



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
03.05.2023 Bulletin 2023/18

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01Q 3/44 (2006.01) **H01Q 3/46** (2006.01)
H01Q 9/04 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22202095.0**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01Q 3/46; H01Q 3/44; H01Q 9/0414

(22) Date de dépôt: **18.10.2022**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **GHARBIEH, Samara**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
• **CLEMENTE, Antonio**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)
• **REIG, Bruno**
38054 Grenoble Cedex 09 (FR)

(30) Priorité: **26.10.2021 FR 2111361**

(74) Mandataire: **Cabinet Beaumont**
4, Place Robert Schuman
B.P. 1529
38025 Grenoble Cedex 1 (FR)

(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)

(54) **CELLULE D'ANTENNE À RÉSEAU TRANSMETTEUR OU RÉFLECTEUR**

(57) La présente description concerne une cellule (105) de réseau transmetteur ou de réseau réflecteur, comprenant au moins deux commutateurs en matériau à changement de phase.

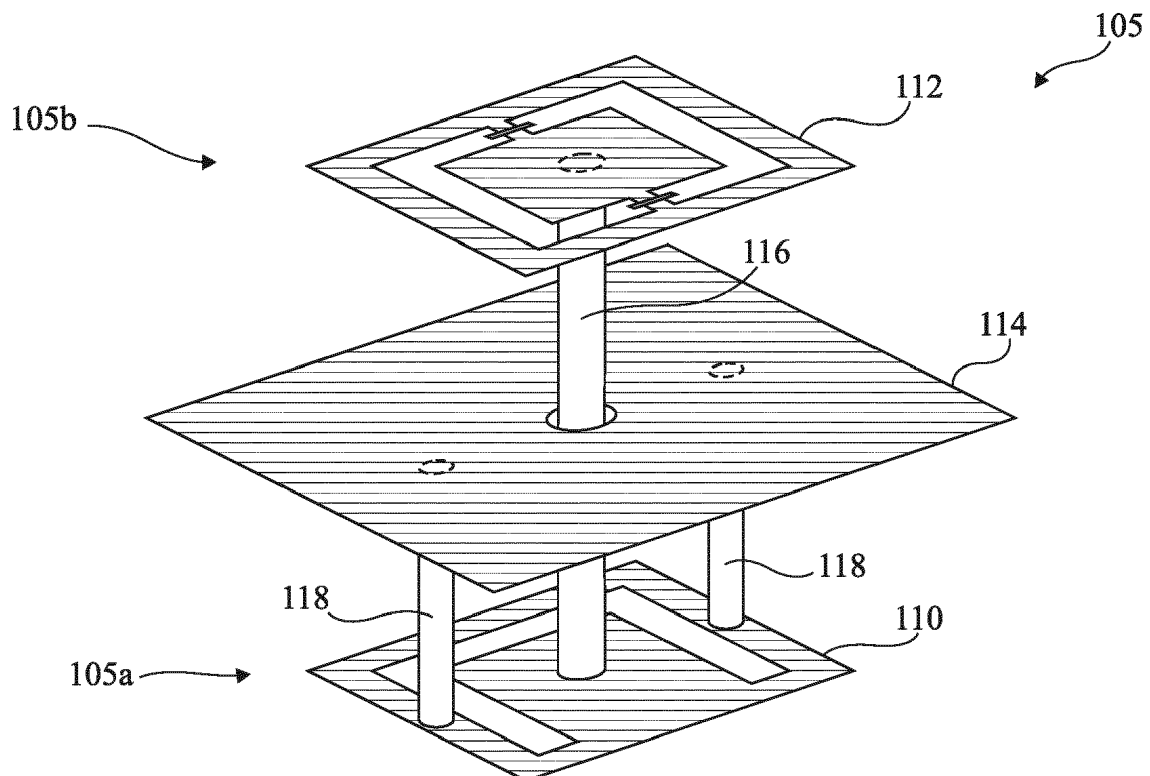


Fig 2

Description

Domaine technique

[0001] La présente description concerne de façon générale les dispositifs électroniques. La présente demande concerne plus particulièrement le domaine des antennes radio à réseau transmetteur ("transmitarray antenna", en anglais) et des antennes radio à réseau réflecteur ("reflectarray antenna", en anglais).

Technique antérieure

[0002] Parmi les différentes technologies d'antennes de communication radio existantes, on connaît notamment des antennes radio dites "à réseau transmetteur". Ces antennes comprennent généralement plusieurs cellules élémentaires comportant chacune un premier élément d'antenne irradié par un champ électromagnétique émis par une ou plusieurs sources, un deuxième élément d'antenne transmettant un signal modifié vers l'extérieur de l'antenne et un élément de couplage entre les premier et deuxième éléments d'antenne.

[0003] On connaît en outre des antennes radio dites "à réseau réflecteur". Ces antennes comprennent généralement plusieurs cellules élémentaires comportant chacune un élément d'antenne irradié par un champ électromagnétique émis par une ou plusieurs sources, un élément réflecteur, par exemple un plan de masse, réfléchissant un signal modifié vers l'extérieur de l'antenne et un élément de couplage entre l'élément d'antenne et l'élément réflecteur. À la différence des cellules élémentaires des antennes à réseau transmetteur, qui transmettent un signal radio dans une direction opposée à la ou aux sources irradiant leur premier élément d'antenne, les cellules élémentaires des antennes à réseau réflecteur réfléchissent un signal radio en direction de la ou des sources irradiant leur élément d'antenne.

[0004] Pour des applications, par exemple telles que la communication satellite ("satellite communication" ou "SatCom", en anglais), il serait souhaitable de disposer d'antennes à réseau transmetteur et d'antennes à réseau réflecteur reconfigurables permettant de modifier, de façon dynamique, la phase de l'onde rayonnée.

Résumé de l'invention

[0005] Il existe un besoin d'améliorer les antennes à réseau transmetteur et les antennes à réseau réflecteur existantes.

[0006] Un mode de réalisation pallie tout ou partie des inconvénients des antennes à réseau transmetteur et des antennes à réseau réflecteur connues. Un objet d'un mode de réalisation est plus particulièrement de permettre un contrôle électronique de phase dans une plage de fréquences comprises par exemple entre 50 et 350 GHz, correspondant à des longueurs d'ondes millimétriques, et de disposer de commutateurs dont la polarisation en-

traîne une consommation électrique réduite.

[0007] Un mode de réalisation prévoit une cellule de réseau transmetteur ou de réseau réflecteur, comprenant au moins deux commutateurs en matériau à changement de phase.

[0008] Selon un mode de réalisation, ledit matériau à changement de phase est un matériau chalcogénure.

[0009] Selon un mode de réalisation, chaque commutateur en matériau à changement de phase comprend une région en ledit matériau à changement de phase située sur et en contact avec des première et deuxième régions conductrices disjointes d'une antenne à plaque.

[0010] Selon un mode de réalisation, chaque commutateur en matériau à changement de phase comprend en outre un élément chauffant électriquement isolé de la région en ledit matériau à changement de phase.

[0011] Selon un mode de réalisation, les commutateurs en matériau à changement de phase font partie d'un premier élément d'antenne adapté à commuter un signal radiofréquence entre au moins deux états de phase.

[0012] Selon un mode de réalisation, le premier élément d'antenne comprend exactement deux commutateurs en matériau à changement de phase et un plan conducteur présentant une ouverture de forme annulaire, isolant électriquement une région centrale du plan conducteur d'une région périphérique du plan conducteur, chaque commutateur en matériau à changement de phase reliant la région centrale à la région périphérique du plan conducteur.

[0013] Selon un mode de réalisation, la cellule comprend en outre un deuxième élément d'antenne connecté au premier élément d'antenne par un via conducteur central, un plan de masse intercalé entre les premier et deuxième éléments d'antenne et électriquement isolé du via conducteur central, le plan de masse étant connecté au deuxième élément d'antenne par deux vias conducteurs latéraux.

[0014] Un mode de réalisation prévoit un réseau transmetteur comprenant une pluralité de cellules telles que décrites.

[0015] Selon un mode de réalisation, le premier élément d'antenne comprend exactement deux commutateurs en matériau à changement de phase et un cadre conducteur plan à l'intérieur duquel sont situées des première et deuxième régions conductrices disjointes, l'un des deux commutateurs reliant la deuxième région conductrice au cadre conducteur plan et l'autre commutateur reliant les première et deuxième régions conductrices entre elles.

[0016] Selon un mode de réalisation, la première région conductrice est connectée au cadre conducteur plan par une ligne à retard.

[0017] Selon un mode de réalisation, la cellule comprend en outre un élément réflecteur connecté au premier élément d'antenne par un via conducteur central.

[0018] Un mode de réalisation prévoit un réseau réflecteur comprenant une pluralité de cellules telles que

décrites.

[0019] Un mode de réalisation prévoit une antenne comprenant un réseau transmetteur tel que décrit ou un réseau réflecteur tel que décrit et au moins une source configurée pour irradier une face du réseau.

