



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.06.2021 Bulletin 2021/25

(51) Int Cl.:
H01Q 1/22 (2006.01) **H01Q 1/48** (2006.01)
H01Q 3/34 (2006.01) **H01Q 3/46** (2006.01)
H01Q 21/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **20213640.4**

(22) Date de dépôt: **13.12.2020**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **GONZALEZ JIMENEZ, José-Luis**
38000 Grenoble cedex 09 (FR)
• **CLEMENTE, Antonio**
38054 Grenoble cedex 09 (FR)

(30) Priorité: **18.12.2019 FR 1914720**

(74) Mandataire: **INNOV-GROUP**
310, avenue Berthelot
69372 Lyon Cedex 08 (FR)

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives**
75015 Paris (FR)

(54) **ANTENNE RECONFIGURABLE À RÉSEAU TRANSMETTEUR AVEC INTÉGRATION MONOLITHIQUE DES CELLULES ÉLÉMENTAIRES**

(57) Structure (1) comportant :
- une première plaquette (W1), comprenant des premiers composants actifs (C1) configurés pour introduire un déphasage ;
- une première couche métallique, formée sur une première surface (W10) de la première plaquette (W1) ;
- une première structure d'interconnexions (3), formée sur une seconde surface (W11) de la première plaquette (W1), comprenant des premières lignes de polarisation (30) ;
- un ensemble de premières antennes planaires (A1), formé sur la première structure d'interconnexions (3) ;

- une deuxième plaquette (W2) ;
- une deuxième couche métallique, formée sur une première surface (W20) de la deuxième plaquette (W2) ;
- un ensemble de deuxième antennes planaires (A2), formé sur une seconde surface (W21) de la deuxième plaquette (W2) ;
les première et deuxième plaquettes (W1, W2) étant assemblées par l'intermédiaire des première et deuxième couches métalliques de sorte que les premières et deuxième antennes planaires (A1, A2) sont alignées, les première et deuxième couches métalliques formant un plan de masse (PM).

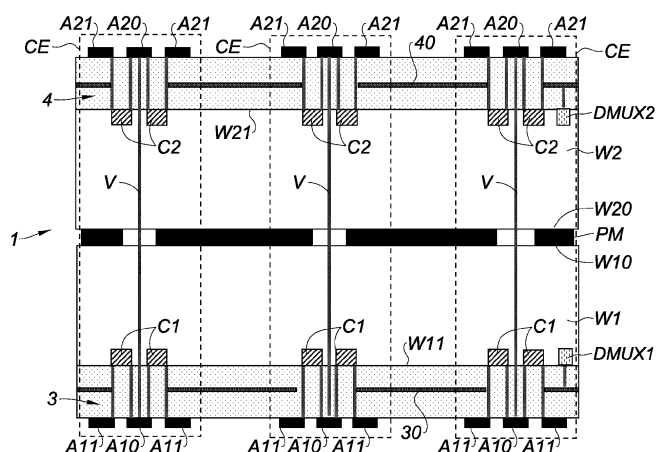


Fig. 5

Description

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine technique des antennes à réseau transmetteur (« *Transmitarray antenna* » en langue anglaise). Une antenne à réseau transmetteur comporte :

- un réseau transmetteur (appelé également lentille électromagnétique ou lentille discrète), comprenant un ensemble de cellules élémentaires pouvant être disposé sous forme matricielle (la matrice peut être régulière ou éparse ; la matrice régulière peut, par exemple, comporter un maillage carré ou triangulaire ;
- au moins une source rayonnante (dite source primaire), agencée pour illuminer le réseau transmetteur.

[0002] Chaque cellule élémentaire du réseau transmetteur est susceptible d'introduire un déphasage à l'onde incidente émise par la ou les sources primaires, afin de compenser chaque différence de trajet du rayonnement émis entre la ou les sources primaires et le réseau transmetteur. Les cellules élémentaires permettent de générer la loi de phase dans l'ouverture de rayonnement afin de former le rayonnement désiré pour l'antenne.

[0003] Plus précisément, chaque cellule élémentaire du réseau transmetteur peut comporter au moins :

- une première antenne planaire (dite de réception), agencée pour recevoir l'onde incidente émise par la ou les sources primaires ;
- une deuxième antenne planaire (dite de transmission), agencée pour transmettre avec un déphasage l'onde incidente reçue par la première antenne planaire.

[0004] Par « antenne planaire », on entend une surface plane électriquement conductrice (classiquement métallique) pouvant émettre/recevoir un rayonnement électromagnétique. Un exemple d'antenne planaire est la pastille micro-ruban (« *patch* » en langue anglaise).

[0005] D'autres architectures de cellules élémentaires peuvent également être utilisées, telles que des structures multicouches basées sur le concept des surfaces sélectives en fréquence, ou sur le concept des cavités Fabry-Pérot. Les éléments rayonnants de type dipôles, fentes etc. peuvent être aussi utilisés au niveau de la cellule élémentaire.

[0006] Il est à noter qu'une cellule élémentaire d'un réseau transmetteur peut fonctionner en réception ou en transmission, c'est-à-dire que la première antenne planaire de la cellule élémentaire peut également être une antenne de transmission, tandis que la deuxième antenne planaire de la cellule élémentaire peut également être une antenne de réception.

[0007] L'invention trouve notamment son application dans l'obtention d'une antenne reconfigurable. Par « reconfigurable », on entend qu'au moins une caractéristique de l'antenne peut être modifiée au cours de sa durée de vie, après sa fabrication. La ou les caractéristiques généralement modifiables sont la réponse fréquentielle (en amplitude et en phase), le diagramme de rayonnement (appelé également faisceau), et la polarisation. La reconfiguration de la réponse fréquentielle couvre différentes fonctionnalités telles que la commutation de fréquences, l'accord en fréquence, la variation de bande passante, le déphasage, le filtrage fréquentiel etc. La reconfiguration du diagramme de rayonnement couvre différentes fonctionnalités telles que le balayage angulaire de la direction de pointage du faisceau (appelé également dépointage), l'ouverture du faisceau typiquement défini à mi-puissance (c'est-à-dire la concentration du rayonnement suivant une direction particulière), le filtrage spatial (lié à l'ouverture et à la formation du faisceau), la formation d'un faisceau ou de multifaisceaux (e.g. plusieurs faisceaux étroits remplaçant un faisceau large) etc. Une antenne reconfigurable à réseau transmetteur est particulièrement avantageuse à partir de la bande C (4-8 GHz) jusqu'à la bande W (75-110 GHz), voire la bande D (110-170 GHz) ou jusqu'à la bande 300 GHz, pour les applications suivantes :

- radars automobiles d'assistance et d'aide à la conduite, dans une perspective de sécurité active,
- systèmes d'imagerie et de surveillance à très haute résolution,
- systèmes de communication à très haut débit, fonctionnant notamment dans les bandes millimétriques (communications inter-bâtiments ou intra-bâtiment en environnement domotique ou immotique, et particulièrement adaptées au suivi d'utilisateurs),
- liaisons de télémesure sol-satellite en orbite basse LEO (pour « *Low Earth Orbit* » en langue anglaise) en bande Ka, télécommunications par satellite avec source primaire reconfigurable (SOTM™ pour « *Satcom-on-the-Move* » en langue anglaise, internet, télévision etc.),
- systèmes de liaison point-à-point et point-à-multi-point (réseaux métropolitains, systèmes « *Frouthaul* » et « *Backhaul* » pour les réseaux cellulaires, accès radio pour les réseaux mobiles de cinquième génération etc.).

État de l'art

[0008] Les bandes de fréquence millimétriques sont très intéressantes pour les systèmes de communication radio, grâce à de larges bandes spectrales disponibles autorisant des débits de transmission élevés. Par exemple, la bande autour de 60 GHz (57-66 GHz) est une bande libre, pouvant être exploitée sans licence dans le monde entier, et qui suscite donc un fort intérêt. Les communications sans fil autour de 60 GHz sont néanmoins

limitées :

- d'une part, par la résonance des molécules de dioxygène présentes dans l'air, qui absorbent une grande partie de l'énergie émise par le système de communication radio,
- d'autre part, par les pertes liées à la propagation des ondes électromagnétiques dans l'espace libre (notées FSPL pour « *Free-Space Path Loss* » en langue anglaise) qui suivent une loi quadratique par rapport à la fréquence opérationnelle :

$$FSPL = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

où « d » est la distance entre deux antennes, « f » est la fréquence opérationnelle, et « c » est la célérité des ondes électromagnétiques (i.e. la vitesse de propagation dans le vide).

[0009] Il en résulte que le système de communication radio nécessite un fort gain. Cette problématique est commune aux fréquences millimétriques et sub-THz à partir de 30 GHz.

[0010] Il est connu de l'état de la technique, notamment de la thèse de doctorat de J. A. Zevallos Luna, « *Intégration d'antennes pour objets communicants aux fréquences millimétriques* », octobre 2014 (ci-après D1), d'associer un module émetteur-récepteur (« *Transceiver* » en langue anglaise) à un réseau transmetteur passif (cf. figure 6.1 de D1, et §5.4). Le réseau transmetteur est imprimé sur un substrat diélectrique (cf. figure 6.2 a) de D1). Le circuit intégré de l'émetteur-récepteur est formé sur une carte de circuit imprimé. Le réseau transmetteur est formé sur la carte de circuit imprimé, en regard de l'émetteur-récepteur, par l'intermédiaire de piliers diélectriques soutenant le substrat diélectrique.

[0011] Une telle solution de l'état de la technique n'est pas entièrement satisfaisante dans la mesure où les piliers diélectriques nuisent à la compacité du système de communication radio. En outre, l'antenne obtenue n'est pas reconfigurable en raison du réseau transmetteur passif.

Exposé de l'invention

[0012] L'invention vise à remédier en tout ou partie aux inconvénients précités. A cet effet, l'invention a pour objet une structure pour fabriquer des circuits intégrés destinés à assurer une fonction de lentille électromagnétique pour une antenne reconfigurable à réseau transmetteur, la structure comportant :

- une première plaquette, comprenant un ensemble de premiers composants actifs configurés pour introduire un déphasage, et présentant des première

et seconde surfaces opposées ;

- une première couche métallique, formée sur la première surface de la première plaquette ;
- une première structure d'interconnexions, formée sur la seconde surface de la première plaquette, et électriquement connectée aux premiers composants actifs ; la première structure d'interconnexions comprenant des premières lignes de polarisation agencées pour polariser les premiers composants actifs ;
- un ensemble de premières antennes planaires, formé sur la première structure d'interconnexions ;
- une deuxième plaquette, présentant des première et seconde surfaces opposées ;
- une deuxième couche métallique, formée sur la première surface de la deuxième plaquette ;
- un ensemble de deuxièmes antennes planaires, formé sur la seconde surface de la deuxième plaquette ;

les première et deuxième plaquettes étant assemblées par l'intermédiaire des première et deuxième couches métalliques de sorte que les ensembles des premières et deuxièmes antennes planaires sont alignés, les première et deuxième couches métalliques formant un plan de masse.

