminologie anglo-saxonne);
- [0031] [Fig.3B] représente de manière schématique, en vue en coupe transversale, la structure standard en trois couches d'un guide d'onde réalisé en technologie AFSIW (i.e. Air-Filled Substrate Integrated Waveguide selon la terminologie anglo-saxonne) ;
- [0032] [Fig.4A] représente de manière schématique, en vue de profil, la structure type d'une antenne à onde de fuite en technologie AFSIW selon l'invention ;
- [0033] [Fig.4B] représente de manière schématique, en vue en coupe, la structure type d'une antenne à onde de fuite en technologie AFSIW selon l'invention ;
- [0034] [Fig.5] représente de manière schématique, en vue de dessus, la troisième couche de substrat formant la structure AFSIW de l'antenne selon l'invention, dans un mode de réalisation particulier ;
- [0035] [Fig.6] représente de manière schématique une vue de dessus de la seconde couche de substrat formant la structure AFSIW de l'antenne selon l'invention, dans le mode de réalisation particulier de la [Fig.5] ;
- [0036] [Fig.7] représente des exemples de diagrammes de rayonnement, projetés dans le plan yz ; diagrammes obtenus au moyen d'une antenne selon l'invention.

### **DESCRIPTION DETAILLEE**

- [0037] On utilise depuis peu la technologie de guides d'ondes intégrés à un substrat creux, ou technologie AFSIW (pour Air-Filled Substrate Integrated Waveguide) selon la terminologie anglo-saxonne, technologie développée récemment, pour réaliser des lignes de transmission guidée sur substrat. Dans la suite du texte une telle structure est qualifiée de "guide d'ondes AFSIW".
- [0038] Cette technologie permet avantageusement d'obtenir des lignes de transmission guidée présentant des performances accrues notamment en termes de pertes diélectrique par rapport aux structures en technologie SIW utilisées jusqu'à présent, structures illustrées par la [Fig.2].
- [0039] Par rapport à des structures de type guide d'onde métallique, illustrées par la [Fig.1], de telles lignes de transmission présentent également des caractéristiques avantageuses en termes de masse et d'encombrement.
- [0040] Du point de vue technologique l'antenne à onde de fuite selon l'invention s'appuie sur

la technologie de réalisation de guides d'ondes AFSIW.

- [0041] Comme l'illustrent les figures 3A et 3B, en vue de profil et, respectivement, en vue en coupe transversale respectivement, la structure d'un guide d'ondes AFSIW comporte trois couches de substrat diélectrique, une couche de substrat intermédiaire (couche n°2) présentant un évidement longitudinal central 32, de longueur  $L$  et de largeur  $W_2$ , prise en sandwich entre une couche de substrat inférieure 31 (couche n°1) et une couche de substrat supérieure 33 (couche n°3); les couches de substrat n°1 et n°3 fermant les parois supérieure et inférieure (grands côtés) du guide d'ondes.
- [0042] Dans une structure AFSIW classique, les couches n°1 et n°3 présentent une structure identique constituée d'un substrat diélectrique dont les surfaces interne et externe sont couvertes de plans métallisés (plans conducteurs), les plans 311 et 313 pour la couche n°1 et 331 et 333 pour la couche n°3 respectivement.
- [0043] L'évidement longitudinal central 323, constituant la cavité du guide, est bordé latéralement par deux rangées de traversées conductrices ou Vias, 322, qui traversent de part en part la couche de substrat diélectrique et permettent d'assurer une continuité électrique entre les plans conducteurs internes des couches supérieure et inférieure. Ces rangées de Vias forment les parois latérales (petits côtés) du guide d'ondes.
- [0044] Selon l'invention, chacune des dites rangées de Vias est disposée de façon à former une couche de matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$  bordant la face interne de la paroi latérale du guide définie par la rangée de Vias considérée; de sorte que le guide d'ondes AFSIW ainsi constitué présente des parois latérales (petits côtés) revêtues d'une couche de substrat diélectrique d'épaisseur  $w(z)$ .
- [0045] Le guide d'ondes AFSIW ainsi formé présente ainsi une largeur  $W_1 = W_2 + 2w$ .
- [0046] Selon l'invention, la largeur totale  $W_1$  est déterminée de façon à permettre la propagation d'ondes à la fréquence de fonctionnement désirée.
- [0047] Les Vias 322 sont par ailleurs généralement agencés de façon à ce que l'épaisseur  $w(z)$  de substrat bordant les parois latérales du guide, soit la plus faible possible afin de minimiser les pertes diélectriques dans le guide.
- [0048] La structure de guide d'onde AFSIW considérée préférentiellement dans le cadre de l'antenne selon l'invention est une structure conforme aux figures 3A et 3B. Une telle structure permet en effet, avantageusement, de modifier les propriétés de l'onde qui se propage à l'intérieur du guide ainsi formé.
- [0049] Cependant, il est à noter qu'il est possible, par la technique AFSIW, de construire des structures de guides d'ondes ne présentant pas de diélectrique sur ses parois latérales, notamment en réalisant une métallisation continue de ces parois.
- [0050] Dans ce cas, une structure équivalente à la structure des figures 3A et 3B peut néanmoins être envisagée, dans le cadre de l'invention, en disposant dans la cavité 323 du guide sur chacune des parois latérales (petits côtés) du guide une couche de

matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$  permettant comme dans le cas précédent de modifier les propriétés de l'onde qui se propage à l'intérieur du guide formé.