Brève description des dessins

[0020] Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 est une vue de côté, schématique et partielle, d'un exemple d'antenne à réseau transmetteur du type auquel s'appliquent, à titre d'exemple, des modes de réalisation décrits ;

la figure 2 est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une cellule élémentaire du réseau transmetteur de l'antenne de la figure 1 selon un mode de réalisation ;

la figure 3 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'un premier élément d'antenne de la cellule élémentaire de la figure 2 ;

la figure 4 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'une partie de la cellule élémentaire de la figure 2 ;

la figure 5 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'un deuxième élément d'antenne de la cellule élémentaire de la figure 2 ;

la figure 6 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'un élément de commutation du deuxième élément d'antenne de la figure 5 ;

la figure 7 est une vue en coupe, selon le plan AA de la figure 6, du commutateur du deuxième élément d'antenne de la figure 5 ;

la figure 8 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'un réseau d'interconnexion associé au deuxième élément d'antenne de la figure 5 ;

la figure 9 est une vue de dessus, schématique et partielle, illustrant une variante de réalisation du deuxième élément d'antenne de la figure 5 et du réseau d'interconnexion de la figure 8 ;

la figure 10 est une vue de côté, schématique et partielle, d'un exemple d'antenne à réseau réflecteur du type auquel s'appliquent, à titre d'exemple, des modes de réalisation décrits ;

la figure 11 est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une cellule élémentaire du réseau réflecteur de l'antenne de la figure 10 selon un mode de réalisation ;

la figure 12 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'un élément d'antenne de la cellule élémentaire de la figure 11 ;

la figure 13 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'une partie de la cellule élémentaire de la figure 11 ;

la figure 14 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'une autre partie de la cellule élémentaire de la figure 11 ;

la figure 15 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'encore une autre partie de la cellule élémentaire de la figure 11 ; et

la figure 16 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'un élément réflecteur de la cellule élémentaire de la figure 11.

Description des modes de réalisation

[0021] De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.

[0022] Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, on va décrire ci-après des modes de réalisation d'une cellule pour antenne à réseau transmetteur et des modes de réalisation d'une cellule pour antenne à réseau réflecteur. La structure et le fonctionnement de la ou des sources primaires de l'antenne, destinées à irradier le réseau transmetteur ou le réseau réflecteur, ne seront toutefois pas détaillées, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec toutes ou la plupart des sources primaires d'irradiation pour antenne à réseau transmetteur ou à réseau réflecteur connues. À titre d'exemple, chaque source primaire est adaptée à produire un faisceau de forme générale conique irradiant tout ou partie du réseau transmetteur ou du réseau réflecteur. Chaque source primaire comprend par exemple une antenne cornet. À titre d'exemple, l'axe central de chaque source primaire est sensiblement orthogonal au plan moyen du réseau.

[0023] Par ailleurs, les procédés de fabrication des réseaux transmetteur et des réseaux réflecteurs décrits ne seront pas détaillés, la réalisation des structures décrites étant à la portée de la personne du métier à partir des indications de la présente description.

[0024] Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments reliés (en anglais "coupled") entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.

[0025] Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence sauf précision contraire à l'orientation des figures.

[0026] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.

[0027] La figure 1 est une vue de côté, schématique et partielle, d'un exemple d'antenne 100 à réseau transmetteur du type auquel s'appliquent, à titre d'exemple, des modes de réalisation décrits.

[0028] L'antenne 100 comprend typiquement une ou plusieurs sources primaires 101 (une unique source 101, dans l'exemple représenté) irradiant un réseau transmetteur 103. La source 101 peut présenter une polarisation quelconque, par exemple linéaire ou circulaire. Le réseau 103 comprend une pluralité de cellules élémentaires 105, par exemple disposées en matrice selon des lignes et des colonnes. Chaque cellule 105 comprend typiquement un premier élément d'antenne 105a, situé du côté d'une première face du réseau 103 disposée en regard de la source primaire 101, et un deuxième élément d'antenne 105b, situé du côté d'une deuxième face du réseau 103 opposée à la première face. La deuxième face du réseau 103 est par exemple tournée vers un milieu d'émission de l'antenne 100.

[0029] Chaque cellule 105 est apte, en émission, à recevoir un rayonnement électromagnétique sur son premier élément d'antenne 105a et à réémettre ce rayonnement depuis son deuxième élément d'antenne 105b, par exemple en introduisant un déphasage ϕ connu. En réception, chaque cellule 105 est apte à recevoir un rayonnement électromagnétique sur son deuxième élément d'antenne 105b et à réémettre ce rayonnement depuis son premier élément d'antenne 105a, en direction de la source 101, avec le même déphasage ϕ . Le rayonnement réémis par le premier élément d'antenne 105a est par exemple focalisé sur la source 101.

[0030] Les caractéristiques du faisceau produit par l'antenne 100, notamment sa forme (ou gabarit) et sa direction d'émission maximale (ou direction de pointage), dépendent des valeurs des déphasages respectivement introduits par les différentes cellules 105 du réseau 103.

[0031] Les antennes à réseau transmetteur ont pour avantages, entre autres, de présenter une bonne efficacité énergétique et d'être relativement simples, peu oné-

reuses et peu encombrantes. Cela provient notamment du fait que les réseaux transmetteurs sont réalisables en technologie planaire, généralement sur circuit imprimé.

[0032] On s'intéresse ici plus particulièrement aux antennes à réseau transmetteur 103 reconfigurable. Le réseau transmetteur 103 est dit reconfigurable lorsque les cellules élémentaires 105 sont commandables électriquement de façon individuelle pour modifier leur valeur de déphasage ϕ , ce qui permet de modifier dynamiquement les caractéristiques du faisceau généré par l'antenne, et notamment de modifier sa direction de pointage sans déplacer mécaniquement l'antenne ou une partie de l'antenne au moyen d'un élément motorisé.

[0033] La figure 2 est une vue en perspective, schématique et partielle, de l'une des cellules élémentaires 105 du réseau transmetteur 103 de l'antenne 100 de la figure 1 selon un mode de réalisation.

[0034] Selon ce mode de réalisation, le premier élément d'antenne 105a de la cellule élémentaire 105 comprend une antenne à plaque 110 ("patch antenna", en anglais) adaptée à capter le rayonnement électromagnétique émis par la source 101 et le deuxième élément d'antenne 105b comprend une autre antenne à plaque 112 adaptée à émettre, vers l'extérieur de l'antenne 100, un signal déphasé. Dans l'exemple représenté, la cellule élémentaire 105 comprend en outre un plan de masse 114 intercalé entre les antennes à plaque 110 et 112.

[0035] L'antenne 110, le plan de masse 114 et l'antenne 112 sont par exemple respectivement formés dans trois niveaux de métallisation successifs, superposés et séparés les uns des autres par des couches diélectriques, par exemple en quartz. À titre d'exemple, le plan de masse 114 est séparé de chacune des antennes 110 et 112 par une épaisseur de matériau diélectrique de l'ordre de 200 μm .

[0036] Dans l'exemple représenté, un via conducteur central 116 connecte l'antenne 110 à l'antenne 112. Plus précisément, dans l'orientation de la figure 2, le via 116 présente une extrémité inférieure en contact avec une face supérieure de l'antenne 110 et une extrémité supérieure en contact avec une face inférieure de l'antenne 112. Le via conducteur central 116 est isolé électriquement du plan de masse 114. Dans l'exemple représenté, le plan de masse 114 présente un orifice permettant au via 116 de traverser le plan de masse 114 sans le contacter. À titre d'exemple, le via conducteur central 116 présente un diamètre égal à environ 80 μm .

[0037] En outre, dans cet exemple, des vias conducteurs latéraux 118, situés de part et d'autre du via conducteur central 116, contactent l'antenne 110 au plan de masse 114. Plus précisément, dans l'orientation de la figure 2, chaque via 118 présente une extrémité inférieure en contact avec la face supérieure de l'antenne 110 et une extrémité supérieure en contact avec une face inférieure du plan de masse 114.

[0038] La figure 3 est une vue de dessus, schématique et partielle, du premier élément d'antenne 105a de la cellule élémentaire 105 de la figure 2. La figure 3 illustre

plus précisément l'antenne à plaque 110 de la cellule élémentaire 105.

[0039] Dans l'exemple représenté, l'antenne à plaque 110 comporte un plan conducteur 120 de forme sensiblement carrée à l'intérieur duquel est formée une fente 122, ou rainure, en forme de U. La fente 122 est par exemple sensiblement centrée par rapport au plan conducteur 120. Dans cet exemple, le via conducteur central 116 contacte une zone du plan conducteur 120 située entre les deux branches du U formé par la fente 122. Le via 116 est par exemple connecté sensiblement au centre du plan conducteur 120.

[0040] En outre, dans l'exemple illustré en figure 3, les vias conducteurs latéraux 118 sont situés de part et d'autre de la fente 122. Plus précisément, chaque via 118 est par exemple connecté à une zone du plan conducteur 120 située à l'extérieur du U formé par la fente 122 et le long de l'une des branches verticales du U. Dit autrement, dans cet exemple, la zone du plan conducteur 120 où est connecté chaque via latéral 118 est séparée de la zone du plan conducteur 120 où est connecté le via central 116 par l'une des branches verticales du U formé par la fente 122.

[0041] À titre d'exemple, le carré formé par le plan conducteur 120 présente un côté de l'ordre de 0,44 mm, les branches verticales et la branche horizontale du U formé par la fente 122 présentent chacune une longueur de l'ordre de 0,32 mm, et la fente 122 présente une largeur égale à environ 50 μm .

[0042] La figure 4 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'une partie de la cellule élémentaire 105 de la figure 2. La figure 4 illustre plus précisément le plan de masse 114 situé entre les premier et deuxième éléments d'antenne 105a, 105b.

[0043] Dans l'exemple représenté, le plan de masse 114 comporte un plan conducteur 130 de forme sensiblement carrée. Dans cet exemple, le via conducteur central 116 traverse le plan de masse 114 approximativement en son centre. Le via 116 est isolé du plan conducteur 130 par une ouverture 132 annulaire, ou en forme de couronne, formée dans le plan conducteur 130 autour du via 116. À titre d'exemple, le carré formé par le plan conducteur 130 présente un côté de l'ordre de 1 mm.