[0013] L'ensemble de premières antennes planaires est formé sur la première structure d'interconnexions de sorte que chaque première antenne planaire est électriquement connectée aux premiers composants actifs.

[0014] L'ensemble de premières antennes planaires est formé sur la première structure d'interconnexions de sorte que les premières antennes planaires sont électriquement isolées entre elles afin de ne pas être mises en court-circuit.

[0015] L'ensemble de deuxièmes antennes planaires est formé sur la seconde surface de la deuxième plaquette de sorte que les deuxièmes antennes planaires sont électriquement isolées entre elles, afin de pas être mises en court-circuit.

Définitions

[0016]

- Par « lentille électromagnétique », on entend un réseau transmetteur, appelé également lentille discrète.
- Par « plaquette » (« *wafer* » en langue anglaise), on entend un support physique autoporté, réalisé dans un matériau de base permettant l'intégration monolithique d'un dispositif électronique, ou d'un composant électronique/électro-optique, ou encore un système électromécanique (MEMS ou NEMS). A titre d'exemple non limitatif, une plaquette peut être une tranche découpée dans un lingot monocristallin de matériau semi-conducteur. Une plaquette peut également être réalisée dans un matériau diélectrique

tel que le quartz. Il est aussi possible d'envisager une plaquette de type Semi-conducteur sur Isolant SeOI (« *Semiconductor On Insulator* » en langue anglaise), de préférence une plaquette de type Silicium sur Isolant SOI (« *Silicon on Insulator* » en langue anglaise).

- Par « semi-conducteur », on entend que le matériau présente une conductivité à 300 K comprise entre 10^{-8} S.cm⁻¹ et 10^2 S.cm⁻¹.
- Par « composants actifs », on entend des composants permettant d'agir, à l'aide d'un signal de commande (e.g. électronique ou optique), sur les caractéristiques de propagation d'une onde électromagnétique. Les composants actifs sont classiquement intégrés de manière monolithique à la plaquette par une unité de fabrication initiale FEOL (« *Front-End-Of-Line* » en langue anglaise), en utilisant par exemple des techniques de photolithographie, gravure, diffusion et implantation de dopants, dépôts métalliques, passivation etc. Les composants actifs sont de préférence des commutateurs.
- Par « déphasage », on entend une modification de la phase d'une onde électromagnétique incidente, introduit par le ou les composants actifs, par exemple en provoquant un décalage temporel (retard temporel) de l'onde électromagnétique incidente.
- Par « structure d'interconnexions », on entend un empilement de niveaux d'interconnexions comprenant des pistes métalliques noyées dans un matériau diélectrique. Une structure d'interconnexions est classiquement formée sur la plaquette par une unité de fabrication finale BEOL (« *Back-End-Of-Line* » en langue anglaise).
- Par « matériau diélectrique », on entend que le matériau présente une conductivité électrique à 300 K inférieure à 10^{-8} S/cm.
- Par « antenne planaire », on entend une surface plane électriquement conductrice (classiquement métallique) pouvant émettre/recevoir un rayonnement électromagnétique. Un exemple d'antenne planaire est la pastille micro-ruban (« *patch* » en langue anglaise).
- L'expression « un ensemble de deuxièmes antennes planaires, formé sur la seconde surface de la deuxième plaquette » ne signifie pas nécessairement que les deuxièmes antennes planaires sont formées directement sur la seconde surface de la plaquette. Cette expression n'exclut pas la présence d'une entité interposée entre la seconde surface de la deuxième plaquette et les deuxièmes antennes planaires, par exemple une structure d'interconnexions.
- Par « plan de masse », on entend une zone métallique formant un plan de masse électrique de manière à définir un potentiel de référence.

[0017] Ainsi, une telle structure selon l'invention permet une intégration monolithique des cellules élémentai-

res du réseau transmetteur avec les premiers composants actifs permettant de contrôler et modifier le déphasage introduit dans la cellule élémentaire correspondante, et ce de manière à pouvoir obtenir une antenne reconfigurable.

[0018] En outre, une telle intégration monolithique permet l'obtention future d'un circuit intégré avec des dimensions suffisamment faibles pour être compatibles avec des fréquences de fonctionnement de l'antenne reconfigurable supérieures à 30 GHz. En effet, afin d'obtenir des performances satisfaisantes, la dimension (et donc la périodicité) caractéristique des cellules élémentaires doit être inférieure ou égale à la demi-longueur d'onde des ondes électromagnétiques émises par la ou les sources primaires. Par exemple, lorsque la fréquence de fonctionnement est de 30 GHz, la dimension caractéristique des cellules élémentaires doit être inférieure ou égale à 0,5 cm.

[0019] La structure selon l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

[0020] Selon une caractéristique de l'invention, l'ensemble de premiers composants actifs comporte des couples de commutateurs, chaque couple de commutateurs étant associé à une première antenne planaire.

Définition

[0021] Par « commutateurs », on entend des éléments permettant d'autoriser ou d'interdire la circulation d'un courant électrique, par exemple entre deux surfaces de rayonnement disjointes d'une antenne planaire.

[0022] Ainsi, un avantage procuré est de pouvoir introduire un déphasage en modifiant la longueur électrique effective de la première antenne planaire.

[0023] Selon une caractéristique de l'invention, la première plaquette comprend un premier démultiplexeur configuré pour transmettre un signal de commande sur les premières lignes de polarisation.

[0024] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir une intégration monolithique du premier démultiplexeur avec les cellules élémentaires du réseau transmetteur et les premiers composants actifs.

[0025] Selon une caractéristique de l'invention, la deuxième plaquette comprend un ensemble de deuxièmes composants actifs configurés pour introduire un déphasage ; la structure comportant une deuxième structure d'interconnexions, formée sur la seconde surface de la deuxième plaquette, et électriquement connectée aux deuxièmes composants actifs ; la deuxième structure d'interconnexions comprenant des deuxièmes lignes de polarisation agencées pour polariser les deuxièmes composants actifs ; l'ensemble de deuxièmes antennes planaires étant formé sur la deuxième structure d'interconnexions.

[0026] L'ensemble de deuxièmes antennes planaires est formé sur la deuxième structure d'interconnexions de sorte que chaque deuxième antenne planaire est électriquement connectée aux deuxièmes composants ac-

tifs.

[0027] L'ensemble de deuxièmes antennes planaires est formé sur la deuxième structure d'interconnexions de sorte que les deuxièmes antennes planaires sont électriquement isolées entre elles, afin de ne pas être mises en court-circuit.

[0028] Ainsi, un avantage procuré est d'augmenter le nombre d'états de phase ou de retards.

[0029] Selon une caractéristique de l'invention, l'ensemble de deuxièmes composants actifs comporte des couples de commutateurs, chaque couple de commutateurs étant associé à une deuxième antenne planaire.

[0030] Ainsi, un avantage procuré est de pouvoir introduire un déphasage en modifiant la longueur électrique effective de la deuxième antenne planaire.

[0031] Selon une caractéristique de l'invention, la deuxième plaquette comprend un deuxième démultiplexeur configuré pour transmettre un signal de commande sur les deuxièmes lignes de polarisation.

[0032] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir une intégration monolithique du deuxième démultiplexeur avec les cellules élémentaires du réseau transmetteur et les deuxièmes composants actifs.

[0033] Selon une caractéristique de l'invention, la structure comporte des trous d'interconnexion agencés pour connecter électriquement les premières antennes planaires avec les deuxièmes antennes planaires leur faisant face, les trous d'interconnexion étant électriquement isolés du plan de masse.

Définition

[0034]

- Par « trou d'interconnexion » (« *via* » en langue anglaise), on entend un trou métallisé permettant d'établir une liaison électrique entre différents niveaux d'interconnexion.

[0035] Selon une caractéristique de l'invention, chaque première antenne planaire comporte des première et seconde surfaces de rayonnement disjointes ; les premières surfaces de rayonnement des premières antennes planaires étant électriquement connectées aux trous d'interconnexion ; les secondes surfaces de rayonnement des premières antennes planaires étant électriquement connectées aux premiers composants actifs.

Définition

[0036] Par « disjointes », on entend que les première et seconde surfaces de rayonnement sont séparées entre elles par une zone de séparation de manière à être électriquement isolées.

[0037] Selon une caractéristique de l'invention, chaque deuxième antenne planaire comporte des première et seconde surfaces de rayonnement disjointes ; les premières surfaces de rayonnement des deuxièmes anten-

nes planaires étant électriquement connectées aux trous d'interconnexion ; les secondes surfaces de rayonnement des deuxièmes antennes planaires étant électriquement connectées aux deuxièmes composants actifs.

[0038] Selon une caractéristique de l'invention, les premiers composants actifs et/ou les deuxièmes composants actifs sont choisis parmi une diode, un transistor à effet de champ, un transistor bipolaire, un microsystème électromécanique.

[0039] Selon une caractéristique de l'invention, la structure comporte des billes de brasage agencées pour établir une liaison métallique entre les première et deuxième couches métalliques.

[0040] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir une forte adhésion entre les première et deuxième couches métalliques, et garantir une interconnexion électrique.

[0041] Selon une caractéristique de l'invention, les première et deuxième plaquettes sont réalisées à base d'un matériau semi-conducteur, ou sont constituées d'un matériau semi-conducteur.

Définitions

[0042]

- Par « à base de », on entend que le matériau semi-conducteur est le matériau principal et majoritaire composant la plaquette.
- Par « constitué », on entend que le matériau semi-conducteur est le seul et unique matériau composant la plaquette.

[0043] Ainsi, un avantage procuré est de faciliter l'intégration monolithique des premiers et deuxièmes composants actifs, avec une forte densité d'intégration possible.

[0044] L'invention a également pour objet un circuit intégré, fabriqué par une découpe d'une structure conforme à l'invention, la découpe étant exécutée de sorte que le circuit intégré comporte une pluralité de cellules élémentaires, comprenant chacune une première antenne planaire et une deuxième antenne planaire lui faisant face, de manière à assurer une fonction de lentille électromagnétique.