- [0051] Les figures 4A et 4B, étant une vue de profil et, respectivement une vue en coupe transversale respectivement, présentent de manière schématique la structure d'antenne selon l'invention, selon un mode de réalisation pour lequel les parois latérales (petit côtés) du guide AFSIW sont réalisées au moyen de Vias.
- [0052] De manière générale la structure de l'antenne selon l'invention comporte, à la différence d'une structure de guide d'onde AFSIW, une couche supérieure de substrat 51 (couche n°3) présentant au moins une fente longitudinale 52 (orientée selon l'axe z) placée en regard de la cavité 323 de la couche médiane 32 de substrat (couche n°2).
- [0053] Cette fente, de largeur  $W_f$ , qui traverse de part en part la couche supérieure de substrat fait communiquer la cavité 323 du guide avec le milieu extérieur.
- [0054] Comme l'illustrent les figures 4A et 4B, cette fente longitudinale 52 est disposée de telle façon que son axe médian 53 soit décalé d'une distance  $d$  par rapport à l'axe médian 41 de la cavité 323 du guide.  
La fente longitudinale 52 ainsi pratiquée permet de réaliser, à partir d'un guide AFSIW, un guide à fente apte à rayonner l'onde qui s'y propage.
- [0055] Selon l'invention, les divers paramètres de dimensionnement de la cavité 323 du guide, en particulier les largeurs  $W_1$  et  $w(z)$ , ainsi que ceux qui dimensionnent la fente rayonnante 52, en particulier la largeur  $W_f$ , sont définis de façon à réaliser une antenne dont le diagramme de rayonnement présente une direction, une ouverture et un niveau de lobes secondaires donnés souhaités. Autrement dit, ces paramètres dimensionnels sont déterminés de façon à obtenir des lois de variation données de la phase  $B\grave{e}ta(z)$  et de l'amplitude  $Alpha(z)$  de l'onde de fuite du guide AFSIW suivant l'axe longitudinal z de l'antenne selon l'invention; la variation de la phase et de l'amplitude selon l'axe z de l'onde de fuite du guide AFSIW déterminant le diagramme de rayonnement obtenu.
- [0056] Ainsi, l'invention consiste principalement à déterminer la direction, l'ouverture, et le niveau des lobes secondaires du diagramme de l'antenne AFSIW que l'on souhaite réaliser, en agissant sur ces paramètres  $Alpha(z)$  et  $B\grave{e}ta(z)$ .
- [0057] La suite de la description expose différents modes de réalisation de l'invention selon lesquels on agit sur un ou plusieurs paramètres dimensionnels qui définissent le guide d'onde AFSIW à fente rayonnante constituant l'antenne selon l'invention, de façon à obtenir le diagramme de rayonnement souhaité, en faisant varier le long de l'axe z la phase  $B\grave{e}ta(z)$  et l'amplitude  $Alpha(z)$  de l'onde traversant le guide d'onde.
- [0058] Les figures 5 et 6 illustrent un mode de réalisation particulier pris comme exemple non limitatif de la portée de l'invention. Elles présentent respectivement une vue de dessus de la couche 32 de substrat intermédiaire (couche n°2) formant la cavité 323 du guide et une vue de dessus de la couche 51 de substrat supérieure (couche n°3),

couches qui constitue la structure AFSIW de l'antenne selon l'invention.

- [0059] Pour obtenir une antenne AFSIW selon l'invention présentant un diagramme de rayonnement ayant les caractéristiques souhaitées (gain, directivité et niveau de lobes secondaires notamment), il est notamment possible d'ajuster les paramètres suivants : La longueur de l'antenne  $L$ , qui permet d'ajuster le gain de l'antenne et l'ouverture angulaire du son diagramme de rayonnement, un gain plus élevé et une ouverture angulaire plus faible pouvant être obtenus avec une antenne et une fente rayonnante plus longues.
- [0060] La largeur,  $W_1$ , de la ligne AFSIW qui détermine la largeur totale du guide d'ondes Le couple  $W_2$  et  $w$  détermine la fréquence de coupure du mode fondamentale du guide d'onde. On peut être amené à réduire  $W_2$ , lorsque l'on augmente  $w$  afin de garder la même fréquence de coupure du mode fondamentale.
- [0061] La largeur,  $W_f$ , de la fente 52 ménagée dans la couche supérieure de substrat 51 (couche n°2);
- [0062] La distance,  $d$ , de l'axe longitudinal 53 de la fente 52 par rapport à l'axe longitudinal 41 de la cavité 323.
- [0063] Cependant, dans le cas du dispositif selon l'invention, la phase et l'amplitude de l'onde se propageant dans la cavité 323 du guide d'onde par unité de longueur, sont contrôlées principalement en faisant varier la valeur  $w$  de l'épaisseur de substrat bordant les parois latérales de la cavité 323 du guide selon l'axe longitudinal  $z$ , la valeur  $w$  de l'épaisseur de substrat étant ainsi défini comme une fonction  $w(z)$ .
- [0064] Cette action de contrôle permet avantageusement de contrôler les valeurs des paramètres  $\text{Alpha}(z)$  et  $\text{Bêta}(z)$  qui déterminent les paramètres définissant le diagramme de rayonnement de l'antenne.
- [0065] En effet, faire varier l'épaisseur de substrat bordant les parois latérales de la cavité 323 permet avantageusement de faire varier la phase par unité de longueur de l'onde se propageant à l'intérieur de la cavité 323 du dispositif, la variation de phase de l'onde se propageant le long de la cavité 323 en regard de la fente rayonnante 52 déterminant l'orientation du diagramme de rayonnement.
- [0066] Selon le mode de réalisation considéré, la variation de la largeur  $w$  peut être opérée de différentes façons, en fonction du diagramme d'antenne souhaité.
- [0067] Ainsi selon un premier mode de réalisation, la largeur  $w$  de substrat diélectrique bordant les parois latérales de la cavité 323 formant le guide AFSIW varie de manière identique pour chacune des parois latérales.
- [0068] Alternativement, selon un autre mode de réalisation, l'épaisseur  $w$  de substrat diélectrique peut varier selon des lois différentes  $w_1(z)$  et  $w_2(z)$  le long de l'axe longitudinal de la cavité 323. L'épaisseur  $w$  de substrat diélectrique peut notamment rester constante ( $w_1(z)=cte$ ) sur une paroi latérale de la cavité 323 et varier selon une loi de

variation donnée  $w_2(z)$  l sur l'autre paroi latérale de la cavité.