[0044] Dans cet exemple, le côté du carré formé par le plan conducteur 130 définit sensiblement les dimensions externes de la cellule élémentaire 105 du réseau transmetteur 103.

[0045] Le plan de masse 114 est adapté à former un blindage électromagnétique entre l'antenne 110 et l'antenne 112 de la cellule 105.

[0046] Dans l'exemple illustré en figure 4, les vias conducteurs latéraux 118 contactent la face inférieure du plan conducteur 130 dans des zones diamétralement opposées par rapport au via conducteur central 116. Dans cet exemple, les vias 116 et 118 sont situés sur une même droite parallèle à l'un des côtés du plan conducteur 130. En outre, les vias 118 sont équidistants du via 116.

[0047] La figure 5 est une vue de dessus, schématique

et partielle, du deuxième élément d'antenne 105b de la cellule élémentaire 105 de la figure 2. La figure 5 illustre plus précisément l'antenne à plaque 112 de la cellule élémentaire 105.

[0048] Selon un mode de réalisation, l'antenne 112 comporte un plan conducteur 140 à quatre côtés. Le plan conducteur 140 est par exemple plus précisément de forme rectangulaire ou, comme dans l'exemple illustré en figure 5, de forme sensiblement carrée.

[0049] Selon ce mode de réalisation, le plan conducteur 140 comporte une ouverture 142 séparant une région centrale 140C du plan conducteur 140 d'une région périphérique 140P du plan conducteur 140. Dans cet exemple, l'ouverture 142 présente une forme sensiblement annulaire, par exemple une forme annulaire rectangulaire ou carrée.

[0050] Dans l'exemple représenté, le via conducteur central 116 contacte la région centrale 140C du plan conducteur 140. Plus précisément, dans cet exemple, l'extrémité supérieure du via 116 est connectée sensiblement au centre d'une face inférieure de la région 140C. La région centrale 140C du plan conducteur 140, délimitée latéralement par l'ouverture annulaire 142, constitue par exemple une borne d'entrée de l'antenne 112.

[0051] L'antenne 112 comporte en outre un premier élément de commutation C1 et un deuxième élément de commutation C2 reliant chacun la région centrale 140C à la région périphérique 140P du plan conducteur 140. Plus précisément, dans l'exemple illustré en figure 5, les premier et deuxième éléments de commutation C1, C2 contactent la région périphérique 140P dans des zones diamétralement opposées par rapport au via conducteur central 116. Dans cet exemple, les éléments de commutation C1, C2 et le via conducteur 116 sont situés sur une même droite parallèle à l'un des côtés du plan conducteur 140. Dans cet exemple, le commutateur C1 est situé sensiblement à la verticale de la branche horizontale du U formé par la fente 122.

[0052] Les éléments de commutation C1 et C2 sont commandés en opposition, c'est-à-dire de sorte que, si l'un des commutateurs C1, C2 est passant, l'autre commutateur C2, C1 soit bloqué. Cela permet au deuxième élément d'antenne 105b de la cellule élémentaire 105 de commuter entre deux états de phase ϕ , sensiblement égaux à 0° et à 180° dans cet exemple. Les états de phase 0° et 180° correspondent respectivement au cas où le commutateur C1 est bloqué tandis que le commutateur C2 est passant, et au cas où le commutateur C1 est passant tandis que le commutateur C2 est bloqué.

[0053] À titre d'exemple, le carré formé par le plan conducteur 140 présente un côté de l'ordre de 0,44 mm, les côtés de l'ouverture annulaire carrée 142 présentent chacun une longueur de l'ordre de 0,32 mm, et l'ouverture 142 présente une largeur égale à environ 50 μm .

[0054] Les figures 6 et 7 sont des vues respectivement de dessus et en coupe selon le plan AA de la figure 6, schématiques et partielles, de l'élément de commutation C1 du deuxième élément d'antenne 105b de la figure 5.

[0055] Selon un mode de réalisation, l'élément de commutation C1, ou commutateur, est à base de matériau à changement de phase. Les matériaux à changement de phase sont des matériaux qui peuvent commuter, sous l'effet de la chaleur, entre une phase cristalline et une phase amorphe, la phase amorphe présentant une résistance électrique supérieure à celle de la phase cristalline. On peut notamment tirer profit de ce phénomène pour réaliser, comme dans le cas du deuxième élément d'antenne 105b, des commutateurs présentant des états bloqué (phase amorphe) et passant (phase cristalline) différenciés par une résistance à travers le matériau à changement de phase.

[0056] Dans l'exemple illustré en figure 7, une région 160 continue en un matériau à changement de phase est située sur et en contact avec les faces supérieures des régions centrale 140C et périphérique 140P du plan conducteur 140. Dans cet exemple, les régions 140C et 140P sont disjointes et séparées l'une de l'autre par une distance D1 d'environ 1 μm .

[0057] Dans l'exemple représenté, une région électriquement isolante 162, par exemple en dioxyde de silicium, sépare latéralement la région centrale 140C de la région périphérique 140P du plan conducteur 140. La région 162 présente par exemple une épaisseur sensiblement égale à celle du plan conducteur 140, par exemple égale à environ 0,6 μm , et s'étend latéralement entre les régions 140C et 140P. Bien que cela n'ait pas été représenté en figure 7, d'autres régions électriquement isolantes coplanaires à la région 162 peuvent en outre s'étendre latéralement entre les régions 140C et 140P ainsi qu'à l'extérieur de la région 140P. À titre d'exemple, les régions 140C et 140P peuvent en pratique être formées dans une même couche électriquement conductrice.

[0058] La région 160 en matériau à changement de phase revêt intégralement la face supérieure de la région électriquement isolante 162 et s'étend latéralement sur et en contact avec des parties des faces supérieures des régions 140C et 140P jouxtant la région 162. La région 160 présente par exemple, vue de dessus, une forme sensiblement rectangulaire de largeur D2 (figure 7) égale à environ 3 μm et de longueur D3 (figure 6) égale à environ 20 μm .

[0059] À titre d'exemple, la région 160 est en un matériau dit "chalcogénure", c'est-à-dire un matériau ou un alliage comprenant au moins un élément chalcogène, par exemple un matériau de la famille du tellure de germanium (GeTe) ou du germanium-antimoine-tellure (GeSbTe, également désigné par l'acronyme "GST").

[0060] Dans l'exemple représenté, la face supérieure et les faces latérales de la couche 160, ainsi que des parties des régions 140C et 140P non revêtues par la couche 160, sont revêtues d'une couche 164 électriquement isolante, par exemple en nitrure de silicium. À titre d'exemple, la couche 164 présente une épaisseur égale à environ 0,4 μm .

[0061] Dans l'exemple représenté, le commutateur C1

comporte en outre un élément chauffant 166 ("heater", en anglais) situé sur et en contact avec la couche 164 électriquement isolante, au-dessus de la couche 160 en matériau à changement de phase. L'élément chauffant 166 est ainsi électriquement isolé de la couche 160. L'élément chauffant 166 présente par exemple, vu de dessus, une forme sensiblement rectangulaire, de longueur D4 égale à environ 37 μm , centrée par rapport au rectangle formé par la région 160 en matériau à changement de phase. À titre d'exemple, l'élément chauffant 166 est en un métal, par exemple le tungstène.

[0062] L'élément chauffant 166 est par exemple destiné à être parcouru par un courant électrique permettant d'échauffer, par effet Joule, le matériau à changement de phase de la région 160. Un tel mode de chauffage est qualifié d'indirect, par opposition à un chauffage direct dans lequel un courant électrique circulerait à l'intérieur de la région 160 afin de provoquer son échauffement.

[0063] Dans cet exemple, la face supérieure et les faces latérales de l'élément chauffant 166, ainsi que des parties de la couche 164 non revêtues par l'élément chauffant 166, sont revêtues d'une couche 168 électriquement isolante, par exemple en nitrure de silicium. À titre d'exemple, la couche 168 présente une épaisseur égale à environ 0,2 μm .

[0064] Les couches électriquement isolantes 168 et 164 n'ont pas été représentées en figure 6 afin de ne pas surcharger le dessin.

[0065] En vue de dessus, les régions 140C et 140P du plan conducteur 140 forment conjointement, au voisinage de l'élément chauffant 166 du commutateur C1, une structure en H dont la partie horizontale présente une largeur D5 égale à environ 30 μm et dont les deux branches verticales sont séparées l'une de l'autre par une distance D6 égale à environ 50 μm .

[0066] Pour faire basculer le commutateur C1 de l'état bloqué à l'état passant, on chauffe par exemple la région 160, à l'aide de l'élément chauffant 166, à une température T1 et pendant une durée d1. La température T1 et la durée d1 sont choisies de sorte à provoquer un changement de phase du matériau de la région 160 depuis la phase amorphe vers la phase cristalline. À titre d'exemple, la température T1 est supérieure à une température de cristallisation et inférieure à une température de fusion du matériau à changement de phase et la durée d1 est comprise entre 10 et 100 ns.

[0067] À l'inverse, pour faire basculer le commutateur C1 de l'état passant à l'état bloqué, on chauffe par exemple la région 160, à l'aide de l'élément chauffant 166, à une température T2, supérieure à la température T1, et pendant une durée d2, inférieure à la durée d1. La température T2 et la durée d2 sont choisies de sorte à provoquer un changement de phase du matériau de la région 160 depuis la phase cristalline vers la phase amorphe. À titre d'exemple, la température T2 est supérieure à la température de fusion du matériau à changement de phase et la durée d2 est de l'ordre de 10 ns.