[0045] Autrement dit, l'invention a pour objet un circuit intégré, destiné à assurer une fonction de lentille électromagnétique pour une antenne reconfigurable à réseau transmetteur, fabriqué par une découpe d'une structure conforme à l'invention, le circuit intégré comportant :

- une portion de la première plaquette, comprenant des premiers composants actifs configurés pour introduire un déphasage, et présentant des première et seconde surfaces opposées ;
- une partie de la première couche métallique, formée sur la première surface de la portion de la première plaquette ;

- une partie de la première structure d'interconnexions, formée sur la seconde surface de la portion de la première plaquette, et électriquement connectée aux premiers composants actifs ; la partie de la première structure d'interconnexions comprenant des premières lignes de polarisation agencées pour polariser les premiers composants actifs ;
 - une partie de l'ensemble de premières antennes planaires, formée sur la partie de la première structure d'interconnexions ;
 - une portion de la deuxième plaquette, présentant des première et seconde surfaces opposées ;
 - une partie de la deuxième couche métallique, formée sur la première surface de la portion de la deuxième plaquette ;
 - une partie de l'ensemble de deuxièmes antennes planaires, formée sur la seconde surface de la portion de la deuxième plaquette ;
- les portions des première et deuxième plaquettes étant assemblées par l'intermédiaire des parties des première et deuxième couches métalliques de sorte que les parties des ensembles des premières et deuxièmes antennes planaires sont alignées, les parties des première et deuxième couches métalliques formant un plan de masse, le circuit intégré comportant une pluralité de cellules élémentaires, comprenant chacune une première antenne planaire et une deuxième antenne planaire lui faisant face, de manière à assurer une fonction de lentille électromagnétique.

[0046] L'invention a également pour objet une antenne reconfigurable à réseau transmetteur, comportant :

- une carte de circuit imprimé, présentant des première et seconde surfaces opposées ;
- au moins un circuit intégré conforme à l'invention, formé sur la première surface de la carte de circuit imprimé ;
- au moins un émetteur-récepteur, agencé pour émettre et recevoir une onde électromagnétique se propageant au sein de la carte de circuit imprimé ;
- au moins une électronique de commande, configurée pour commander l'émetteur-récepteur et les premiers composants actifs du circuit intégré, et formée sur la seconde surface de la carte de circuit imprimé.

[0047] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir une antenne reconfigurable à réseau transmetteur très compacte en utilisant les deux faces opposées d'une carte de circuit imprimé pour intégrer la lentille électromagnétique et l'électronique de commande.

[0048] Selon une caractéristique de l'invention, le circuit intégré est fabriqué par une découpe d'une structure conforme à l'invention, et l'électronique de commande est configurée pour commander les deuxièmes composants actifs du circuit intégré.

[0049] Selon une caractéristique de l'invention, l'an-

tenne comporte des antennes planaires additionnelles formées sur la première surface de la carte de circuit imprimé, et faisant face aux cellules élémentaires du circuit intégré.

[0050] Ainsi, un avantage procuré est d'obtenir un réseau transmetteur capable de gérer des faisceaux indépendants, par exemple pour des applications multi-utilisateurs.

10 Brève description des dessins

[0051] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans l'exposé détaillé de différents modes de réalisation de l'invention, l'exposé étant assorti d'exemples et de références aux dessins joints.

Figure 1 est une vue schématique partielle en coupe d'une structure selon l'invention, illustrant la première plaquette munie des premiers composants actifs, la première structure d'interconnexions, les premières antennes planaires et la première couche métallique.

Figure 2 est une vue schématique partielle en coupe d'une structure selon l'invention, illustrant un premier mode de réalisation où la deuxième plaquette est dépourvue de composants actifs.

Figure 3 est une vue schématique partielle en coupe d'une structure selon l'invention, illustrant un deuxième mode de réalisation où la deuxième plaquette est munie de deuxièmes composants actifs.

Figure 4 est une vue schématique en coupe d'une structure selon l'invention, illustrant un mode de réalisation où la deuxième plaquette est dépourvue de composants actifs. Les traits pointillés indiquent une cellule élémentaire du réseau transmetteur.

Figure 5 est une vue schématique en coupe d'une structure selon l'invention, illustrant un mode de réalisation où la deuxième plaquette est munie de deuxièmes composants actifs. Les traits pointillés indiquent une cellule élémentaire du réseau transmetteur.

Figure 6 est une vue schématique de dessus d'une structure selon l'invention, illustrant la formation de motifs à la surface de la structure, par exemple par photolithographie à l'aide d'un masque (réticule). L'encart de la figure 6 est vue de dessus à l'échelle agrandie d'un motif, formé à la surface de la structure, et comportant plusieurs cellules élémentaires.

Figure 7 est une vue schématique en coupe d'une antenne reconfigurable selon l'invention.

Figure 8 est une vue schématique de dessus d'une antenne reconfigurable selon l'invention.

Figure 9 est une vue schématique en coupe d'une antenne reconfigurable selon l'invention, illustrant un mode de réalisation où des antennes planaires additionnelles sont formées à la surface de la carte de circuit imprimé.

Figure 10 est une vue schématique en coupe d'une

antenne reconfigurable selon l'invention, illustrant un mode de réalisation où la carte de circuit imprimé est munie d'une pluralité de modules émetteur-récepteur. Les traits pointillés indiquent une zone de formation d'un faisceau sur une bande passante. Figure 11 est une vue schématique en coupe d'une antenne reconfigurable selon l'invention, illustrant un mode de réalisation où la carte de circuit imprimé est munie d'un module émetteur-récepteur numérique. Les traits pointillés indiquent une zone de formation d'un faisceau sur une bande passante. Les figures ne sont pas représentées à l'échelle par souci de lisibilité et pour en simplifier leur compréhension.

Exposé détaillé des modes de réalisation

[0052] Les éléments identiques ou assurant la même fonction porteront les mêmes références pour les différents modes de réalisation, par souci de simplification.

[0053] Un objet de l'invention est une structure 1 pour fabriquer des circuits intégrés IC destinés à assurer une fonction de lentille électromagnétique pour une antenne 2 reconfigurable à réseau transmetteur, la structure 1 comportant :

- une première plaquette W1, comprenant un ensemble de premiers composants actifs C1 configurés pour introduire un déphasage, et présentant des première et seconde surfaces W10, W11 opposées ;
 - une première couche métallique M1, formée sur la première surface W10 de la première plaquette W1 ;
 - une première structure d'interconnexions 3, formée sur la seconde surface W11 de la première plaquette W1, et électriquement connectée aux premiers composants actifs C1 ; la première structure d'interconnexions 3 comprenant des premières lignes de polarisation 30 agencées pour polariser les premiers composants actifs C1 ;
 - un ensemble de premières antennes planaires A1, formé sur la première structure d'interconnexions 3 ;
 - une deuxième plaquette W2, présentant des première et seconde surfaces W20, W21 opposées ;
 - une deuxième couche métallique M2, formée sur la première surface W20 de la deuxième plaquette W2 ;
 - un ensemble de deuxième antennes planaires A2, formé sur la seconde surface W21 de la deuxième plaquette W2 ;
- les première et deuxième plaquettes W1, W2 étant assemblées par l'intermédiaire des première et deuxième couches métalliques M1, M2 de sorte que les ensembles des premières et deuxièmes antennes planaires A1, A2 sont alignés, les première et deuxième couches métalliques M1, M2 formant un plan de masse PM.

[0054] Des exemples de structure 1 sont illustrées aux

figures 4 et 5.

Première plaquette

[0055] La première plaquette W1 est notamment illustrée à la figure 1. La première plaquette W1 est avantageusement réalisée dans un matériau semi-conducteur, de préférence sélectionné parmi le silicium, le germanium. La première plaquette W1 peut donc être semi-conductrice. La première plaquette W1 peut être réalisée à base d'un matériau semi-conducteur. La première plaquette W1 peut être constituée d'un matériau semi-conducteur.

[0056] La première plaquette W1 peut également être réalisée dans un matériau diélectrique tel que le quartz. Il est aussi possible d'envisager une première plaquette W1 de type Semi-conducteur sur Isolant SeOI (« *Semiconductor On Insulator* » en langue anglaise), de préférence de type Silicium sur Isolant SOI (« *Silicon on Insulator* » en langue anglaise).

Premiers composants actifs

[0057] Les premiers composants actifs C1 sont avantageusement intégrés à la première plaquette W1 par une unité de fabrication initiale FEOL (« *Front-End-Of-Line* » en langue anglaise), en utilisant par exemple des techniques de photolithographie, gravure, diffusion et implantation de dopants, dépôts métalliques, passivation connues de l'homme du métier. Dans le cas où la première plaquette W1 est réalisée dans un matériau diélectrique, les premiers composants actifs C1 peuvent être intégrés à la première plaquette W1 par des techniques de dépôt de couches minces.

[0058] Chaque première antenne planaire A1 comporte avantageusement des première et seconde surfaces de rayonnement A10, A11 disjointes, au sens où elles sont séparées entre elles par une zone de séparation de manière à être électriquement isolées entre elles. L'ensemble de premiers composants actifs C1 comporte avantageusement des couples de commutateurs, chaque couple de commutateurs étant associé à une première antenne planaire A1. Chaque couple de commutateurs appartient à un circuit de déphasage, et comprend des premier et second commutateurs présentant respectivement un état passant et un état bloqué en alternance, les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et seconde surfaces de rayonnement A10, A11 disjointes de chaque première antenne planaire A1. Par « en alternance », on entend que le premier commutateur alterne entre l'état passant et l'état bloqué, tandis que, simultanément, le second commutateur alterne entre l'état bloqué et l'état passant. En d'autres termes, à tout instant, les premier et second commutateurs appartenant au même circuit de déphasage présentent deux états opposés, soit passant/bloqué, soit bloqué/passant. Les états passant/pas-

sant ou bloqué/bloqué ne sont pas autorisés.

[0059] Les premiers composants actifs C1 sont avantageusement choisis parmi une diode, un transistor à effet de champ, un transistor bipolaire, un microsystème électromécanique. Le transistor à effet de champ est de préférence un transistor de type MOS (« *Metal Oxide Semiconductor* » en langue anglaise). La diode peut être une diode de type p-i-n, une diode électro-optique, ou encore une diode de type varicap (« *varactor* » en langue anglaise). Les diodes de type p-i-n peuvent être réalisées en AlGaAs.

Première couche métallique

[0060] La première couche métallique M1 est préférentiellement réalisée en cuivre. La première couche métallique M1 peut être formée sur la première surface W10 de la première plaquette W1 par un procédé de métallisation.

Première structure d'interconnexions

[0061] La première structure d'interconnexions 3 est avantageusement formée sur la seconde surface W11 de la première plaquette W1 par une unité de fabrication finale BEOL (« *Back-End-Of-Line* » en langue anglaise).

[0062] Les premières lignes de polarisation 30 sont des pistes métalliques, de préférence réalisées en cuivre.

[0063] La première plaquette W1 comprend avantageusement un premier démultiplexeur DMUX1 configuré pour transmettre un signal de commande sur les premières lignes de polarisation 30. Afin de limiter le nombre d'entrées (et donc le nombre de fils), pour des raisons de compacité, il est possible d'organiser les premières lignes de polarisation 30 en matrices, et de prévoir un décodeur d'adresses.