- [0069] Les figures 5 et 6, présentent un premier exemple simple de réalisation pour lequel les paramètres définissant le diagramme de rayonnement sont exclusivement contrôlés en faisant simplement varier la valeur  $w$  de l'épaisseur de substrat le long de l'axe  $z$ .
- [0070] La structure de la couche intermédiaire 32 (couche n°2) est ici parfaitement symétrique par rapport au centre de symétrie de la cavité 323 du guide à fente AFSIW selon l'invention.
- [0071] La fente rayonnante 52 ménagée dans la couche de substrat supérieure 51 se présente comme une fente de forme rectangulaire de longueur  $L$  et de largeur  $W_f$  qui présente une valeur constante suivant l'axe longitudinal  $z$ .
- [0072] Dans l'exemple de réalisation considéré, la fente 52 traverse la couche n°3 de substrat de part en part, ses parois latérales ménagées dans l'épaisseur du substrat sont en outre métallisées en utilisant les procédés de métallisation du PCB.
- [0073] Cependant, selon un mode alternatif de réalisation, la fente est gravée sur les surfaces métallisées formant les faces externes de la couche de substrat n°3, les parois latérales de la fente étant alors constituées de Vias métallisés traversant l'épaisseur du substrat.
- [0074] La distance,  $d$ , de l'axe de symétrie 53 de la fente 52 par rapport à l'axe de symétrie 41 de la cavité 323 présente elle aussi une valeur constante suivant l'axe longitudinal  $z$ .
- [0075] Concernant la couche de substrat intermédiaire 32 (couche n°2), la largeur totale  $W_f$  de la cavité 323 du guide, la largeur entre les deux rangées de Vias bordant la cavité dans le mode de réalisation illustré par les figures 4A, 4A, 5 et 6, est maintenue constante, au moins sur toute la longueur de la cavité 323 de la couche de substrat intermédiaire 32 en regard de la fente rayonnante 52;
- [0076] Par ailleurs, comme le montre la [Fig.6], l'épaisseur  $w$  de substrat diélectrique bordant les parois latérales de la Cavité 323 varie de manière identique, pour chacune des parois latérales, selon une loi de variation  $w(z)$ .
- [0077] Cette loi de variation peut être une simple loi linéaire comme illustré par la [Fig.6]. Une telle loi de variation permet de former un diagramme de rayonnement dans la direction voulue, un diagramme de rayonnement tel que ceux, 71 et 72, présentés selon une représentation 2D (en deux dimensions) sur la [Fig.7].
- [0078] Dans l'exemple de réalisation illustré par les figures 5 et 6, l'antenne réalisée est symétrique selon la direction  $x$  (même valeur  $w$  d'épaisseur de matériau diélectrique bordant les faces latérales de la cavité 323 du guide) et la direction  $z$  (elle présente un plan de symétrie 42), avec deux ports d'accès permettant de rayonner ou de recevoir des ondes suivant deux diagrammes de rayonnement orientés selon deux directions formant des angles opposée  $+\theta$  et  $-\theta$  par rapport au plan vertical passant par l'axe de symétrie 53 de la fente rayonnante 52.
- [0079] Il est toutefois possible de concevoir une antenne avec un unique port et donc une

unique direction de propagation. Une topologie non symétrique avec un unique port d'alimentation peut en effet être implémentée, en terminant le guide par une charge.

[0080] Il est à noter que, selon l'invention, la loi de variation  $w(z)$  considérée peut être plus complexe qu'une simple loi linéaire, afin notamment de diminuer le niveau des lobes secondaires du diagramme de rayonnement réalisé.

[0081] Dans l'exemple de réalisation illustré par les figures 5 et 6, la fente rayonnante 52 présente une forme rectangulaire de longueur  $L$  avec une largeur  $W_f$  constante sur toute la longueur  $L$ . Il est cependant possible, dans le cadre de l'invention, d'envisager un autre mode de réalisation de l'invention, la fente rayonnante peut ne pas avoir une forme rectangulaire.

[0082] Une forme non rectangulaire permet en particulier d'obtenir un diagramme de rayonnement ayant des caractéristiques particulières données. Ainsi, en utilisant par exemple une fente en forme « d'œil » on peut limiter l'énergie rayonnée (i.e. le gain de l'antenne) aux extrémités de la fente et maximiser l'énergie rayonnée au centre de la fente. La largeur de la fente 52 est alors définie comme une fonction de la position considéré  $W_f(z)$  le long de la fente 52. On peut de cette façon réaliser une bonne pondération spatiale de la loi d'éclairement (i.e. du diagramme de rayonnement) et obtenir un diagramme de rayonnement présentant des lobes secondaires réduits.

[0083] Par ailleurs, dans l'exemple de réalisation illustré par les figures 5 et 6, la distance  $d$  entre l'axe centrale 53 de la fente 52 par rapport à l'axe central 41 de la cavité 323 de la ligne AFSIW, reste constante sur toute la longueur  $L$  de l'antenne, la phase et l'amplitude de l'onde se propageant dans la cavité 323 du guide d'onde par unité de longueur, étant contrôlées en faisant varier la valeur  $w$  de l'épaisseur de substrat bordant les parois latérales de la cavité 323 du guide selon l'axe longitudinal  $z$ , selon une fonction  $w(z)$ .

[0084] Il est cependant possible, dans le cadre de l'invention, d'envisager un autre mode de réalisation dans lequel un ajustement du diagramme de rayonnement de l'antenne selon l'invention peut être obtenu en faisant également varier la distance  $d$  entre l'axe médian 53 de la fente 52 par rapport à l'axe médian 41 de la cavité 323 de la ligne AFSIW, la distance  $d$  étant définie dans ce cas comme une fonction  $d(z)$  de la position considérée le long de la fente 52.

[0085] Comme l'exposent les paragraphes précédents, la structure du dispositif selon l'invention, permet avantageusement de former une antenne à onde de fuite en technologie AFSIW facile et peu coûteuse à réaliser, dont le diagramme de rayonnement peut être défini en jouant principalement sur l'épaisseur de substrat diélectrique tapissant les parois latérales de la ligne en guide d'onde formée par la structure AFSIW à partir de laquelle est développée l'antenne selon l'invention, et en faisant en particulier varier cette épaisseur sur la longueur de la ligne de transmission

(variation selon l'axe longitudinal  $z$ ). La variation du gain et de la phase par unité de longueur de l'onde de fuite du guide AFSIW rayonnant, obtenue en faisant varier l'épaisseur de substrat permet avantageusement de déterminer les caractéristiques du diagramme de rayonnement obtenu.