[0068] Le commutateur C2 présente par exemple une

structure, des dimensions et un fonctionnement analogues à ce qui a été décrit précédemment en relation avec le commutateur C1.

[0069] En outre, bien que l'on ait décrit ci-dessus un commutateur C1 à chauffage indirect dans lequel l'élément chauffant 166 est électriquement isolé de la région 160 en matériau à changement de phase, on pourrait prévoir, à titre de variante, un commutateur C1 à chauffage indirect dans lequel l'élément chauffant 166 serait en contact avec la région 160, ou un commutateur C1 à chauffage direct dépourvu d'élément chauffant et dans lequel la région 160 serait traversée par un courant électrique permettant de provoquer son échauffement, ou encore un commutateur C1 dont les changements de phase seraient provoqués par une source lumineuse, par exemple une source laser éclairant la région 160 par l'intermédiaire d'une fibre optique.

[0070] La figure 8 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'un réseau d'interconnexion associé au deuxième élément d'antenne 105b de la figure 5.

[0071] Dans l'exemple représenté, l'élément chauffant 166 de chaque commutateur C1, C2 du deuxième élément d'antenne 105b comporte une première extrémité, ou borne, connectée à la région centrale 140C du plan conducteur 140 et une deuxième extrémité, ou borne, connectée à un nœud N1, N2 d'application d'un potentiel de polarisation Vpol1, Vpol2. Plus précisément, dans cet exemple, la première borne de chaque élément chauffant 166 est connectée, par un via conducteur 170, à une extrémité d'une piste conductrice 172, l'autre extrémité de la piste conductrice 172 étant connectée à la région 140C par un autre via conducteur 174. La deuxième borne de chaque élément chauffant 166 est connectée, par encore un autre via conducteur 176, à une extrémité d'une autre piste conductrice 178, l'autre extrémité de la piste conductrice 178 étant connectée au nœud N1 ou au nœud N2 correspondant. On peut prévoir que les nœuds N1 et N2 soient situés dans le niveau de métallisation du plan conducteur 140, les extrémités des pistes conductrices 178 étant alors par exemple connectées aux nœuds N1 et N2 par des vias conducteurs non représentés en figure 8.

[0072] À titre d'exemple, les pistes conductrices 170 et 178 sont formées sur et en contact avec la face supérieure d'une couche électriquement isolante (non représentée), par exemple une couche de dioxyde de silicium présentant une épaisseur environ égale à 3 μm , revêtant la face supérieure de la couche 168.

[0073] Les potentiels de polarisation Vpol1 et Vpol2 appliqués aux nœuds N1 et N2 permettent de commander le passage d'un courant électrique à travers les éléments chauffants 166 des commutateurs C1 et C2. En contrôlant l'intensité et la durée de circulation de ce courant, on peut par exemple ajuster les températures T1, T2 et les durées d1, d2 permettant de provoquer les changements de phase du matériau de la région 160 comme exposé précédemment.

[0074] La figure 9 est une vue de dessus, schématique

et partielle, illustrant une variante de réalisation du deuxième élément d'antenne 105b de la figure 5 et du réseau d'interconnexion de la figure 8. Dans cette variante, les pistes conductrices 172 et 178 et le plan conducteur 140 sont situés dans un même plan et les vias 174 sont omis. Les pistes 172 et 178 et le plan 140 sont par exemple formés dans un même niveau de métallisation. Les pistes conductrices 172 et 178 sont par exemple connectées aux extrémités des éléments chauffants 166 par des vias conducteurs non représentés en figure 9. Dans l'exemple représenté, la région périphérique 140P du plan conducteur 140 comporte deux ouvertures 180 permettant le passage des pistes conductrices 178 connectant les éléments chauffants 166 aux nœuds N1, N2 depuis l'intérieur de l'ouverture annulaire 142 vers l'extérieur de la région périphérique 140P. Dans cet exemple, les ouvertures 180 sont diamétralement opposées par rapport au via conducteur central 116.

[0075] Bien que cela n'ait pas été représenté en figures 8 et 9, les pistes conductrices 172 et/ou 178 peuvent comporter des filtres radiofréquence.

[0076] La figure 10 est une vue de côté, schématique et partielle, d'un exemple d'antenne 200 à réseau réflecteur du type auquel s'appliquent, à titre d'exemple, des modes de réalisation décrits.

[0077] L'antenne 200 comprend typiquement une ou plusieurs sources primaires 201 (une unique source 201, dans l'exemple représenté) irradiant un réseau réflecteur 203. La source 201 peut présenter une polarisation quelconque, par exemple linéaire ou circulaire. Le réseau 203 comprend une pluralité de cellules élémentaires 205, par exemple disposées en matrice selon des lignes et des colonnes. Chaque cellule 205 comprend typiquement un élément d'antenne 205a, situé du côté d'une première face du réseau 203 disposée en regard de la source primaire 201, et un élément réflecteur 205b, situé du côté d'une deuxième face du réseau opposée à la première face. La première face du réseau 203 est par exemple tournée vers un milieu d'émission de l'antenne 200. L'élément réflecteur 205b est par exemple, comme illustré en figure 10, commun à toutes les cellules élémentaires 205 du réseau 203.

[0078] Chaque cellule 205 est apte, en émission, à recevoir un rayonnement électromagnétique émis par la source 201 sur son élément d'antenne 205a et à réémettre ce rayonnement, après réflexion par l'élément réflecteur 205b, depuis son élément d'antenne 205a, par exemple en introduisant un déphasage ϕ connu. En réception, chaque cellule 205 est apte à recevoir un rayonnement électromagnétique sur son élément d'antenne 205a et à réémettre ce rayonnement, après réflexion par l'élément réflecteur 205b, depuis son élément d'antenne 205a, en direction de la source 201, avec le même déphasage ϕ . Le rayonnement réémis par l'élément d'antenne 205a est par exemple focalisé sur la source 201.

[0079] Les caractéristiques du faisceau produit par l'antenne 200, notamment sa forme (ou gabarit) et sa direction d'émission maximale (ou direction de pointage),

dépendent des valeurs des déphasages respectivement introduits par les différentes cellules 205 du réseau 203.

[0080] Les antennes à réseau réflecteur présentent des avantages similaires à ceux des antennes à réseau transmetteur.

[0081] On s'intéresse ici plus particulièrement aux antennes à réseau réflecteur 203 reconfigurable, c'est-à-dire dont les cellules élémentaires 205 sont commandables électroniquement de façon individuelle pour modifier leur valeur de déphasage ϕ de façon analogue à ce qui a été précédemment décrit en relation avec l'antenne 100 à réseau transmetteur 103.

[0082] La figure 11 est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une cellule élémentaire 205 du réseau réflecteur 203 de l'antenne 200 de la figure 10 selon un mode de réalisation.

[0083] Selon ce mode de réalisation, l'élément d'antenne 205a de la cellule élémentaire 205 comprend une antenne à plaque 210, adaptée à capter le rayonnement électromagnétique émis par la source 201 et à émettre, vers l'extérieur de l'antenne 200, un signal déphasé, et l'élément réflecteur 205b comprend un plan de masse 212. Dans l'exemple représenté, la cellule élémentaire 205 comprend en outre une structure 214 d'interconnexion, une structure 216 de filtrage ou découplage radiofréquence, et une ligne à retard 218.

[0084] L'antenne 210, la ligne à retard 218, la structure 216, la structure 214 et le plan de masse 212 sont par exemple respectivement formés dans cinq niveaux de métallisation successifs, superposés et séparés les uns des autres par des couches diélectriques.

[0085] Dans l'exemple représenté, un via conducteur central 220 connecte l'antenne 210 au plan de masse 212. Plus précisément, dans l'orientation de la figure 11, le via 220 présente une extrémité inférieure en contact avec une face supérieure de l'antenne 210 et une extrémité supérieure en contact avec une face inférieure du plan de masse 212. Le via 220 est en outre connecté à une partie centrale de la structure 214 d'interconnexion. Comme illustré en figure 11, des vias conducteurs 222 connectent des extrémités de la structure 214 au plan de masse 212. En outre, des vias conducteurs 224 connectent des extrémités de la structure 216 de filtrage radiofréquence à l'antenne à plaque 210 et d'autres vias conducteurs 226 connectent des extrémités de la ligne à retard 218 à l'antenne 210.

[0086] L'antenne 210, la ligne à retard 218, la structure 216 de filtrage radiofréquence, la structure 214 d'interconnexion et le plan de masse 212 sont décrits plus en détail ci-dessous en relation avec les figures respectivement 12 à 16.

[0087] La figure 12 est une vue de dessus, schématique et partielle, de l'élément d'antenne 205a de la cellule élémentaire 205 de la figure 11.

[0088] Dans l'exemple représenté, l'antenne à plaque 210 de l'élément d'antenne 205a comprend un cadre conducteur plan 230 et des régions conductrices 232 et 234 disjointes situées à l'intérieur du cadre 230. Dans

cet exemple, le cadre 230 et les régions 232 et 234 sont coplanaires.

[0089] La région conductrice 234 est en contact avec le via conducteur central 220 et est reliée au cadre conducteur 230 par un élément de commutation C3, ou commutateur, dont une borne de conduction est par exemple en contact avec la région 234 et dont une autre borne de conduction est par exemple en contact avec le cadre 230. Dans l'exemple représenté, la région conductrice 234 est en outre reliée à la région conductrice 232 par un autre élément de commutation C4, dont une borne de conduction est par exemple en contact avec la région 234 et dont une autre borne de conduction est par exemple en contact avec la région 232.