Ensemble de premières antennes planaires

[0064] L'ensemble de premières antennes planaires A1 est formé sur la première structure d'interconnexions 3 de sorte que chaque première antenne planaire A1 est électriquement connectée aux premiers composants actifs C1. L'ensemble de premières antennes planaires A1 est formé sur la première structure d'interconnexions 3 de sorte que les premières antennes planaires A1 sont électriquement isolées entre elles afin de ne pas être mises en court-circuit.

[0065] Comme évoqué précédemment, chaque première antenne planaire A1 comporte avantageusement des première et seconde surfaces de rayonnement A10, A11 disjointes, au sens où elles sont séparées entre elles par une zone de séparation de manière à être électriquement isolées entre elles. A cet effet, une fente est avantageusement formée dans chaque première antenne planaire A1 pour isoler électriquement les première et seconde surfaces de rayonnement A10, A11 disjointes. La

fente définit la zone de séparation. La fente est préférentiellement annulaire, à section rectangulaire. Bien entendu, d'autres formes sont envisageables pour la fente, telles qu'une forme elliptique ou circulaire. Selon une variante d'exécution, l'isolation électrique des première et seconde surfaces de rayonnement de la deuxième antenne planaire peut être assurée par un matériau diélectrique.

[0066] Les premières et secondes surfaces de rayonnement A10, A11 des premières antennes planaires A1 sont électriquement connectées aux premiers composants actifs C1.

Deuxième plaquette

[0067] La deuxième plaquette W2 est notamment illustrée aux figures 2 et 3. La deuxième plaquette W2 est avantageusement réalisée dans un matériau semi-conducteur, de préférence sélectionné parmi le silicium, le germanium. La deuxième plaquette W2 peut donc être réalisée à base d'un matériau semi-conducteur. La deuxième plaquette W2 peut être constituée d'un matériau semi-conducteur.

[0068] La deuxième plaquette W2 peut également être réalisée dans un matériau diélectrique tel que le quartz. Il est aussi possible d'envisager une deuxième plaquette W2 de type Semi-conducteur sur Isolant SeOI (« *Semiconductor On Insulator* » en langue anglaise), de préférence de type Silicium sur Isolant SOI (« *Silicon on Insulator* » en langue anglaise).

Deuxièmes composants actifs

[0069] La deuxième plaquette W2 comprend avantageusement un ensemble de deuxièmes composants actifs C2 configurés pour introduire un déphasage. Les deuxièmes composants actifs C2 sont avantageusement intégrés à la deuxième plaquette W2 par une unité de fabrication initiale FEOL (« *Front-End-Of-Line* » en langue anglaise), en utilisant par exemple des techniques de photolithographie, gravure, diffusion et implantation de dopants, dépôts métalliques, passivation connues de l'homme du métier. Dans le cas où la deuxième plaquette W2 est réalisée dans un matériau diélectrique, les deuxièmes composants actifs C2 peuvent être intégrés à la deuxième plaquette W2 par des techniques de dépôt de couches minces.

[0070] Chaque deuxième antenne planaire A2 comporte avantageusement des première et seconde surfaces de rayonnement A20, A21 disjointes, au sens où elles sont séparées entre elles par une zone de séparation de manière à être électriquement isolées entre elles. L'ensemble de deuxièmes composants actifs C2 comporte avantageusement des couples de commutateurs, chaque couple de commutateurs étant associé à une deuxième antenne planaire A2. Chaque couple de commutateurs appartient à un circuit de déphasage, et com-

prend des premier et second commutateurs présentant respectivement un état passant et un état bloqué en alternance, les états passant ou bloqué correspondant à une circulation d'un courant, respectivement autorisée ou bloquée, entre les première et seconde surfaces de rayonnement A20, A21 disjointes de chaque deuxième antenne planaire A2. Par « en alternance », on entend que le premier commutateur alterne entre l'état passant et l'état bloqué, tandis que, simultanément, le second commutateur alterne entre l'état bloqué et l'état passant. En d'autres termes, à tout instant, les premier et second commutateurs appartenant au même circuit de déphasage présentent deux états opposés, soit passant/bloqué, soit bloqué/passant. Les états passant/passant ou bloqué/bloqué ne sont pas autorisés.

[0071] Les deuxième composants actifs C2 sont avantageusement choisis parmi une diode, un transistor à effet de champ, un transistor bipolaire, un microsystème électromécanique. Le transistor à effet de champ est de préférence de type MOS (« *Metal Oxide Semiconductor* » en langue anglaise). La diode peut être une diode de type p-i-n, une diode électro-optique, ou encore une diode de type varicap (« *varactor* » en langue anglaise). Les diodes de type p-i-n peuvent être réalisées en AlGaAs.

Deuxième couche métallique

[0072] La deuxième couche métallique M2 est préférentiellement réalisée en cuivre. La deuxième couche métallique peut être formée sur la première surface W20 de la deuxième plaquette W2 par un procédé de métallisation.

Deuxième structure d'interconnexions

[0073] La structure 1 comporte avantageusement une deuxième structure d'interconnexions 4, formée sur la seconde surface W21 de la deuxième plaquette W2, et électriquement connectée aux deuxième composants actifs C2. La deuxième structure d'interconnexions 4 est avantageusement formée sur la seconde surface W21 de la deuxième plaquette W2 par une unité de fabrication finale BEOL (« *Back-End-Of-Line* » en langue anglaise). L'ensemble de deuxième antennes planaires A2 est alors formé sur la deuxième structure d'interconnexions 4.

[0074] La deuxième structure d'interconnexions 4 comprend des deuxième lignes de polarisation 40 agencées pour polariser les deuxième composants actifs C2. Les deuxième lignes de polarisation 40 sont des pistes métalliques, de préférence réalisées en cuivre.

[0075] La deuxième plaquette W2 comprend avantageusement un deuxième démultiplexeur DMUX2 configuré pour transmettre un signal de commande sur les deuxième lignes de polarisation 40. Afin de limiter le nombre d'entrées (et donc le nombre de fils), pour des raisons de compacité, il est possible d'organiser les

deuxième lignes de polarisation 40 en matrices, et de prévoir un décodeur d'adresses.

Ensemble de deuxième antennes planaires

[0076] L'ensemble de deuxième antennes planaires A2 est formé sur la deuxième structure d'interconnexions 4 de sorte que chaque deuxième antenne planaire A2 est électriquement connectée aux deuxième composants actifs C2. L'ensemble de deuxième antennes planaires A2 est formé sur la deuxième structure d'interconnexions 4 de sorte que les deuxième antennes planaires A2 sont électriquement isolées entre elles, afin de ne pas être mises en court-circuit.

[0077] Comme évoqué précédemment, chaque deuxième antenne planaire A2 comporte avantageusement des première et seconde surfaces de rayonnement A20, A21 disjointes, au sens où elles sont séparées entre elles par une zone de séparation de manière à être électriquement isolées entre elles. A cet effet, une fente est avantageusement formée dans chaque deuxième antenne planaire A2 pour isoler électriquement les première et seconde surfaces de rayonnement A20, A21 disjointes. La fente définit la zone de séparation. La fente est préférentiellement annulaire, à section rectangulaire. Bien entendu, d'autres formes sont envisageables pour la fente, telles qu'une forme elliptique ou circulaire. Selon une variante d'exécution, l'isolation électrique des première et seconde surfaces de rayonnement de la deuxième antenne planaire peut être assurée par un matériau diélectrique.

[0078] Les premières et secondes surfaces de rayonnement A20, A21 des deuxième antennes planaires A2 sont électriquement connectées aux deuxième composants actifs C2.

Assemblage des première et deuxième plaquettes

[0079] A titre d'exemple non limitatif, le plan de masse PM peut présenter une épaisseur de l'ordre de 17 μm lorsque la fréquence de fonctionnement de l'antenne 2 à réseau transmetteur est de 29 GHz.

[0080] La structure 1 comporte avantageusement des billes de brasage agencées pour établir une liaison métallique entre les première et deuxième couches métalliques M1, M2. Selon une alternative, les première et deuxième plaquettes W1, W2 peuvent être assemblées par l'intermédiaire des première et deuxième couches métalliques M1, M2 par un collage eutectique.

[0081] L'assemblage des première et deuxième plaquettes W1, W2 est exécuté de sorte que les ensembles des premières et deuxième antennes planaires A1, A2 sont alignés. L'alignement des ensembles des premières et deuxième antennes planaires A1, A2 peut être obtenu par une technique d'alignement connue de l'homme du métier, par exemple à l'aide de caméras CCD (« *Charge Coupled Device* » en langue anglaise).

[0082] Après l'assemblage des première et deuxième

plaquettes W1, W2, la surface de la structure 1 est divisée en motifs 10, comme illustré à la figure 6. Les motifs 10 sont formés à la surface de la structure 1, par exemple par photolithographie à l'aide d'un masque (réticule). A titre d'exemple non limitatif, chaque motif 10 peut être de forme carrée (D étant la dimension des côtés) et peut présenter une aire de 20x20 mm² lorsque les première et deuxième plaquettes W1, W2 présentent un diamètre de 200 mm. Le nombre de cellules élémentaires CE présentes dans un motif 10 dépend de la fréquence de fonctionnement de l'antenne 2, qui définit le pas p (« *pitch* » en langue anglaise) des cellules élémentaires CE. A titre d'exemple non limitatif, pour une fréquence de fonctionnement de 28 GHz, un motif 10 carré avec une aire de 20x20 mm² peut comporter 3x3 cellules élémentaires CE.

Connexion électrique entre les premières et deuxièmes antennes planaires

[0083] La structure 1 comporte avantageusement des trous d'interconnexion V agencés pour connecter électriquement les premières antennes planaires A1 avec les deuxièmes antennes planaires A2 leur faisant face, les trous d'interconnexion V étant électriquement isolés du plan de masse PM. Les trous d'interconnexion V traversent des ouvertures formées dans le plan de masse PM. Les ouvertures formées dans le plan de masse PM permettent à la fois l'isolation électrique avec les trous d'interconnexion V et la propagation des ondes électromagnétiques à travers le plan de masse PM. Lorsque les première et deuxième plaquettes W1, W2 sont réalisées en silicium, les trous d'interconnexion V sont de type TSV (« *Through Silicon Via* » en langue anglaise). A titre d'exemple, pour une fréquence de fonctionnement de 29 GHz, les trous d'interconnexion V présentent un diamètre de l'ordre de 150 µm. Les trous d'interconnexion V sont préférentiellement connectés aux premières et deuxièmes antennes planaires A1, A2 par des points de connexion. De manière générale, la position des points de connexion varie selon la géométrie spécifique des antennes planaires de manière à exciter le mode fondamental de résonance. Les trous d'interconnexion V s'étendent avantageusement suivant la normale aux surfaces des premières et deuxièmes antennes planaires A1, A2.

[0084] Lorsque chaque première antenne planaire A1 comporte des première et seconde surfaces de rayonnement A10, A11 disjointes, les premières surfaces de rayonnement A10 des premières antennes planaires A1 sont électriquement connectées aux trous d'interconnexion V.