- [0086] La [Fig.7] présente les diagrammes de rayonnement 71 et 72 obtenus pour deux antennes AFSIW selon l'invention, formées à partir de guides AFSIW dont les parois latérales des cavités 323 sont revêtues de couches de substrat dont les épaisseurs varient selon  $z$  avec des profils de variation différents. Le diagramme de rayonnement 72 est obtenu à partir d'une cavité présentant sur ses parois latérales une épaisseur de substrat  $w(z)$  variant selon l'axe longitudinal  $z$  avec une pente de variation plus importante que dans le cas du diagramme de rayonnement 71.
- [0087] On constate que, dans ce dernier cas, la pente de variation de l'épaisseur  $w(z)$  étant plus importante, le diagramme obtenu 72 se rapproche du plan vertical de l'antenne, alors que, réciproquement, rétrécir l'intérieur du guide d'ondes va rendre le faisceau de plus en plus parallèle à l'axe longitudinal de l'antenne.
- [0088] Dans la partie de la description qui précède, le dispositif, l'antenne, selon l'invention est définie par sa structure de base AFSIW et par les caractéristiques dimensionnelles qui permettent de définir les différentes couches formant la structure AFSIW de l'antenne. Les caractéristiques techniques décrites sont les caractéristiques dimensionnelles préférentiellement considérées pour réaliser une antenne selon l'invention présentant le diagramme de rayonnement voulu.
- [0089] Il est cependant possible d'intégrer à ces divers paramètres d'autres paramètres dimensionnels et /ou structurels afin en particulier de disposer d'une plus grande latitude dans le choix des valeurs des paramètres dimensionnels permettant d'obtenir une structure d'antenne présentant le diagramme de rayonnement recherché.
- [0090] Il est ainsi notamment possible, dans le cadre de la réalisation de l'antenne selon l'invention, de jouer également sur la largeur totale  $W_1$  du guide le long de l'axe longitudinal  $z$  du guide (direction de propagation de l'onde) de telle façon que la largeur totale du guide soit définies comme une fonction  $W_1(z)$ . On dispose ainsi d'un moyen de contrôle supplémentaire de la variation de la phase  $B\grave{e}ta(z)$  et de l'amplitude  $Alpha(z)$  de l'onde de fuite selon l'axe longitudinal  $z$  de l'antenne.
- [0091] Il est également possible de faire varier la largeur de la fente et/ou la position de son axe de symétrie par rapport à celui de la cavité du guide AFSIW afin de disposer d'un moyen de contrôle supplémentaire de la variation de la phase  $Alpha(z)$  et de l'amplitude  $B\grave{e}ta(z)$  selon l'axe longitudinal  $z$  de l'antenne.
- [0092] Il est encore également possible de remplacer la fente rayonnante continue 52 par plusieurs petites fentes, constituant un réseau de fentes disposées le long l'axe  $z$  de l'antenne en regard de la cavité 323 du guide.

[0093] D'un point de vue fonctionnel, l'antenne AFSIW selon l'invention se présente comme un dispositif à deux ports d'accès, comme l'illustrent les figures 4A et 4B, de sorte que, selon la façon dont elle est utilisée, peut avantageusement présenter deux diagrammes de rayonnement orientés selon deux directions présentant des angles opposés par rapport à la verticale (utilisation des port 1 et 2) ou bien, alternativement, un seul diagramme de rayonnement, l'un des ports, inexploité, étant terminé par une charge.

## Revendications

- [Revendication 1] Antenne à onde de fuite formée à partir d'une structure de guide d'onde de type AFSIW (40) comportant trois couches de substrat diélectrique, deux couches de substrat, une couche supérieure (51) et une couche inférieure (31), prenant en sandwich une couche intermédiaire (32) comportant une ouverture longitudinale (323) de longueur  $L$  définissant un guide d'onde dont les parois supérieure et inférieure sont formées par les plans conducteurs recouvrant les couches supérieure (51) et inférieure (31) et dont la largeur  $W_l$  est délimitée par deux parois latérales conductrices, les faces internes des parois latérales conductrices étant revêtues d'une couche de matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$ ; ladite antenne étant caractérisée en ce que la couche supérieure (51) de la structure présente une ouverture (52) formant une fente rayonnante longitudinale de largeur  $W_f(z)$  positionnée en regard de l'ouverture longitudinale (323) ménagée dans la couche intermédiaire de telle façon que l'axe médian de la fente rayonnante (52) soit distant d'une distance  $d$  de l'axe médian de la cavité (323), l'épaisseur  $w(z)$  du revêtement en matériau diélectrique disposé sur la face interne de chacune des parois latérales variant selon l'axe longitudinal  $z$  selon une loi donnée, définie de façon à obtenir des variations le long de l'axe  $z$  de l'amplitude  $\text{Alpha}(z)$  et de la phase  $\text{Bêta}(z)$  de l'onde de fuite du guide, permettant de réaliser une antenne ayant le diagramme de rayonnement (71, 72) souhaité.
- [Revendication 2] Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que la loi de variation  $w(z)$  de l'épaisseur de substrat diélectrique bordant la face interne de chacune des parois latérales de la cavité (323) du guide AFSIW est une loi linéaire.
- [Revendication 3] Antenne selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que les épaisseurs de substrat diélectrique bordant la face interne de chacune des parois latérales de la cavité (323) du guide AFSIW suivent une même loi de variation  $w(z)$ .
- [Revendication 4] Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'épaisseur de substrat diélectrique bordant la face interne d'une des parois latérales de la cavité (323) du guide AFSIW suit une loi de variation  $w(z)$  linéaire, l'épaisseur de substrat diélectrique bordant la face interne de l'autre paroi latérales du guide AFSIW étant maintenue constante, voire nulle.
- [Revendication 5] Antenne selon l'une quelconque des revendications précédente, ca-