[0090] Chaque commutateur C3, C4 de l'élément d'antenne 205a de la cellule élémentaire 205 du réseau réflecteur 203 présente par exemple une structure, des dimensions et un fonctionnement analogues à ce qui a été décrit précédemment en relation avec les commutateurs C1 et C2 de l'élément d'antenne 105b de la cellule élémentaire 105 du réseau transmetteur 103. En particulier, les éléments de commutation C3 et C4 sont commandés en opposition. Cela permet à l'élément d'antenne 205a de la cellule élémentaire 205 de commuter entre deux états de phase ϕ , par exemple sensiblement égaux à 0° et à 180° . Les états de phase 0° et 180° correspondent respectivement au cas où le commutateur C3 est passant tandis que le commutateur C4 est bloqué, et au cas où le commutateur C3 est bloqué tandis que le commutateur C4 est passant.

[0091] La figure 13 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'une partie de la cellule élémentaire 205 de la figure 11. La figure 13 illustre plus particulièrement la ligne à retard 218.

[0092] Dans l'exemple représenté, la ligne à retard comprend une piste conductrice 240 dont une extrémité est connectée à la région conductrice 232, par l'intermédiaire de l'un des deux vias conducteurs 226, et dont l'autre extrémité est connectée au cadre 230, par l'intermédiaire de l'autre via conducteur 226. À titre d'exemple, la piste 240 et les vias 226 forment un chemin de conduction présentant une longueur totale ajustée de sorte que le déphasage introduit lorsque le commutateur C4 est passant soit égal à ϕ , c'est-à-dire à environ 180° dans cet exemple.

[0093] La figure 14 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'une autre partie de la cellule élémentaire 205 de la figure 11. La figure 14 illustre plus particulièrement la structure 216 de filtrage radiofréquence.

[0094] Dans l'exemple représenté, la structure 216 comporte une piste conductrice 250 en forme de U dont une extrémité est connectée à l'un des deux vias conducteurs 224 et dont l'autre extrémité est connectée à l'autre via 224. Dans cet exemple, la structure 216 comporte en outre des éléments ou tronçons 252 ("stub", en anglais) de découplage radiofréquence, par exemple en forme de secteur de disque, connectés à la piste conductrice 250. Dans l'exemple illustré en figure 14, la struc-

ture 216 comporte plus précisément deux éléments 252, chaque élément étant connecté à l'une des branches verticales du U formé par la piste 250.

[0095] La figure 15 est une vue de dessus, schématique et partielle, d'encore une autre partie de la cellule élémentaire 205 de la figure 11. La figure 15 illustre plus particulièrement la structure 214 d'interconnexion.

[0096] Dans l'exemple représenté, la structure 214 comporte deux pistes conductrices 260 connectant chacune l'un des vias conducteurs 222 au via conducteur central 220. Les pistes conductrices 260 s'étendent par exemple latéralement, au-dessous du plan de masse 212 dans l'orientation de la figure 15, dans des directions diamétralement opposées depuis le via central 311 jusqu'aux vias 260. Dans cet exemple, les pistes 260 sont alignées et présentent des longueurs identiques. Chaque piste conductrice 260 forme par exemple une ligne quart d'onde ($\lambda/4$), c'est-à-dire une ligne présentant une longueur sensiblement égale au quart de la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne.

[0097] La figure 16 est une vue de dessus, schématique et partielle, de l'élément réflecteur 205b de la cellule élémentaire 205 de la figure 11.

[0098] Dans l'exemple représenté, le via conducteur central 220 et les vias conducteurs 222 situés aux extrémités des lignes quart d'onde 260 de la structure d'interconnexion 214 sont connectés au plan de masse 212 de l'élément réflecteur 205b.

[0099] De manière préférentielle, les cellules 105 et 205 des réseaux 103 et 203 sont réalisées par un procédé comprenant des étapes successives de formation, sur un même substrat, par exemple en quartz, des éléments d'antenne 105a et 105b, dans le cas du réseau 103, et de l'élément réflecteur 205b et de l'élément d'antenne 205a, dans le cas du réseau 203. En particulier, les commutateurs C1 et C2 des cellules 105 sont par exemple formés sur le substrat à l'issue de la réalisation des régions centrale 140C et périphérique 140P du plan conducteur 140. De façon analogue, les commutateurs C3 et C4 des cellules 205 sont par exemple formés sur le substrat à l'issue de la réalisation du cadre conducteur plan 230 et des régions conductrices 232 et 234. Dans ce cas, les cellules 105 et 205 (et les réseaux 103 et 203) présentent une structure dite "monolithique". À titre d'exemple, le procédé de fabrication des cellules 105 et 205 s'affranchit notamment d'étapes de report, et les cellules 105 et 205 sont dépourvues d'éléments d'interconnexion, tels que des plots assemblés à des billes de brasage, entre le premier élément d'antenne 105a, 205a et le deuxième élément d'antenne 105b ou l'élément réflecteur 205b.

[0100] Un avantage des commutateurs C1, C2, C3 et C4 en matériau à changement de phase intégrés aux cellules élémentaires 105 et 205 tient au fait qu'ils sont capables de fonctionner à des niveaux de puissance au moins aussi élevés que les commutateurs généralement employés dans des cellules élémentaires d'antennes à réseau transmetteur ou réflecteur reconfigurable, tout en

présentant une meilleure linéarité. En outre, les commutateurs C1, C2, C3 et C4 présentent une excellente stabilité dans des plages de fréquences de l'ordre du térahertz.

[0101] Un avantage des cellules 105 et 205 tient au fait qu'elles permettent un contrôle électronique de phase dans une plage de fréquences comprises par exemple entre 50 et 350 GHz, correspondant à des longueurs d'ondes millimétriques, et de présenter une consommation électrique réduite.

[0102] Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, la forme des éléments d'antenne 105a et 205a peut être adaptée en fonction de la polarisation de la source 101, 201 associée.

[0103] En outre, bien que l'on ait décrit des exemples de cellules élémentaires 105 et 205 comportant chacune deux commutateurs en matériau à changement de phase C1, C2 et C3, C4, les modes de réalisation décrits sont transposables par la personne du métier à un nombre quelconque de commutateurs en matériau à changement de phase. À titre d'exemple, on pourrait prévoir un nombre de commutateurs en matériau à changement de phase supérieur à deux dans un cas où l'on souhaiterait réaliser une cellule élémentaire reconfigurable présentant plus de deux états de phase différents.

[0104] On a décrit ci-dessus en relation avec les figures 1 à 16 des modes de réalisation dans lesquels l'élément chauffant des commutateurs en matériau à changement de phase est un élément résistif destiné à chauffer le matériau à changement de phase par effet Joule. À titre de variante, on peut prévoir que l'élément chauffant soit un guide d'ondes électriquement isolé de la région en matériau à changement de phase et comportant une première extrémité en vis-à-vis d'une face de la région en matériau à changement de phase et une deuxième extrémité, opposée à la première extrémité, destinée à être illuminée par une source laser. Dans ce cas, le guide d'ondes comporte par exemple une région centrale en nitrure de silicium (SiN) entourée d'une région périphérique en dioxyde de silicium (SiO₂). La source laser peut être de type intégrée, c'est-à-dire faisant partie d'une même puce que le ou les commutateurs auxquels elle est associée, ou non intégrée, c'est-à-dire formée sur une puce différente de celle du ou des commutateurs auxquels elle est associée, la source laser étant alors par exemple connectée au guide d'ondes de chaque commutateur auquel elle est associée par une liaison optique, par exemple une fibre optique. Par ailleurs, les couplages optiques entre la source laser et le guide d'ondes, et entre le guide d'ondes et la région en matériau à changement de phase peuvent chacun être obtenus par un couplage de type "adiabatique" ou par un couplage dit "bout-à-bout" ("butt coupling", en anglais). Dans le cas d'un couplage adiabatique entre le guide d'ondes et la région en

matériau à changement de phase, la surface de sortie du guide d'ondes présente par exemple une forme fuselée ("tapered", en anglais) se rétrécissant au voisinage de la région en matériau à changement de phase, cette dernière pouvant présenter une forme fuselée se rétrécissant au voisinage du guide d'ondes.

[0105] Enfin, la mise en œuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus. En particulier, l'implémentation pratique des commutateurs C1, C2, C3 et C4 dans les cellules élémentaires 105 et 205 décrites ci-dessus est adaptable par la personne du métier en fonction de l'application.