[0085] Lorsque chaque deuxième antenne planaire A2 comporte des première et seconde surfaces de rayonnement A20, A21 disjointes, les premières surfaces de rayonnement A20 des deuxièmes antennes planaires A2 sont électriquement connectées aux trous d'interconnexion V.

Circuit intégré

[0086] Un objet de l'invention est un circuit intégré IC, fabriqué par une découpe d'une structure 1 selon l'invention, la découpe étant exécutée de sorte que le circuit intégré IC comporte une pluralité de cellules élémentaires CE, comprenant chacune une première antenne planaire A1 et une deuxième antenne planaire A2 lui faisant face, de manière à assurer une fonction de lentille électromagnétique.

[0087] La découpe peut être exécutée à l'aide d'une scie circulaire de précision, avec une lame à âme métallique ou à âme résinoïde diamantée. La découpe est exécutée suivant la normale aux surfaces W10, W11 ; W20, W21 des première et deuxième plaquettes W1, W2.

[0088] Autrement dit, un objet de l'invention est un circuit intégré IC, destiné à assurer une fonction de lentille électromagnétique pour une antenne 2 reconfigurable à réseau transmetteur, fabriqué par une découpe d'une structure 1 selon l'invention, le circuit intégré IC comportant :

- une portion de la première plaquette W1, comprenant des premiers composants actifs C1 configurés pour introduire un déphasage, et présentant des première et seconde surfaces W10, W11 opposées ;
 - une partie de la première couche métallique M1, formée sur la première surface W10 de la portion de la première plaquette W1 ;
 - une partie de la première structure d'interconnexions 3, formée sur la seconde surface W11 de la portion de la première plaquette W1, et électriquement connectée aux premiers composants actifs C1 ; la partie de la première structure d'interconnexions 3 comprenant des premières lignes de polarisation 30 agencées pour polariser les premiers composants actifs C1 ;
 - une partie de l'ensemble de premières antennes planaires A1, formée sur la partie de la première structure d'interconnexions 3 ;
 - une portion de la deuxième plaquette W2, présentant des première et seconde surfaces W20, W21 opposées ;
 - une partie de la deuxième couche métallique M2, formée sur la première surface W20 de la portion de la deuxième plaquette W2 ;
 - une partie de l'ensemble de deuxièmes antennes planaires A2, formée sur la seconde surface W21 de la portion de la deuxième plaquette W2 ;
- les portions des première et deuxième plaquettes W1, W2 étant assemblées par l'intermédiaire des parties des première et deuxième couches métalliques M1, M2 de sorte que les parties des ensembles des premières et deuxièmes antennes planaires A1, A2 sont alignées, les parties des première et deuxième couches métalliques M1, M2 formant un plan de masse PM.

[0089] Le circuit intégré IC comporte une pluralité de cellules élémentaires CE, comprenant chacune une première antenne planaire A1 et une deuxième antenne planaire A2 lui faisant face, de manière à assurer une fonction de lentille électromagnétique.

Antenne reconfigurable

[0090] Comme illustré à la figure 7, un objet de l'invention est une antenne 2 reconfigurable à réseau transmetteur, comportant :

- une carte de circuit imprimé 5, présentant des première et seconde surfaces 50, 51 opposées ;
- au moins un circuit intégré IC selon l'invention, formé sur la première surface 50 de la carte de circuit imprimé 5 ;
- au moins un émetteur-récepteur 6, agencé pour émettre et recevoir une onde électromagnétique se propageant au sein de la carte de circuit imprimé 5 ;
- au moins une électronique de commande 60, configurée pour commander l'émetteur-récepteur 6 et les premiers composants actifs C1 du circuit intégré IC, et formée sur la seconde surface 51 de la carte de circuit imprimé 5.

Carte de circuit imprimé

[0091] La carte de circuit imprimé 5 est réalisée dans un matériau diélectrique. A titre d'exemple non limitatif, la carte de circuit imprimé 5 peut être réalisée dans un matériau commercial tel que le RT/duroid® 6002. La carte de circuit imprimé 5 présente une épaisseur typiquement comprise entre 100 μm et 1500 μm pour une fréquence de fonctionnement de l'antenne 2 comprise entre 10 GHz et 300 GHz. A titre d'exemple non limitatif, la carte de circuit imprimé 5 peut présenter une épaisseur de l'ordre de 254 μm lorsque la fréquence de fonctionnement de l'antenne 2 est de 29 GHz.

[0092] Le ou les circuits intégrés IC peuvent être formés sur la première surface 50 de la carte de circuit imprimé 5 par un assemblage de type puce retournée (« *flip-chip* » en langue anglaise). Les circuits intégrés IC peuvent être agencés sur la première surface 50 de la carte de circuit imprimé 5 sous forme matricielle, comme illustré à la figure 8.

[0093] Comme illustré à la figure 9, l'antenne 2 comporte avantageusement des antennes planaires additionnelles A1' formées sur la première surface 50 de la carte de circuit imprimé 5, et faisant face aux cellules élémentaires CE du circuit intégré IC.

Émetteur-Récepteur

[0094] Chaque émetteur-récepteur 6 comporte au moins une source S rayonnante agencée pour émettre des ondes électromagnétiques. La source S rayonnante peut être réalisée sous la forme d'une antenne planaire

formée au sein de la carte de circuit imprimé 5, s'étendant dans un plan focal dont la distance euclidienne avec la lentille électromagnétique définit la distance focale F (illustrée à la figure 7). La ou chaque source S rayonnante est avantageusement configurée pour opérer à une fréquence supérieure à 30 GHz (fréquences millimétriques et sub-THz).

[0095] Comme illustré à la figure 10, l'antenne 2 peut comporter une pluralité d'émetteurs-récepteurs 6. Lorsque les circuits intégrés IC sont agencés sur la première surface 50 de la carte de circuit imprimé 5 sous forme matricielle, chaque émetteur-récepteur 6 peut être dédié à une zone de la matrice.

[0096] Comme illustré à la figure 11, la pluralité d'émetteurs-récepteurs 6 peut être commandée par une électronique de commande 60 numérique, dont les voies de sortie sont électriquement connectées aux sources S rayonnantes.

Electronique de commande

[0097] L'électronique de commande 60 est préférentiellement intégrée au sein d'une puce électronique montée sur la seconde surface 51 de la carte de circuit imprimé 5. L'électronique de commande 60 est avantageusement configurée pour également commander les deuxièmes composants actifs C2 du circuit intégré IC.

[0098] En l'absence de démultiplexeurs DMUX1, DMUX2 intégrées aux première et deuxième plaquettes W1, W2, des démultiplexeurs peuvent être déportés au sein de l'électronique de commande 60. Un exemple de pilotage des lignes de polarisation est donné dans la thèse de doctorat « *Conception d'antennes à réseaux transmetteurs à dépointage et/ou formation de faisceau* », A. Clemente, octobre 2012, aux pages 159-161.

[0099] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation exposés. L'homme du métier est mis à même de considérer leurs combinaisons techniquement opérantes, et de leur substituer des équivalents.

Revendications

1. Structure (1) pour fabriquer des circuits intégrés (IC) destinés à assurer une fonction de lentille électromagnétique pour une antenne (2) reconfigurable à réseau transmetteur, la structure (1) comportant :

- une première plaquette (W1), comprenant un ensemble de premiers composants actifs (C1) configurés pour introduire un déphasage, et présentant des première et seconde surfaces (W10, W11) opposées ;
- une première couche métallique (M1), formée sur la première surface (W10) de la première plaquette (W1) ;
- une première structure d'interconnexions (3), formée sur la seconde surface (W11) de la pre-

- mière plaquette (W1), et électriquement connectée aux premiers composants actifs (C1) ; la première structure d'interconnexions (3) comprenant des premières lignes de polarisation (30) agencées pour polariser les premiers composants actifs (C1) ;
- un ensemble de premières antennes planaires (A1), formé sur la première structure d'interconnexions (3) ;
 - une deuxième plaquette (W2), présentant des première et seconde surfaces (W20, W21) opposées ;
 - une deuxième couche métallique (M2), formée sur la première surface (W20) de la deuxième plaquette (W2) ;
 - un ensemble de deuxième antennes planaires (A2), formé sur la seconde surface (W21) de la deuxième plaquette (W2) ;
- étant assemblées par l'intermédiaire des première et deuxième couches métalliques (M1, M2) de sorte que les ensembles des premières et deuxième antennes planaires (A1, A2) sont alignés, les première et deuxième couches métalliques (M1, M2) formant un plan de masse (PM).
2. Structure (1) selon la revendication 1, dans laquelle l'ensemble de premiers composants actifs (C1) comporte des couples de commutateurs, chaque couple de commutateurs étant associé à une première antenne planaire (A1).
 3. Structure (1) selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle la première plaquette (W1) comprend un premier démultiplexeur (DMUX1) configuré pour transmettre un signal de commande sur les premières lignes de polarisation (30).
 4. Structure (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle la deuxième plaquette (W2) comprend un ensemble de deuxième composants actifs (C2) configurés pour introduire un déphasage ; la structure (1) comportant une deuxième structure d'interconnexions (4), formée sur la seconde surface (W21) de la deuxième plaquette (W2), et électriquement connectée aux deuxième composants actifs (C2) ; la deuxième structure d'interconnexions (4) comprenant des deuxième lignes de polarisation (40) agencées pour polariser les deuxième composants actifs (C2) ; l'ensemble de deuxième antennes planaires (A2) étant formé sur la deuxième structure d'interconnexions (4).
 5. Structure (1) selon la revendication 4, dans laquelle l'ensemble de deuxième composants actifs (C2) comporte des couples de commutateurs, chaque couple de commutateurs étant associé à une deuxième antenne planaire (A2).
 6. Structure (1) selon la revendication 4 ou 5, dans laquelle la deuxième plaquette (W2) comprend un deuxième démultiplexeur (DMUX2) configuré pour transmettre un signal de commande sur les deuxième lignes de polarisation (40).
 7. Structure (1) selon l'une des revendications 1 à 6, comportant des trous d'interconnexion (V) agencés pour connecter électriquement les premières antennes planaires (A1) avec les deuxième antennes planaires (A2) leur faisant face, les trous d'interconnexion (V) étant électriquement isolés du plan de masse (PM).
 8. Structure (1) selon la revendication 7, dans laquelle chaque première antenne planaire (A1) comporte des première et seconde surfaces de rayonnement (A10, A11) disjointes ; les premières surfaces de rayonnement (A10) des premières antennes planaires (A1) étant électriquement connectées aux trous d'interconnexion (V) ; les secondes surfaces de rayonnement (A11) des premières antennes planaires (A1) étant électriquement connectées aux premiers composants actifs (C1).
 9. Structure (1) selon la revendication 7 ou 8 en combinaison avec la revendication 4, dans laquelle chaque deuxième antenne planaire (A2) comporte des première et seconde surfaces de rayonnement (A20, A21) disjointes ; les premières surfaces de rayonnement (A20) des deuxième antennes planaires (A2) étant électriquement connectées aux trous d'interconnexion (V) ; les secondes surfaces de rayonnement (A21) des deuxième antennes planaires (A2) étant électriquement connectées aux deuxième composants actifs (C2).
 10. Structure (1) selon l'une des revendications 1 à 9, dans laquelle les premiers composants actifs (C1) et/ou les deuxième composants actifs (C2) sont choisis parmi une diode, un transistor à effet de champ, un transistor bipolaire, un microsystème électromécanique.
 11. Structure (1) selon l'une des revendications 1 à 10, comportant des billes de brasage agencées pour établir une liaison métallique entre les première et deuxième couches métalliques (M1, M2).
 12. Structure (1) selon l'une des revendications 1 à 11, dans laquelle les première et deuxième plaquettes (W1, W2) sont réalisées à base d'un matériau semi-conducteur, ou sont constituées d'un matériau semi-conducteur.
 13. Circuit intégré (IC), destiné à assurer une fonction

de lentille électromagnétique pour une antenne (2) reconfigurable à réseau transmetteur, fabriqué par une découpe d'une structure (1) selon l'une des revendications 1 à 12, le circuit intégré (IC) comportant :