- ractérisée en ce que l'axe médian (53) de la fente rayonnante est distant de l'axe médian (41) de la cavité du guide d'une distance donnée  $d$ .
- [Revendication 6] Antenne selon la revendication 5, caractérisée en ce que la distance  $d$  séparant l'axe médian de la fente rayonnante de l'axe médian de la cavité du guide varie selon une loi  $d(z)$  le long de l'axe longitudinal  $z$  de l'antenne.
- [Revendication 7] Antenne selon l'une quelconque des revendications précédente, caractérisée en ce que la fente rayonnante est une fente rectangulaire de largeur constante  $w_f$ .
- [Revendication 8] Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que la fente rayonnante (52) est une fente dont la largeur  $w_f(z)$  varie le long de l'axe longitudinal  $z$  du guide.
- [Revendication 9] Antenne selon l'une quelconque des revendications précédente, caractérisée en ce que la largeur totale  $W_l$  du guide le long de l'axe longitudinal  $z$  de l'antenne est définies comme une fonction  $W_l(z)$ .
- [Revendication 10] Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la couche intermédiaire (32) comporte une ouverture longitudinale (323) de longueur  $L$  et de largeur  $W_2$ , formant la cavité du guide d'ondes, délimitée par les plans conducteurs recouvrant les couches inférieure (31) et supérieure (51) et par deux rangées de Vias (322) en contact électrique avec lesdits plans conducteurs et formant les parois latérales dudit guide d'ondes, chacune desdites rangées de Vias (322) étant disposée de façon à former une des parois latérales du guide, la face interne de la paroi ainsi formée étant revêtue d'une couche de matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$ .
- [Revendication 11] Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que la couche intermédiaire (32) comporte une ouverture longitudinale (323) de longueur  $L$  et de largeur  $W_2$ , formant la cavité du guide d'ondes, délimitée par les plans conducteurs recouvrant les couches inférieure (31) et supérieure (51); une des parois latérales dudit guide étant formé par une rangée de Vias (322) en contact électrique avec lesdits plans conducteurs, l'autre paroi latérale étant revêtue d'une couche de matériau conducteur, ladite rangée de Vias (322) étant disposée de façon à former une des parois latérales du guide, la face interne de la paroi ainsi formée étant revêtue d'une couche de matériau diélectrique d'épaisseur  $w(z)$ .

[Fig. 1]

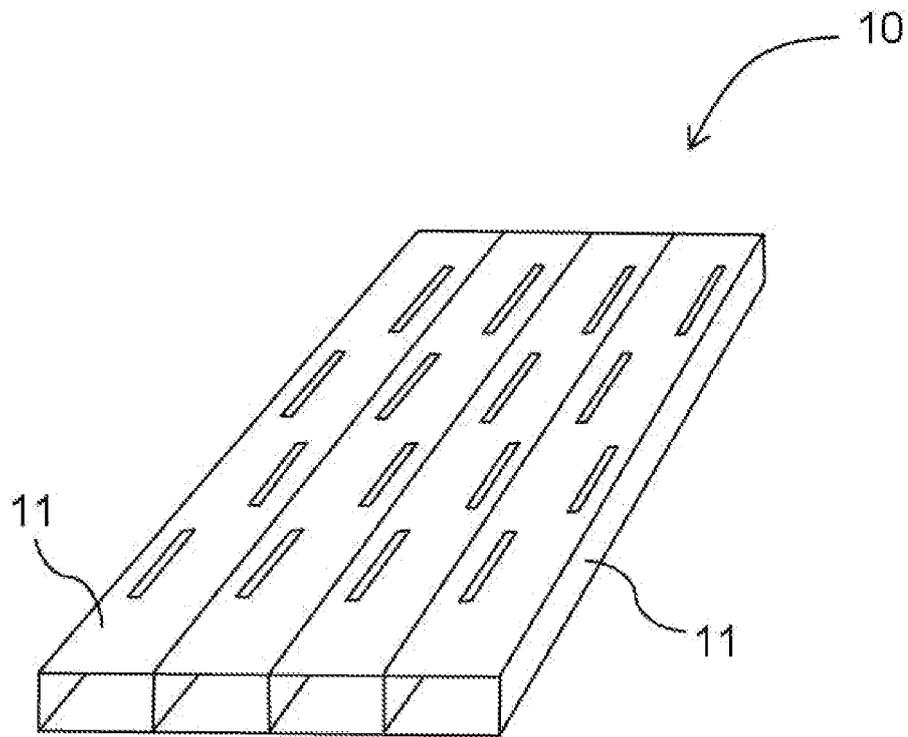


FIG.1

[Fig. 2]

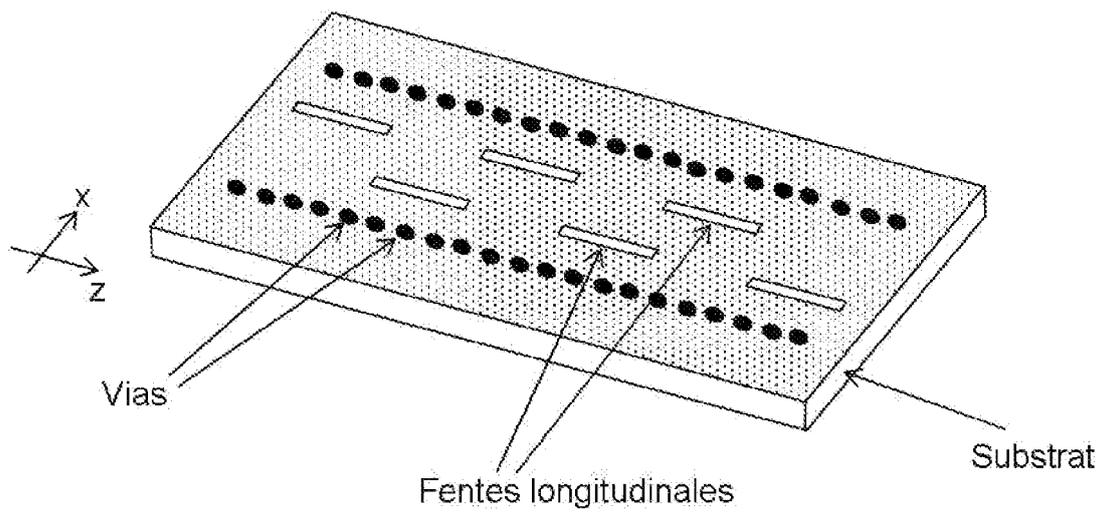


FIG.2

[Fig. 3]