Revendications

1. Cellule (105 ; 205) de réseau transmetteur (103) ou de réseau réflecteur (203), comprenant au moins deux commutateurs (C1, C2 ; C3, C4) en matériau à changement de phase, chaque commutateur (C1, C2 ; C3, C4) en matériau à changement de phase comprenant :
 - une région (160) en ledit matériau à changement de phase située sur et en contact avec des première (140P ; 234) et deuxième (140C ; 230, 232) régions conductrices disjointes d'une antenne à plaque (112 ; 210) ; et
 - un élément chauffant (166) électriquement isolé de la région (160) en ledit matériau à changement de phase.
2. Cellule selon la revendication 1, dans laquelle ledit matériau à changement de phase est un matériau chalcogénure.
3. Cellule selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle l'élément chauffant (166) est un élément résistif destiné à chauffer le matériau à changement de phase par effet Joule.
4. Cellule selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle l'élément chauffant (166) est un guide d'ondes comportant une première extrémité en vis-à-vis d'une face de la région (160) en ledit matériau à changement de phase et une deuxième extrémité, opposée à la première extrémité, destinée à être illuminée par une source laser.
5. Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle les commutateurs (C1, C2 ; C3, C4) en matériau à changement de phase font partie d'un premier élément d'antenne (105a ; 205a) adapté à commuter un signal radiofréquence entre au moins deux états de phase (ϕ).
6. Cellule (105) de réseau transmetteur (103) selon la revendication 5, dans laquelle le premier élément d'antenne (105a) comprend exactement deux commutateurs (C1, C2) en matériau à changement de phase et un plan conducteur (140) présentant une ouverture (142) de forme annulaire, isolant électriquement une région centrale (140C) du plan conducteur d'une région périphérique (140P) du plan conducteur, chaque commutateur en matériau à changement de phase reliant la région centrale à la région périphérique du plan conducteur.
7. Cellule de réseau transmetteur selon la revendication 6, comprenant en outre un deuxième élément d'antenne (105b) connecté au premier élément d'antenne (105a) par un via conducteur central (116), un plan de masse (114) intercalé entre les premier et deuxième éléments d'antenne et électriquement isolé du via conducteur central, le plan de masse étant connecté au deuxième élément d'antenne par deux vias conducteurs latéraux (118).
8. Cellule (205) de réseau réflecteur (203) selon la revendication 5, dans laquelle le premier élément d'antenne (205a) comprend exactement deux commutateurs (C3, C4) en matériau à changement de phase et un cadre conducteur plan (230) à l'intérieur duquel sont situées des première (232) et deuxième (234) régions conductrices disjointes, l'un des deux commutateurs (C3) reliant la deuxième région conductrice au cadre conducteur plan et l'autre commutateur (C4) reliant les première et deuxième régions conductrices entre elles.
9. Cellule de réseau réflecteur selon la revendication 8, dans laquelle la première région conductrice (232) est connectée au cadre conducteur plan (230) par une ligne à retard (218).
10. Cellule de réseau réflecteur selon la revendication 8 ou 9, comprenant en outre un élément réflecteur (205b) connecté au premier élément d'antenne (205a) par un via conducteur central (220).
11. Cellule de réseau transmetteur selon la revendication 6 ou 7, ou cellule de réseau réflecteur selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, dans laquelle le premier élément d'antenne (105a) et le deuxième élément d'antenne (105b), ou l'élément réflecteur (205b) et le premier élément d'antenne (205a), sont formés successivement sur un même substrat de sorte à obtenir une structure monolithique.
12. Réseau transmetteur (103) comprenant une pluralité de cellules (105) selon la revendication 6, 7 ou 11.
13. Réseau réflecteur (203) comprenant une pluralité de cellules (205) selon l'une quelconque des revendi-

cations 8 à 11.

14. Antenne (100 ; 200) comprenant un réseau transmetteur (103) selon la revendication 12 ou un réseau réflecteur (203) selon la revendication 13 et au moins une source (101 ; 201) configurée pour irradier une face du réseau.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

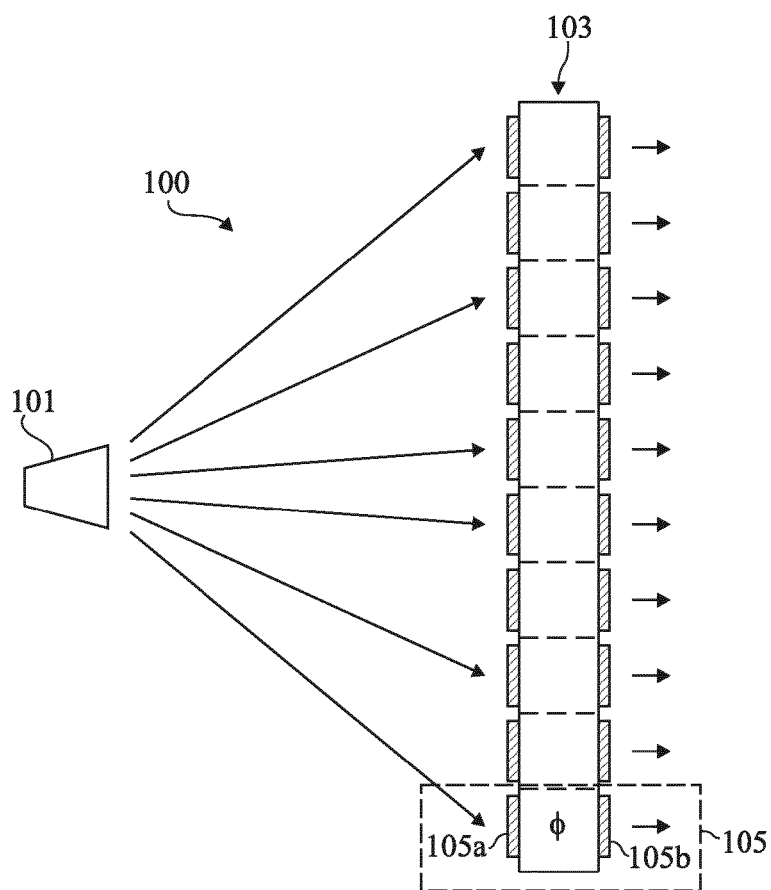


Fig 1

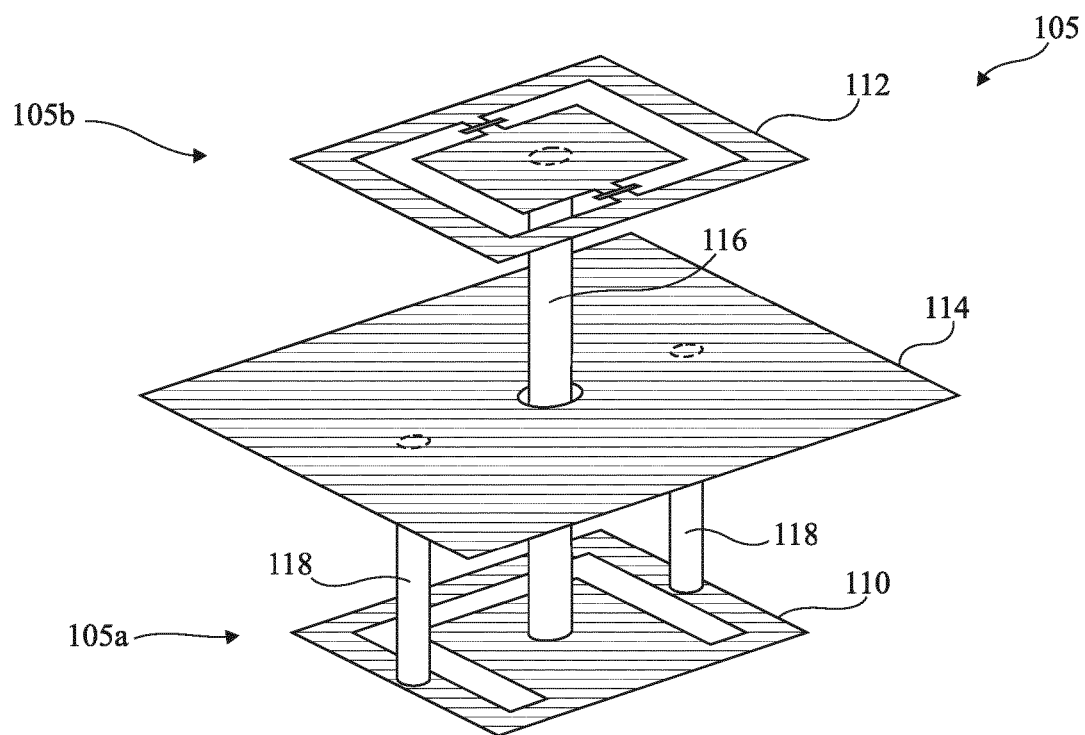
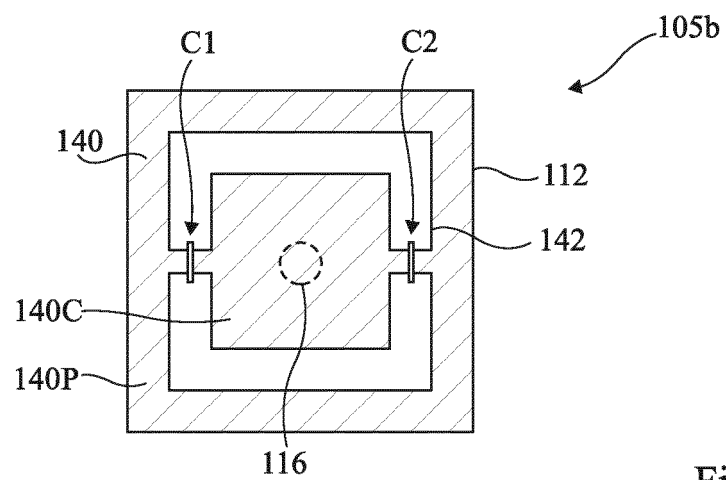
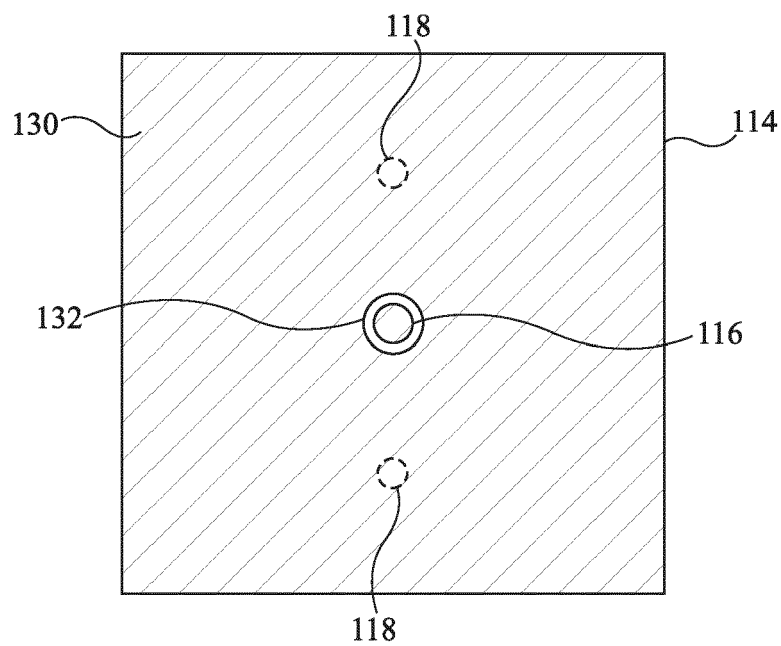
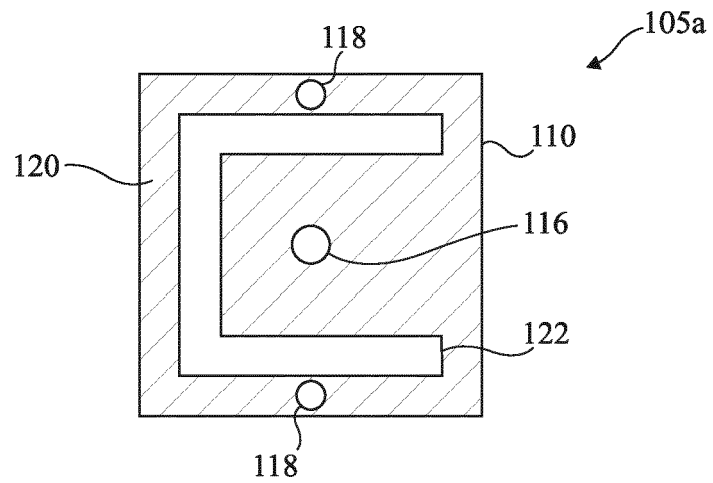