- une portion de la première plaquette (W1), comprenant des premiers composants actifs (C1) configurés pour introduire un déphasage, et présentant des première et seconde surfaces (W10, W11) opposées ;
 - une partie de la première couche métallique (M1), formée sur la première surface (W10) de la portion de la première plaquette (W1) ;
 - une partie de la première structure d'interconnexions (3), formée sur la seconde surface (W11) de la portion de la première plaquette (W1), et électriquement connectée aux premiers composants actifs (C1) ; la partie de la première structure d'interconnexions (3) comprenant des premières lignes de polarisation (30) agencées pour polariser les premiers composants actifs (C1) ;
 - une partie de l'ensemble de premières antennes planaires (A1), formée sur la partie de la première structure d'interconnexions (3) ;
 - une portion de la deuxième plaquette (W2), présentant des première et seconde surfaces (W20, W21) opposées ;
 - une partie de la deuxième couche métallique (M2), formée sur la première surface (W20) de la portion de la deuxième plaquette (W2) ;
 - une partie de l'ensemble de deuxièmes antennes planaires (A2), formée sur la seconde surface (W21) de la portion de la deuxième plaquette (W2) ;
- les portions des première et deuxième plaquettes (W1, W2) étant assemblées par l'intermédiaire des parties des première et deuxième couches métalliques (M1, M2) de sorte que les parties des ensembles des premières et deuxièmes antennes planaires (A1, A2) sont alignées, les parties des première et deuxième couches métalliques (M1, M2) formant un plan de masse (PM), le circuit intégré (IC) comportant une pluralité de cellules élémentaires (CE), comprenant chacune une première antenne planaire (A1) et une deuxième antenne planaire (A2) lui faisant face, de manière à assurer une fonction de lentille électromagnétique.

14. Antenne (2) reconfigurable à réseau transmetteur, comportant :

- une carte de circuit imprimé (5), présentant des première et seconde surfaces (50, 51) opposées ;
- au moins un circuit intégré (IC) selon la reven-

dication 13, formé sur la première surface (50) de la carte de circuit imprimé (5) ;

- au moins un émetteur-récepteur (6), agencé pour émettre et recevoir une onde électromagnétique se propageant au sein de la carte de circuit imprimé (5) ;
- au moins une électronique de commande (60), configurée pour commander l'émetteur-récepteur (6) et les premiers composants actifs (C1) du circuit intégré (IC), et formée sur la seconde surface (51) de la carte de circuit imprimé (5).

15. Antenne (2) selon la revendication 14, dans laquelle le circuit intégré (IC) est fabriqué par une découpe d'une structure (1) selon la revendication 4, et l'électronique de commande (60) est configurée pour commander les deuxièmes composants actifs (C2) du circuit intégré (IC).

16. Antenne (2) selon la revendication 14 ou 15, comportant des antennes planaires additionnelles (A1') formées sur la première surface (50) de la carte de circuit imprimé (5), et faisant face aux cellules élémentaires (CE) du circuit intégré (IC).