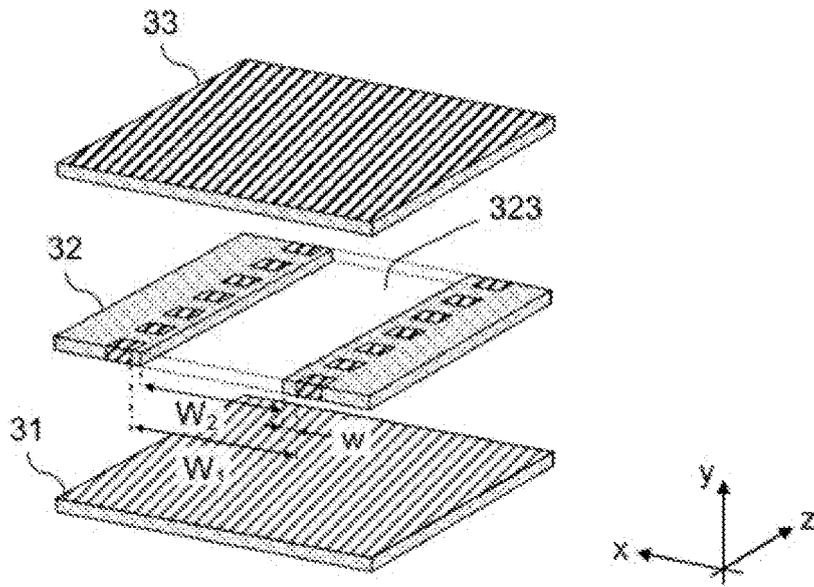


FIG. 3A

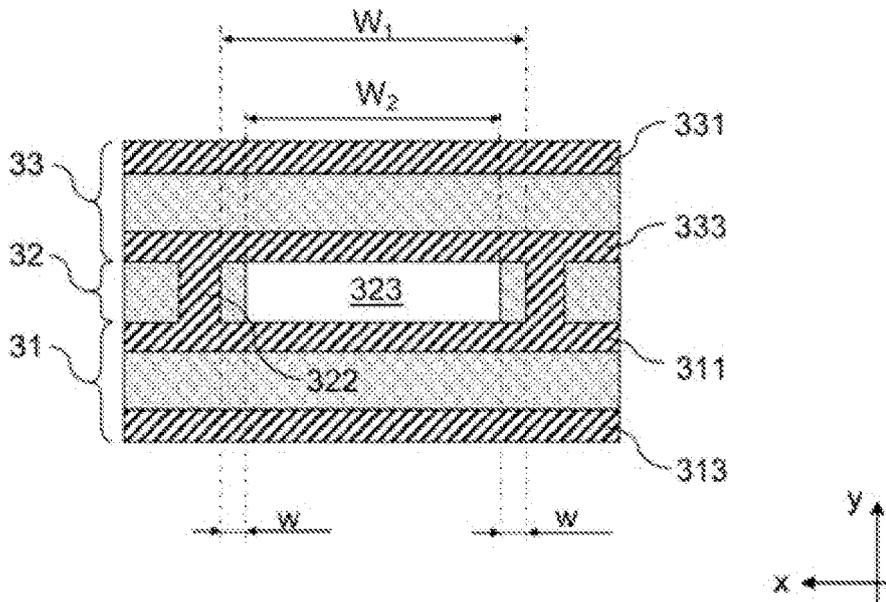


FIG. 3B

[Fig. 4]

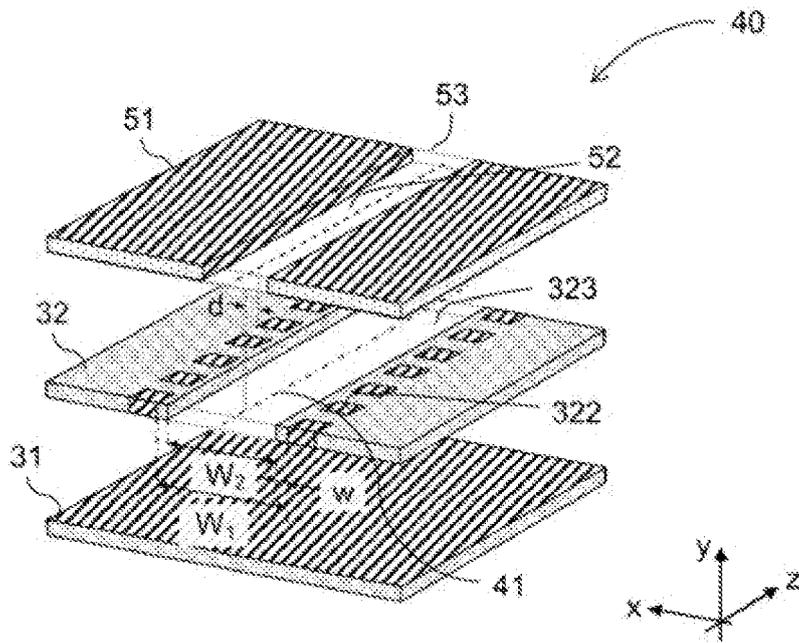


FIG. 4A

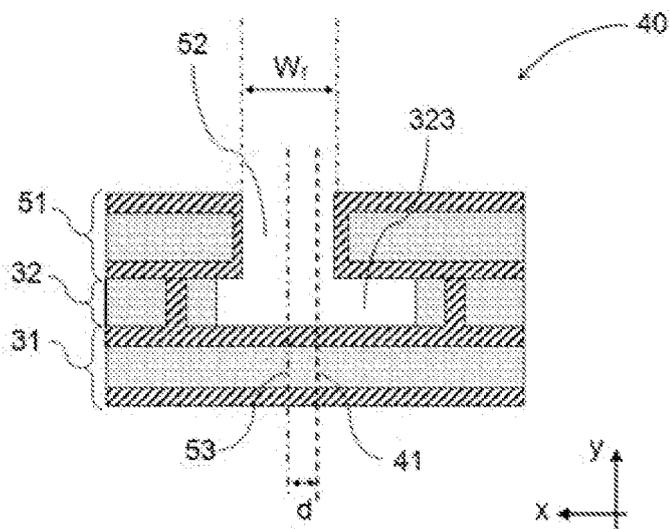


FIG. 4B

[Fig. 5]