Fig 2



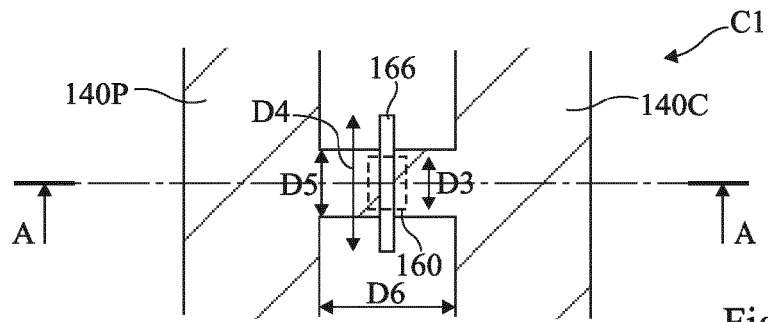


Fig 6

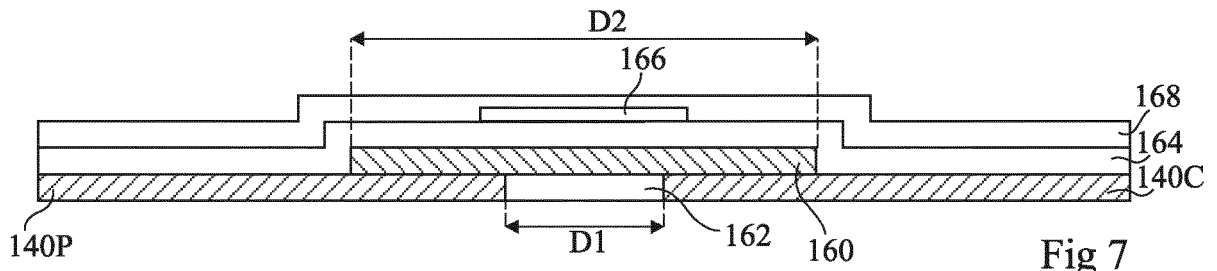


Fig 7

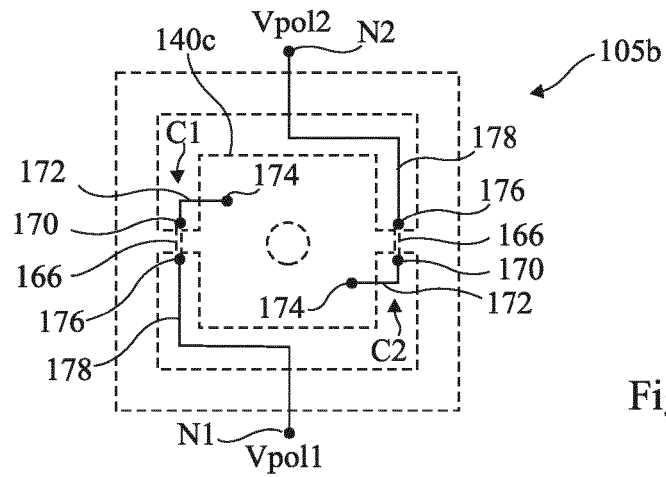


Fig 8

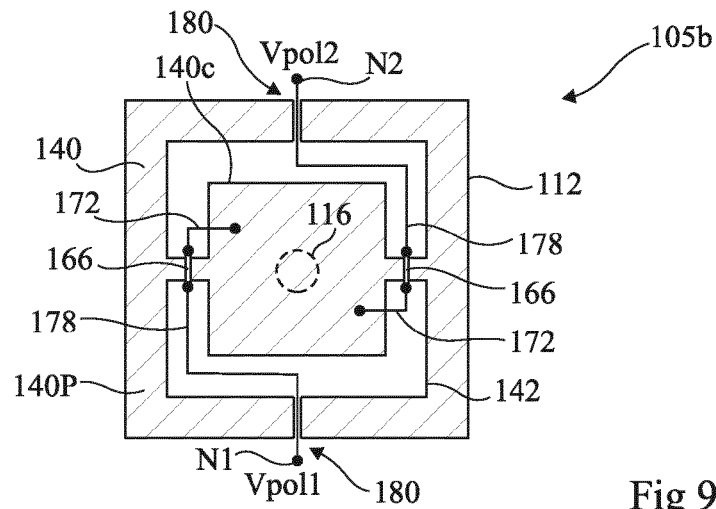


Fig 9

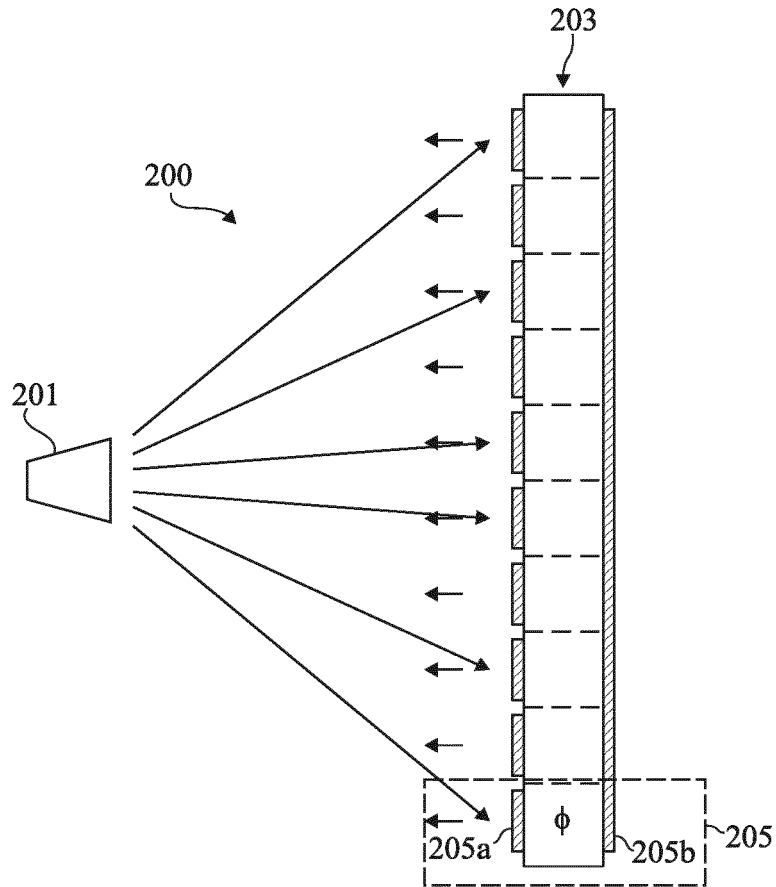


Fig 10

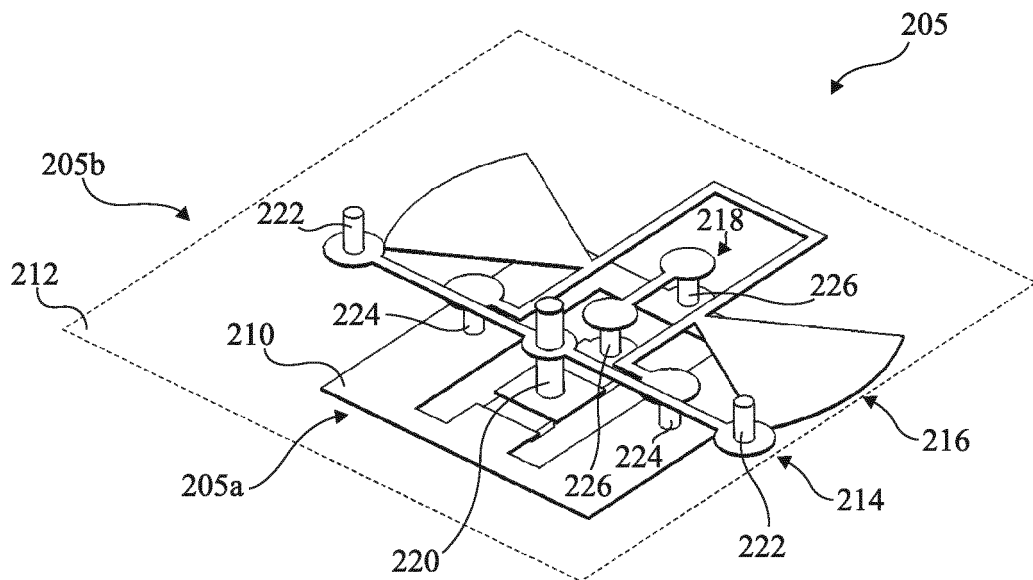


Fig 11

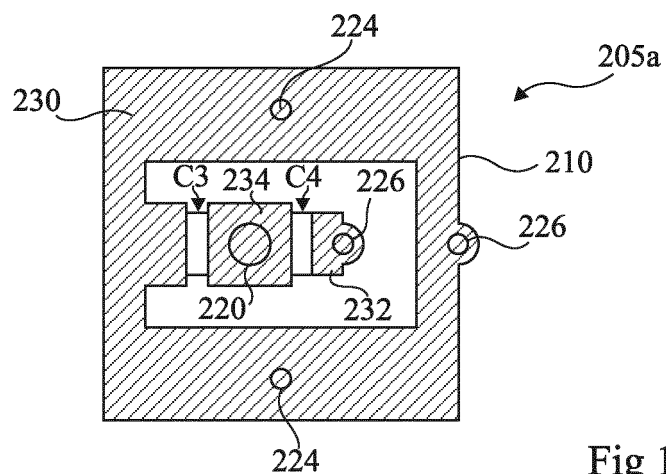


Fig 12

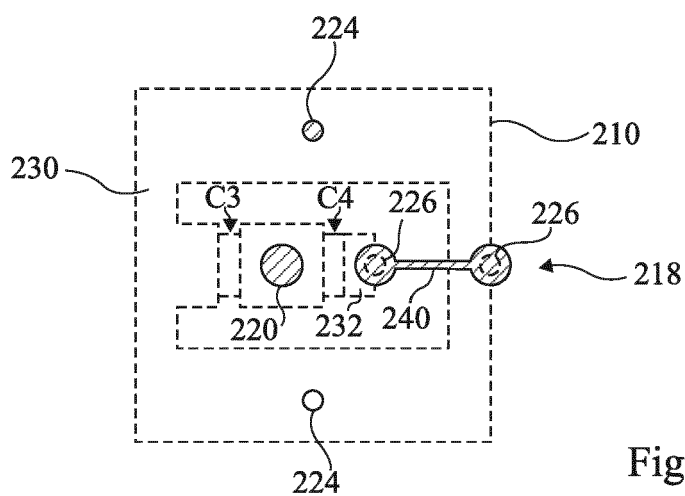


Fig 13

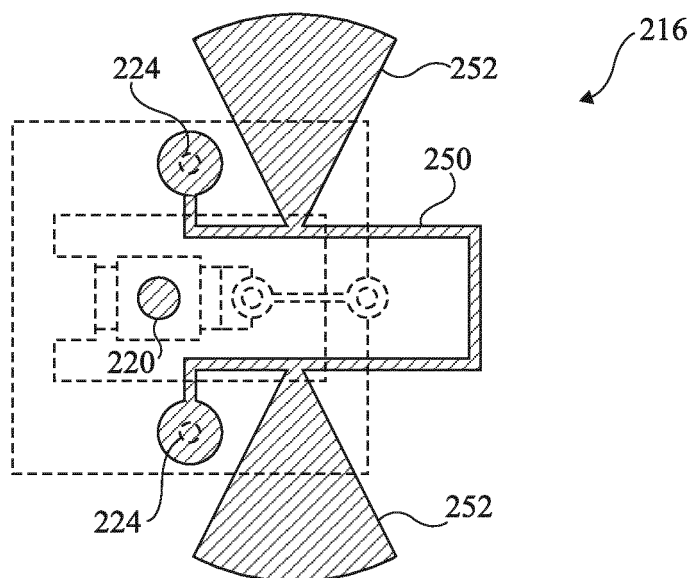


Fig 14

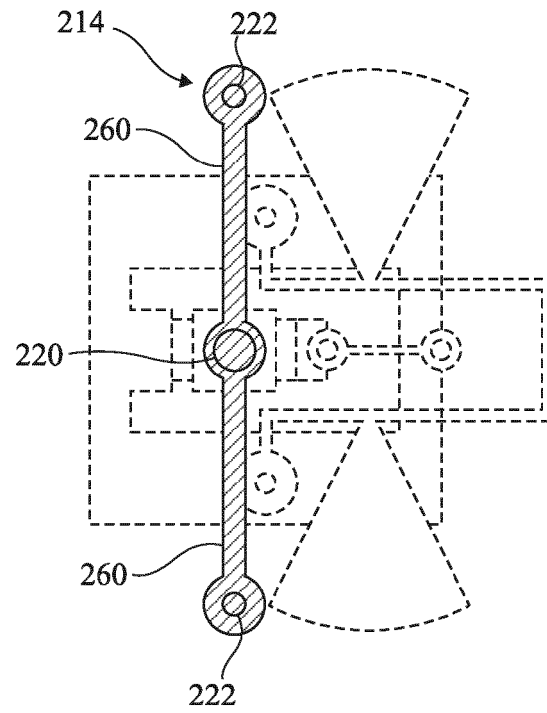


Fig 15

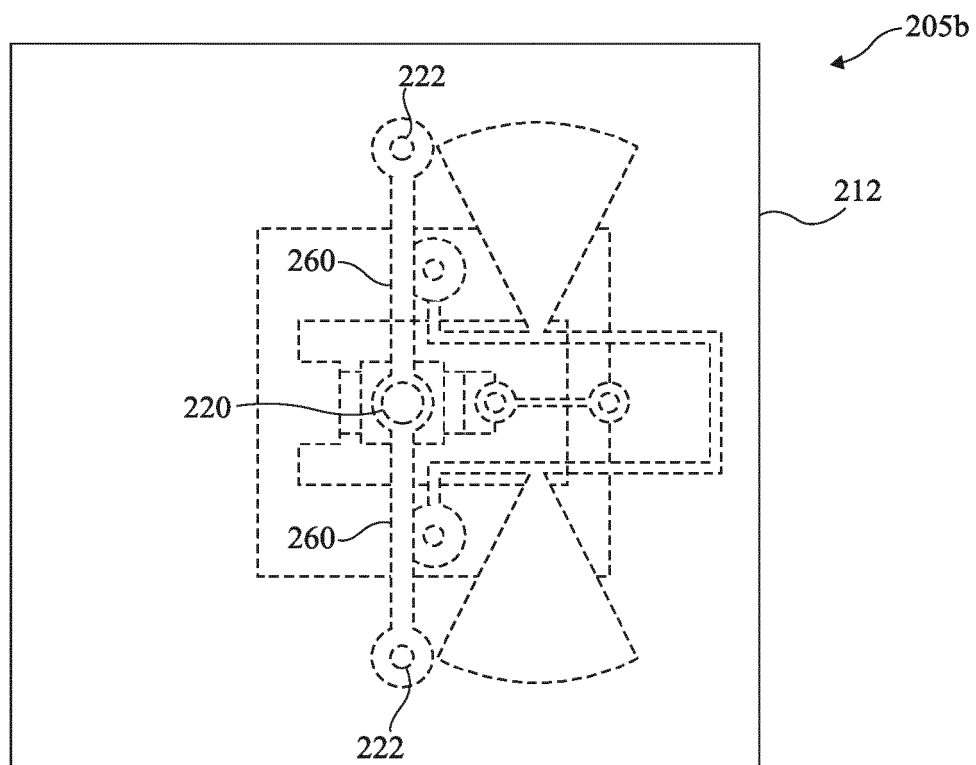


Fig 16



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 20 2095

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	US 2016/013549 A1 (SCHAFFNER JAMES H [US] ET AL) 14 janvier 2016 (2016-01-14)	1-5, 11-14	INV.
A	* alinéas [0025], [0026], [0051], [0056] - [0059] *	8-10	H01Q3/44 H01Q3/46 H01Q9/04
	* figures 2, 7D *		
X	ANAGNOSTOU DIMITRIS E ET AL: "Integration of resistive heaters for phase-change reconfigurable antennas", 2017 11TH EUROPEAN CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP), EURAAP, 19 mars 2017 (2017-03-19), pages 2349-2350, XP033097127, DOI: 10.23919/EUCAP.2017.7928037 [extrait le 2017-05-15]	1-3, 5, 11-14	
A	* le document en entier *	8-10	
X	US 2017/033462 A1 (CLEMENTE ANTONIO [FR] ET AL) 2 février 2017 (2017-02-02)	1-3, 5-7, 11-14	
A	* alinéas [0013], [0071], [0100], [0114] *	8-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
	* figures 5, 6. 8b, 9 *		H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		13 mars 2023	Taddei, Ruggero
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

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

EP 22 20 2095

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.

13-03-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2016013549 A1	14-01-2016	CN 105900284 A	24-08-2016
		CN 105940553 A	14-09-2016
		EP 3105820 A2	21-12-2016
		US 2016013549 A1	14-01-2016
		WO 2015163972 A2	29-10-2015
		WO 2015178979 A2	26-11-2015

US 2017033462 A1	02-02-2017	EP 3125362 A1	01-02-2017
		FR 3039711 A1	03-02-2017
		US 2017033462 A1	02-02-2017

EPO FORM P0460

EPO FORM P0460

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