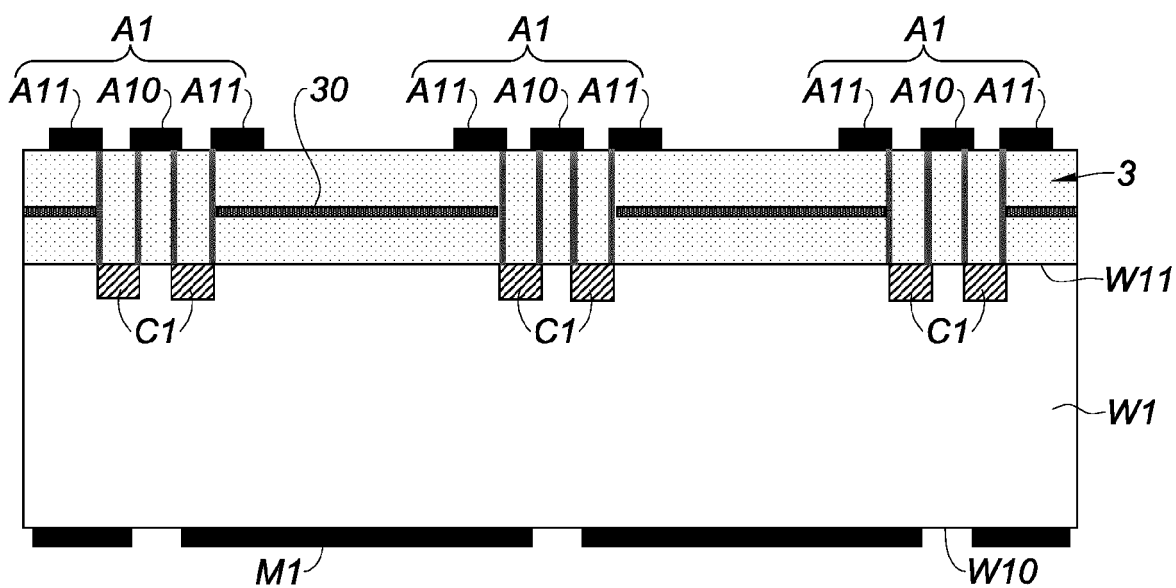


Fig. 1

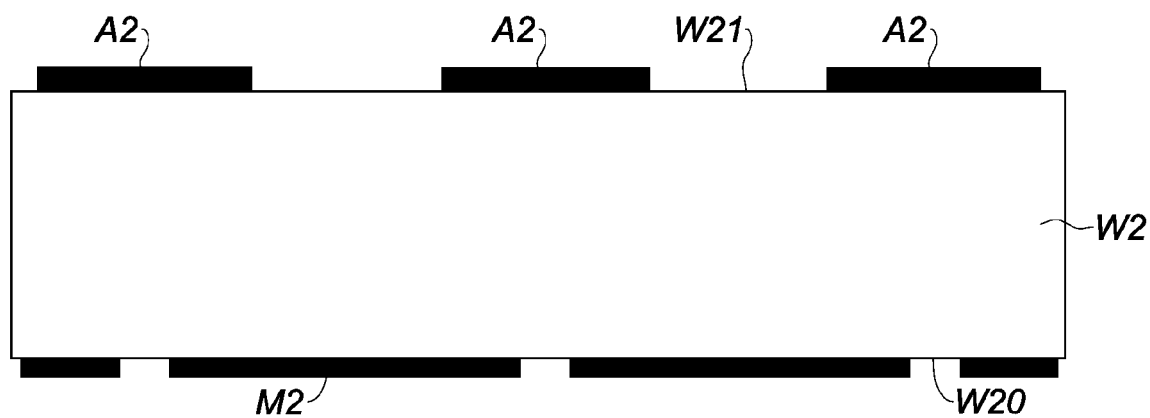


Fig. 2

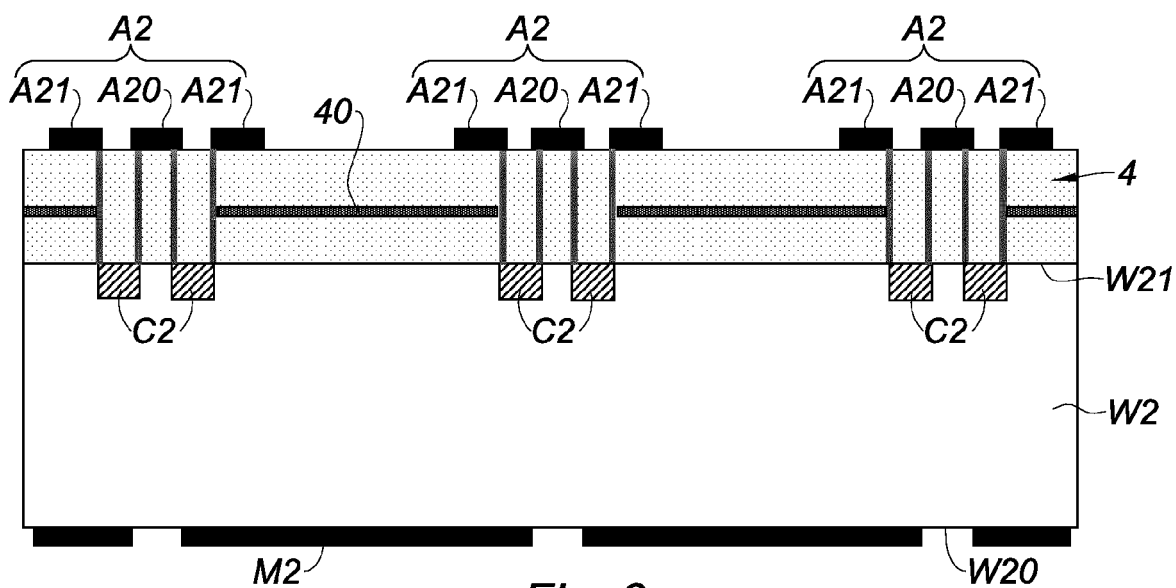


Fig. 3

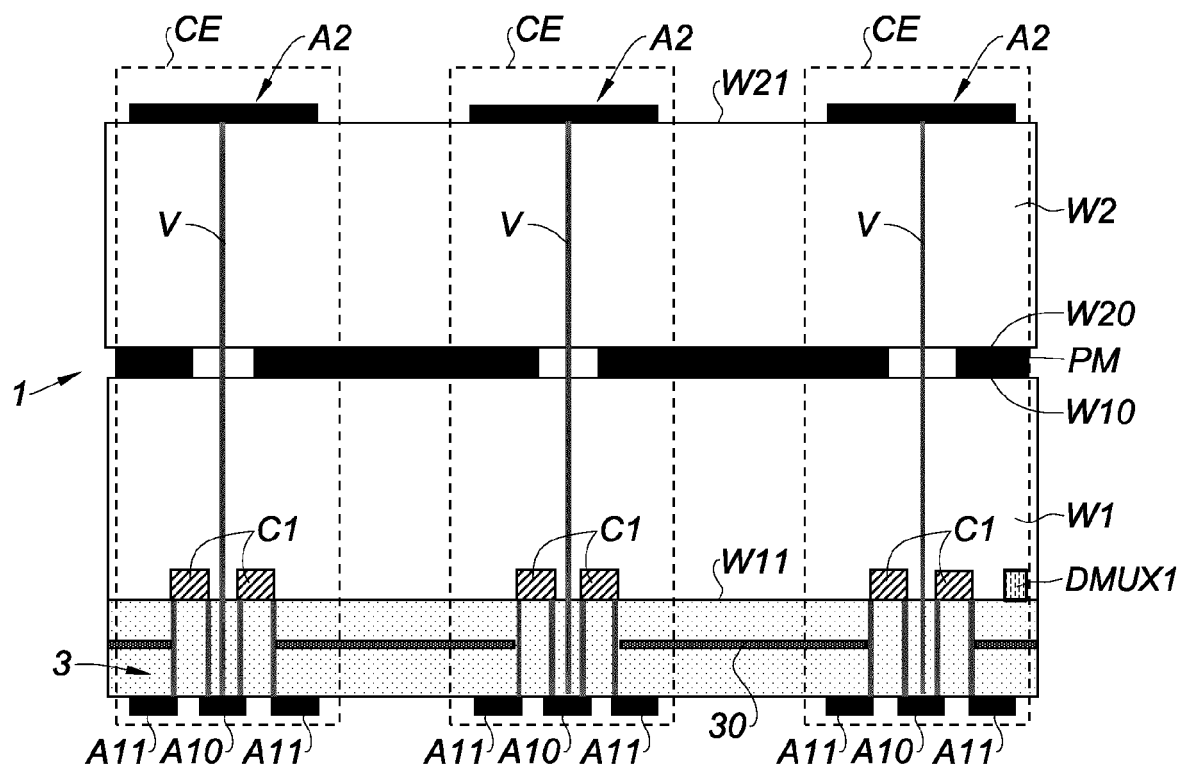


Fig. 4

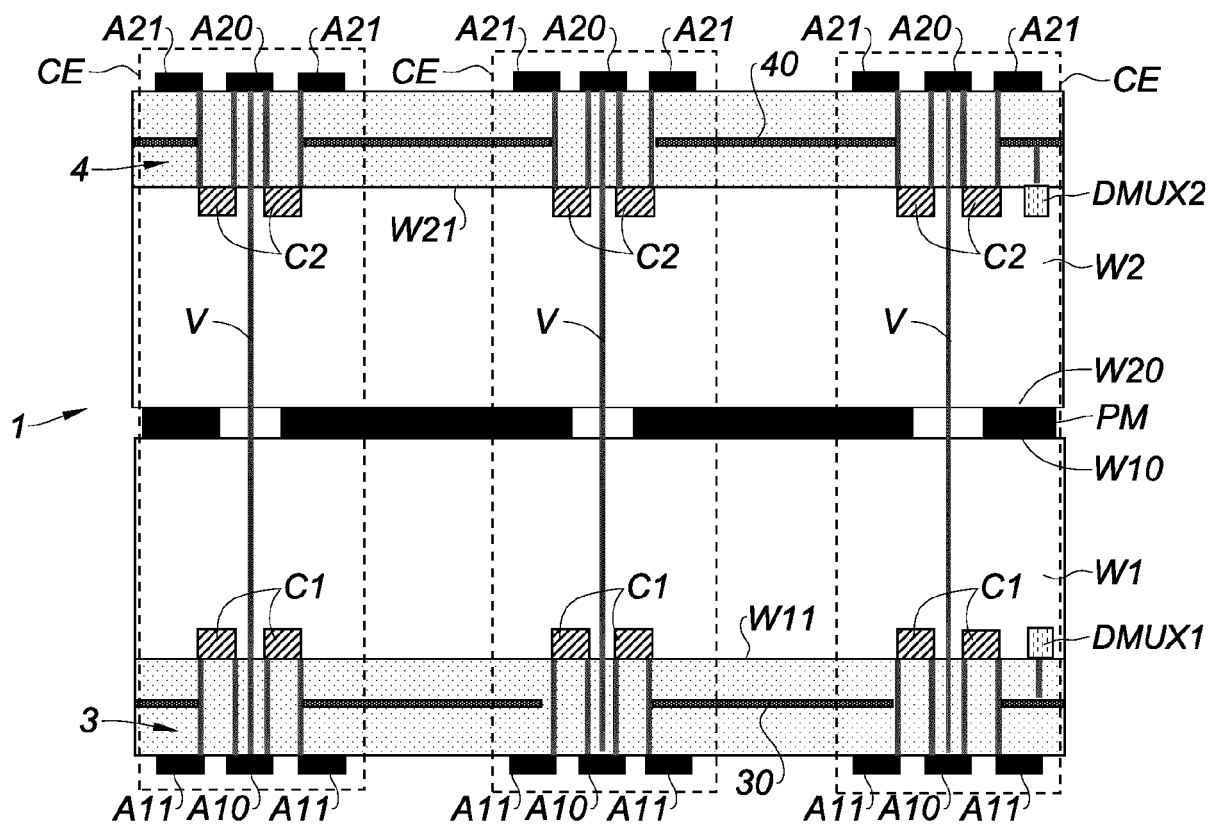


Fig. 5

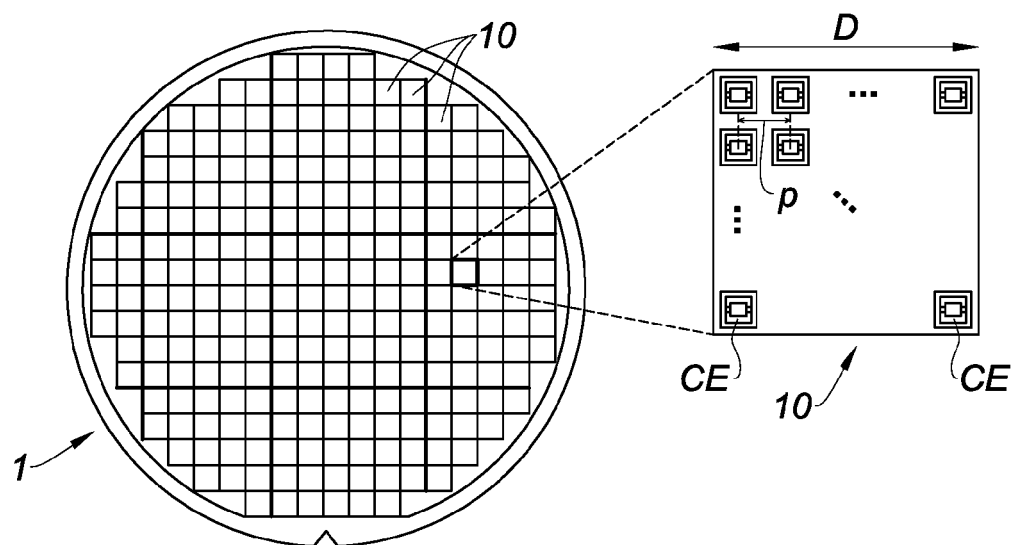


Fig. 6

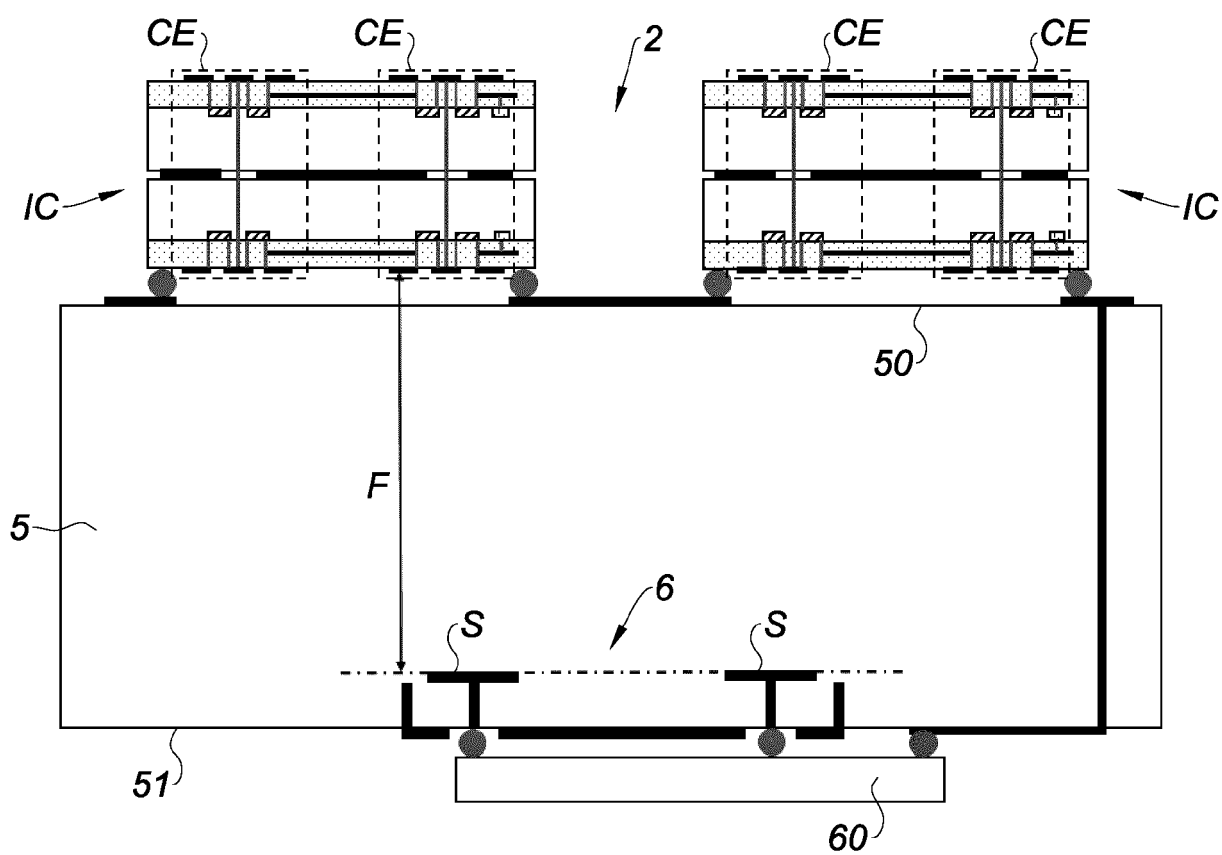


Fig. 7

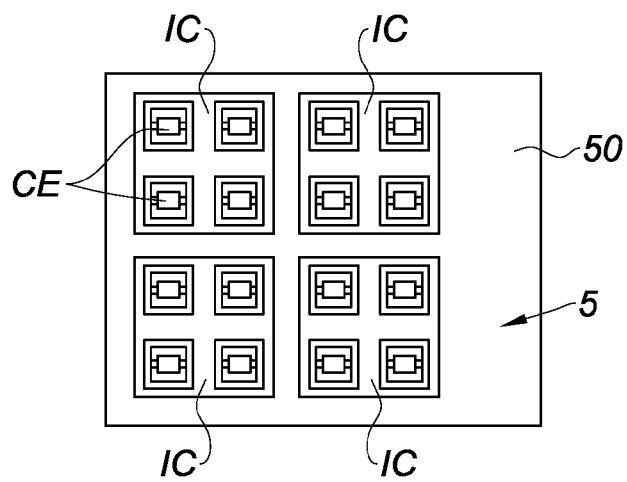


Fig. 8

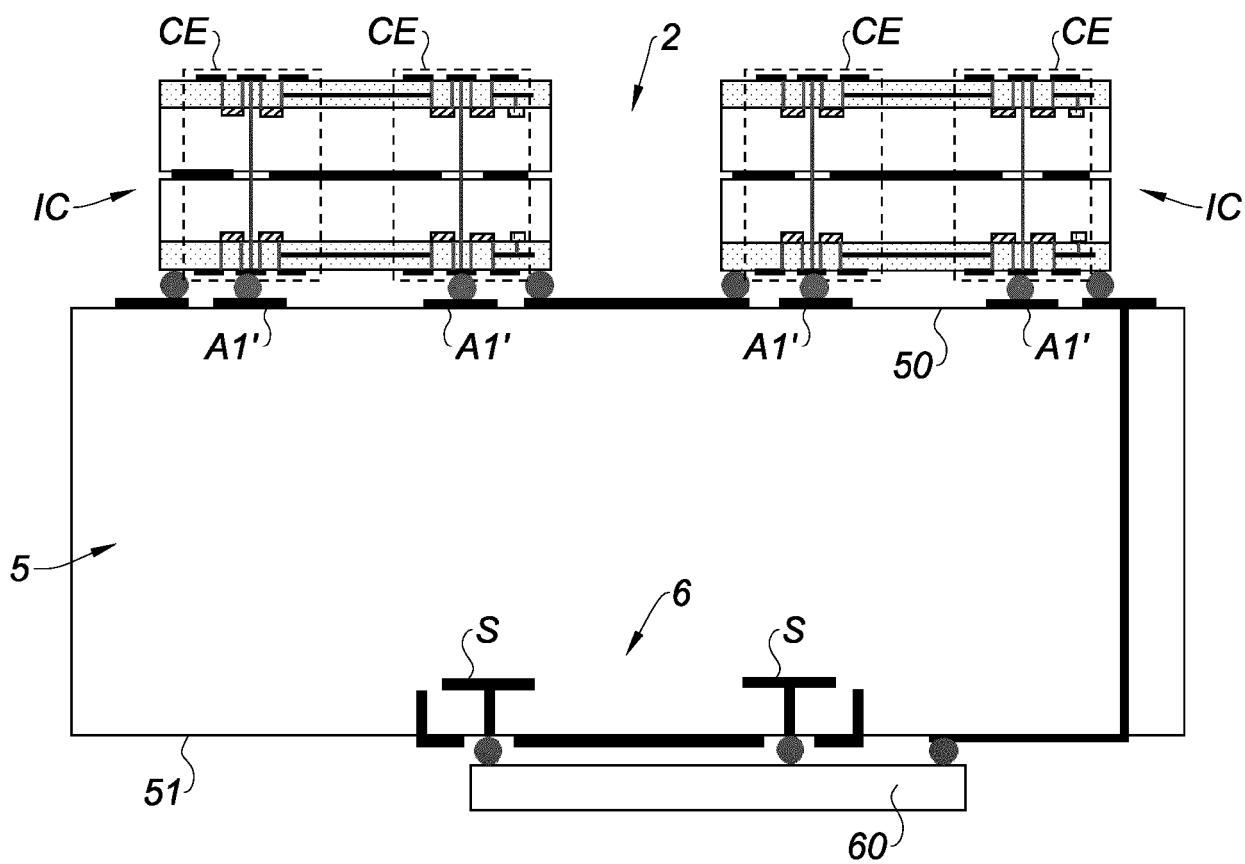


Fig. 9

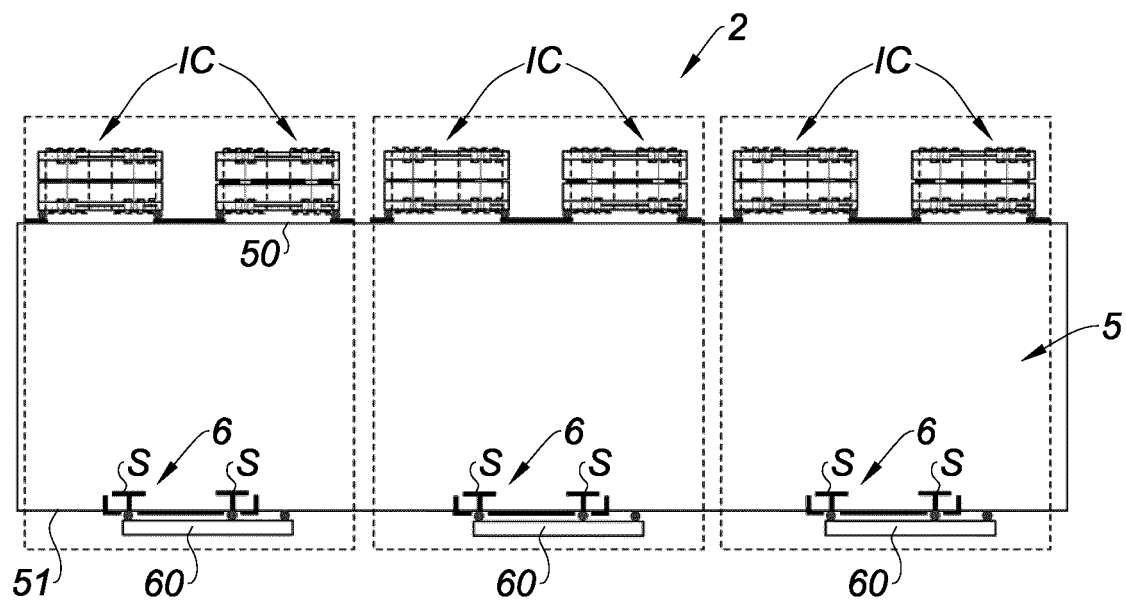


Fig. 10

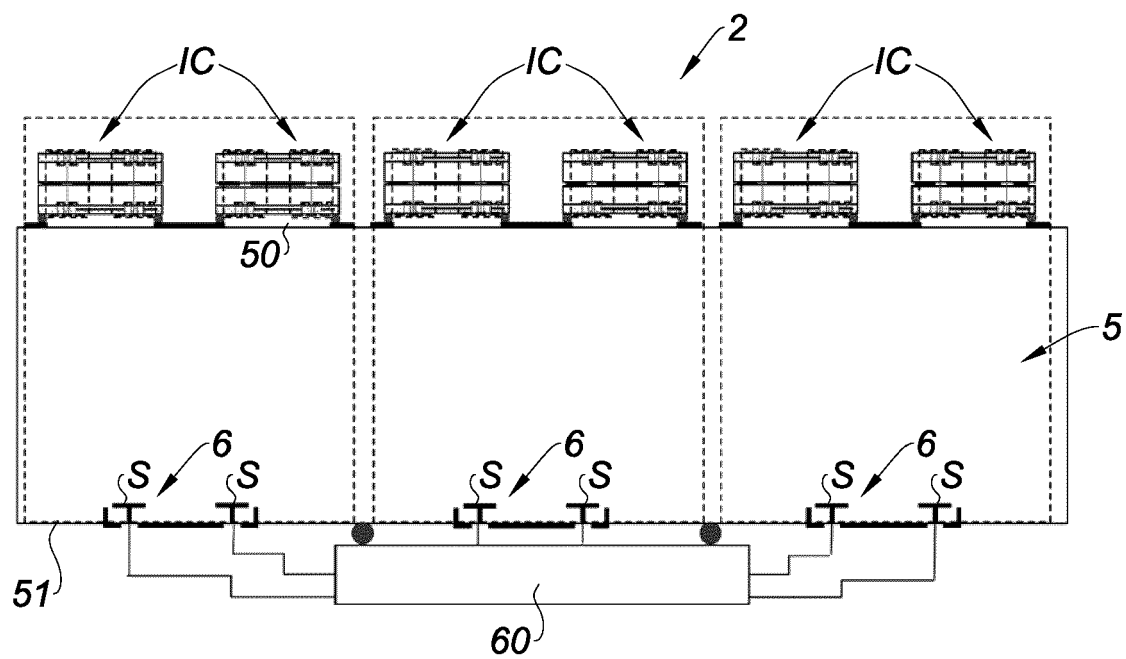


Fig. 11



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 20 21 3640

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 3 392 959 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 24 octobre 2018 (2018-10-24)	1-13	INV. H01Q1/22 H01Q1/48 H01Q3/34 H01Q3/46 H01Q21/00
Y	* alinéas [0001], [0003], [0004], [0008], [0012], [0022], [0028] - [0032], [0036], [0037] - [0039], [0041] - [0048], [0051] - [0055]; figures 1-3 *	14-16	
Y,D	j.a. zevallos luna: "Intégration d'antennes pour objets communicants aux fréquences millimétriques", UNIVERSITE DE GRENOBLE - THÈSE 4 mai 2016 (2016-05-04), pages 1-183, XP002800325, Extrait de l'Internet: URL:https://core.ac.uk/download/pdf/46807883.pdf [extrait le 2020-09-07] * chapitres 5 et 6; figures 5.10, 5.24(c), 5.14(b), 6.1 *	14-16	
X	EP 3 125 362 A1 (COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR]) 1 février 2017 (2017-02-01) * alinéas [0001], [0005] - [0009], [0014] - [0034], [0046] - [0064]; figures 1-9 *	1-3,7,8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 30 avril 2021	Examineur Wattiaux, Véronique
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 20 21 3640

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

30-04-2021

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3392959 A1	24-10-2018	EP 3392959 A1	24-10-2018
		FR 3065329 A1	19-10-2018
		US 2018301807 A1	18-10-2018
EP 3125362 A1	01-02-2017	EP 3125362 A1	01-02-2017
		FR 3039711 A1	03-02-2017
		US 2017033462 A1	02-02-2017

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82