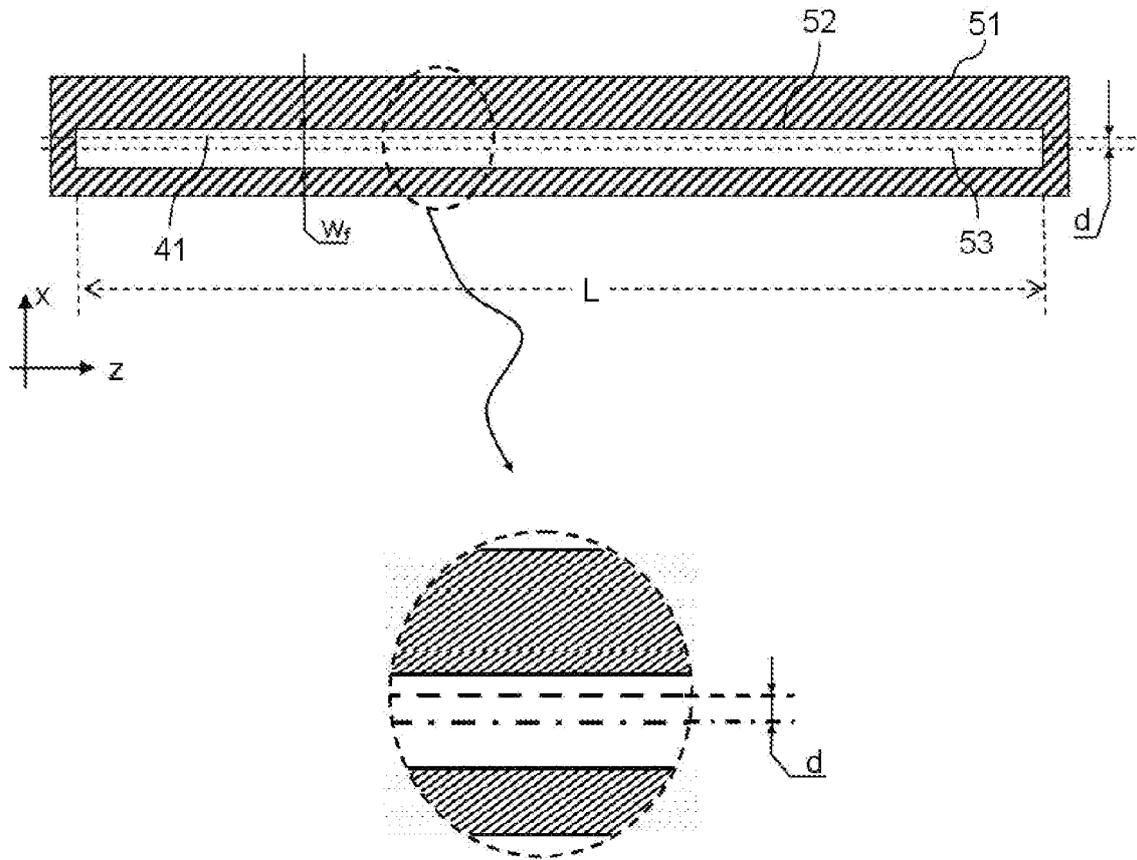


FIG.5

[Fig. 6]

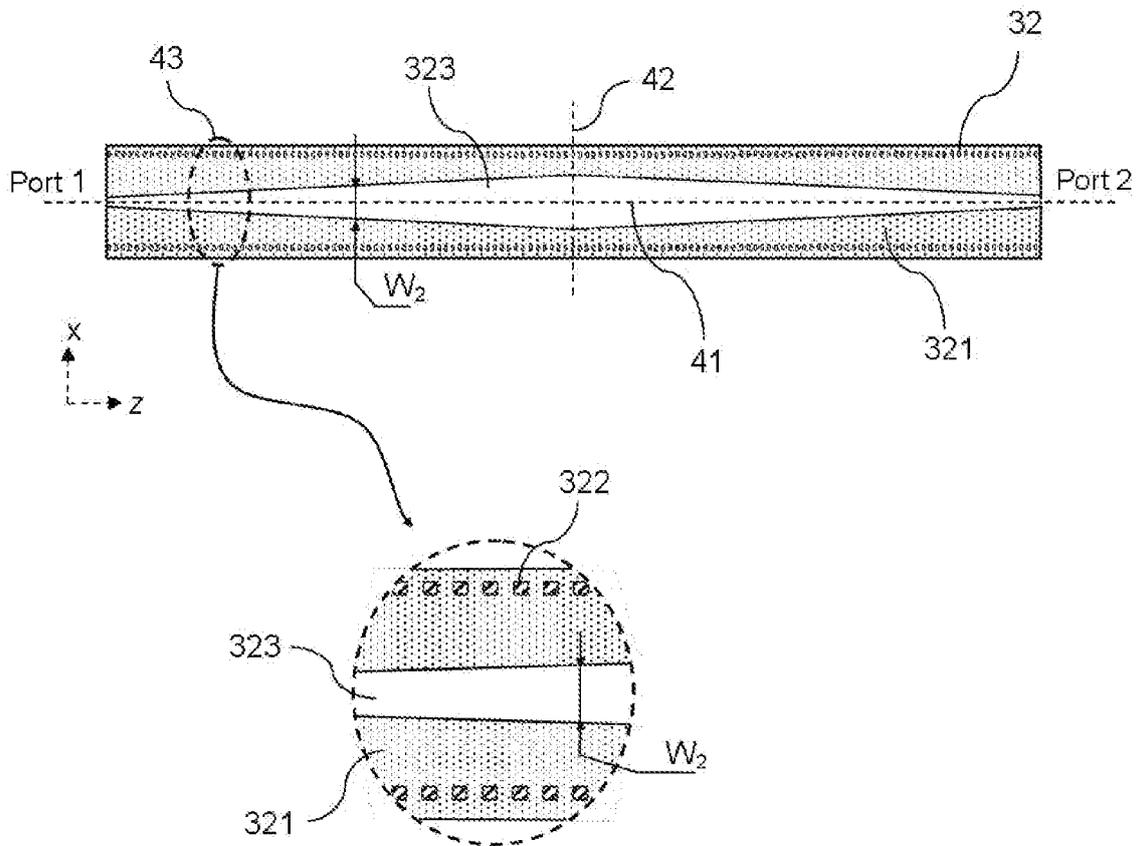


FIG.6

[Fig. 7]

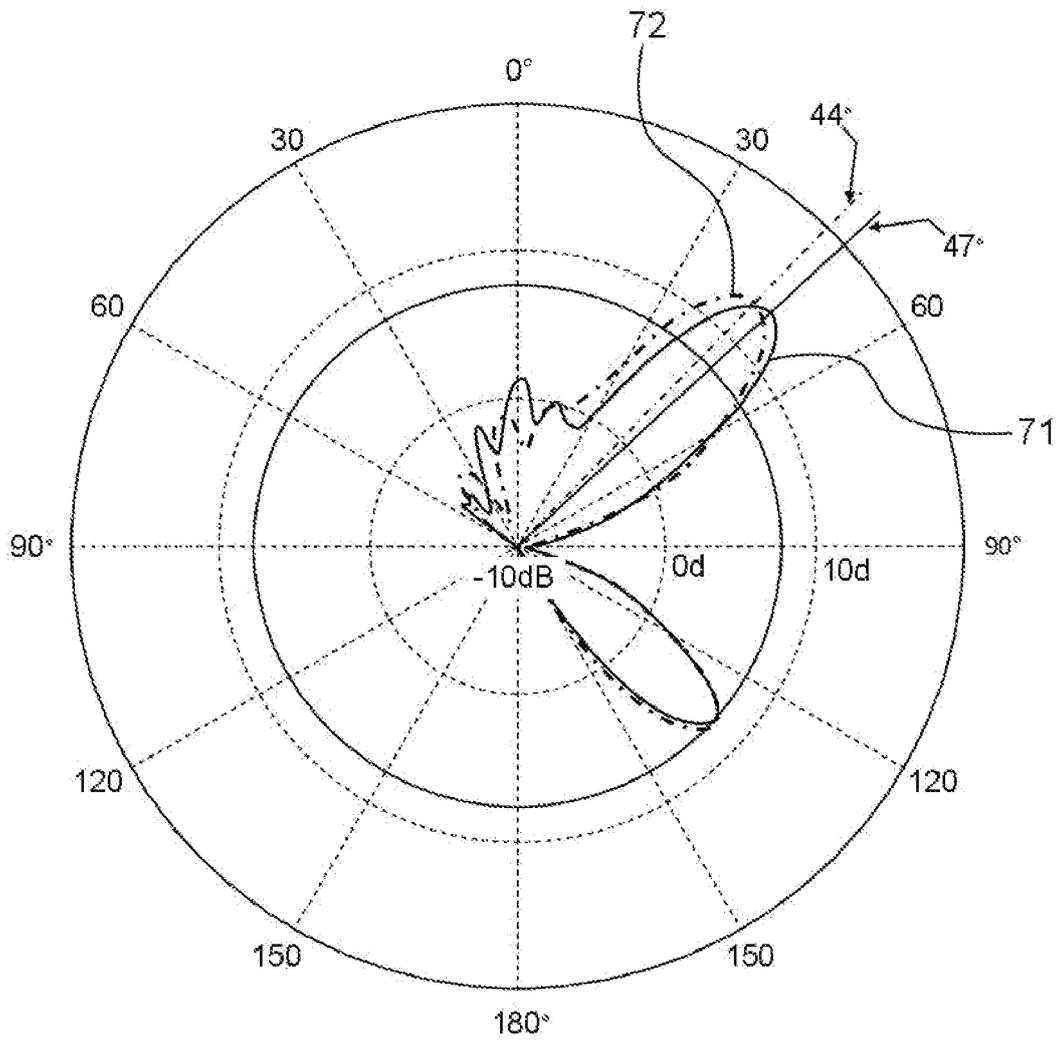


FIG.7

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

VAN DEN BRANDE QUINTEN ET AL: "Coupled Half-Mode Cavity-Backed Slot Antenna for IR-UWB in Air-Filled SIW Technology", 2018 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION & USNC/URSI NATIONAL RADIO SCIENCE MEETING, IEEE, 8 juillet 2018 (2018-07-08), pages 1269-1270, XP033496930, DOI: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8609106 [extrait le 2019-01-10]

CHANG LE ET AL: "Air-Filled Long Slot Leaky-Wave Antenna Based on Folded Half-Mode Waveguide Using Silicon Bulk Micromachining Technology for Millimeter-Wave Band", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 65, no. 7, 2 mai 2017 (2017-05-02), pages 3409-3418, XP011655706, ISSN: 0018-926X, DOI: 10.1109/TAP.2017.2700040 [extrait le 2017-07-03]

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

ORAIZI H ET AL: "X-Band Slot Antenna Array In Air-Filled Substrate Integrated Waveguide", 2019 49TH EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE (EUMC), EUROPEAN MICROWAVE ASSOCIATION (EUMA), 25 novembre 2019 (2019-11-25), pages 153-156, XP033641861, DOI: 10.23919/EUMC.2019.8910786 [extrait le 2019-11-22]

YU JIAN CHENG ET AL: "Millimeter-Wave Substrate Integrated Waveguide Long Slot Leaky-Wave Antennas and Two-Dimensional Multibeam Applications", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION., vol. 59, no. 1, 1 janvier 2011 (2011-01-01), pages 40-47, XP055728603, US ISSN: 0018-926X, DOI: 10.1109/TAP.2010.2090471

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT