

DESCRIPTION

Titre de l'invention : Dispositif à métasurface

[0001] Le domaine de l'invention est celui des dispositifs à métasurface, par exemple des antennes à métasurfaces. L'invention s'applique aux dispositifs hyperfréquences.

[0002] De tels dispositifs peuvent être utilisés dans différentes applications telles que les applications radar dans l'avionique et l'aérospatiale, la communication haut débit, les télécommunications spatiales.

[0003] La demande de brevet WO2019219708 divulgue un dispositif d'antenne comprenant un substrat, un plan de masse formé sur une surface arrière du substrat et un élément d'antenne formé sur la surface avant du substrat et comprenant un premier réseau de pastilles conductrices séparées par des interrupteurs disposés entre les pastilles conductrices. Le dispositif d'antenne comprend une source d'ondes électromagnétiques configurée et disposée pour générer une onde de surface sur la face avant du substrat. L'onde de surface est transformée par le réseau bidimensionnel de pastilles conductrices en ondes de fuite émises selon une direction présentant une composante perpendiculaire à la surface avant du substrat. La connexion électrique de certaines pastilles conductrices entre-elles permet de former un réseau de groupes de pastilles connectées entre elles. Cette solution permet, sans utiliser de déphaseurs, de contrôler la direction principale du diagramme d'émission de l'antenne et donc de réaliser des antennes à balayage électronique à bas coût.

[0004] Cette demande de brevet propose de disposer, entre les pastilles conductrices adjacentes, des interrupteurs commandés électriquement, comme par exemple des MEMS ou des diodes, pour permettre de relier électriquement les pastilles adjacentes entre-elles de façon sélective. Toutefois, cette solution présente un certain nombre d'inconvénients. Elle génère notamment des perturbations électromagnétiques qui déforment le diagramme de rayonnement du dispositif à métasurface. Par ailleurs, la commande des interrupteurs peut s'avérer trop lente.

[0005] Un but de l'invention est de limiter au moins un des inconvénients précités.

[0006] A cet effet, l'invention a pour objet, un dispositif à métasurface comprenant :

- un substrat ayant une surface arrière et une surface avant, le substrat comprenant une structure de masse apte à avoir une fonction de plan de masse,
- un dispositif d'émission et/ou de réception apte à émettre et/ou à recevoir une onde électromagnétique, le dispositif d'émission et/ou de réception étant configuré et disposé de façon que l'onde soit apte à se propager sous forme d'une onde de surface sur la surface avant du substrat,
- un élément d'antenne comprenant un réseau bidimensionnel de pastilles électriquement conductrices disposées sur la surface avant du substrat, étant distantes les unes des autres et présentant des dimensions inférieures à la longueur d'onde de fonctionnement du dispositif d'émission et/ou de réception, l'élément d'antenne étant apte à rayonner, sous l'effet de la propagation d'une onde de surface sur la surface avant du substrat, selon une direction présentant une composante perpendiculaire à la surface avant du substrat lorsque la structure de masse présente une fonction de plan de masse,
- le substrat comprenant une couche, dite de connexion, en matériau semi-conducteur photoconducteur, en contact physique direct avec les pastilles conductrices, le matériau semi-conducteur étant isolant lorsqu'il n'est pas éclairé et apte à être conducteur lorsqu'il est éclairé à une longueur d'onde dite de reconfiguration.

[0007]Avantageusement, le dispositif à métasurface comprend un dispositif optique de reconfiguration apte à éclairer un ensemble d'au moins une zone, dite zone éclairée, de la couche de connexion, de façon que la couche de connexion soit conductrice uniquement dans l'ensemble d'au moins une zone éclairée, de sorte à connecter électriquement deux à deux les pastilles métalliques de l'élément d'antenne séparées et reliées par une zone continue de la couche de connexion située totalement dans une zone éclairée de l'ensemble d'au moins une zone éclairée pour former au moins un groupe de pastilles conductrices connectées électriquement entre elles.

[0008]Avantageusement, le dispositif optique de reconfiguration comprend une unique source optique de reconfiguration apte à émettre un faisceau optique à la longueur d'onde de reconfiguration et un dispositif optique diffractif permettant, à

partir du faisceau optique, par diffraction, d'éclairer l'ensemble d'au moins une zone éclairée à la longueur d'onde de reconfiguration.

[0009] Avantageusement, le dispositif diffractif permet d'éclairer un réseau de zones éclairées continues, de la couche de connexion, séparées par des zones de la couche de connexion ou un ensemble d'au moins une zone éclairée délimitant des zones de la couche de connexion non éclairées par le dispositif diffractif.

[0010] En variante, l'ensemble d'au moins une zone éclairée comprend une unique zone éclairée.

[0011] Avantageusement, le dispositif diffractif est apte éclairer alternativement différents ensembles d'au moins une zone éclairée de la couche de connexion.

[0012] Avantageusement, le dispositif à métasurface comprend une structure de masse apte à avoir une fonction de plan de masse, la structure de masse étant apte à être alternativement dans un état isolant dans lequel elle empêche la propagation de l'onde de surface sur la surface avant de substrat depuis le dispositif d'émission et/ou de réception jusqu'aux pastilles conductrices, ou inversement, et dans un état conducteur dans lequel la structure de masse a une fonction de plan de masse permettant la propagation de l'onde de surface sur la surface avant du substrat depuis le dispositif d'émission et/ou de réception jusqu'aux pastilles conductrices, ou inversement, la couche de masse étant apte à passer de l'état isolant à l'état conducteur par éclairage de la couche de masse par un faisceau optique à une longueur d'onde dite de commutation.

[0013] Le dispositif de reconfiguration peut être configuré et disposé pour éclairer le substrat en face arrière ou en face avant.

[0014] Dans le cas d'un éclairage en face avant le dispositif diffractif peut être monté sur un couvercle du dispositif à métasurface, le couvercle étant disposé en regard de l'élément d'antenne à distance de l'élément d'antenne ou être sous forme d'une plaque sensiblement plane s'étendant dans un plan sensiblement perpendiculaire à la surface ou face avant du substrat.

[0015] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et qui représentent, respectivement :

[0016] [Fig.1] la figure 1 illustre schématiquement, en vue de dessus, un dispositif à métasurface selon l'invention,

[0017] [Fig.2] la figure 2 illustre schématiquement de façon plus précise, une partie de l'élément d'antenne du dispositif de la figure 1, en vue de dessus,

[0018] [Fig.3] la figure 3 illustre schématiquement, un autre exemple d'élément d'antenne,

[0019] [Fig.4] la figure 4 illustre schématiquement, en coupe, le dispositif de la figure 1,

[0020] [Fig.5] la figure 5 illustre schématiquement, en vue éclatée, le dispositif de la figure 1,

[0021] [Fig.6] la figure 6 illustre schématiquement, en coupe, une première variante du dispositif dans lequel l'empilement est éclairé en face avant,

[0022] [Fig.7] la figure 7 illustre schématiquement, en coupe, une deuxième variante du dispositif dans lequel l'empilement est éclairé en face avant,

[0023] [Fig.8] la figure 8 illustre schématiquement, en coupe, une troisième variante du dispositif à métasurface,

[0024] [Fig.9] la figure 9 illustre schématiquement, en coupe, une quatrième variante du dispositif à métasurface

[0025] [Fig.10] la figure 10 illustre schématiquement, en coupe, une cinquième variante du dispositif à métasurface.

[0026] Dans la suite du texte, par conducteur, on entend conducteur électriquement et par isolant, on entend isolant électriquement.

[0027] Par faisceau optique, on entend un faisceau dont la longueur d'onde est située dans le domaine optique comprenant l'infrarouge, l'ultraviolet et le visible.

[0028] La figure 1 illustre schématiquement, en vue de dessus, un dispositif à métasurface 1 selon l'invention.

[0029] Le dispositif à métasurface 1 comprend un empilement E de couches empilées selon un axe d'empilement z perpendiculaire au plan de la figure 1. L'empilement comprend un substrat 2, une couronne centrale conductrice CM et un élément d'antenne 3 formé autour de la couronne centrale conductrice CM. La

couronne centrale conductrice CM est distante d'un canal O central et de l'élément d'antenne 3.

[0030] Le substrat 20 comprend une surface avant 22 et une face arrière 21. Les faces avant et arrière des différentes couches de l'empilement E sont définies selon un axe z allant dans le sens de l'arrière vers l'avant.

[0031] L'élément d'antenne 3 comprend un réseau périodique bidimensionnel de pastilles conductrices 4 (ou patchs conducteurs) disposées sur la surface avant 22 du substrat 20 et étant distantes les unes des autres. Les pastilles conductrices 4 sont séparées par des ouvertures 5. L'élément d'antenne 3 constitue une métasurface.

[0032] Les pastilles conductrices 4 sont, par exemple, des pastilles métalliques ou d'oxyde d'indium-étain ou ITO tout comme la couronne métalliques CM.

[0033] Les pastilles conductrices 4 et les ouvertures 5 sont sensiblement auto-complémentaires. Contrairement à une métasurface composée de pastilles conductrices 4 et d'ouvertures 5 strictement auto-complémentaires, les pastilles conductrices 4 de l'élément d'antenne 3 sont écartées les unes des autres comme visible sur la figure 2 représentant une partie de l'élément d'antenne ou métasurface 3.

[0034] Autrement dit, les points les plus proches de deux pastilles conductrices 4 adjacentes sont séparés par un intervalle 6. Les ouvertures 5 sont donc plus grandes que les pastilles conductrices 4.

[0035] L'élément d'antenne 3 comprend donc des intervalles 6 séparant les pastilles adjacentes par leurs sommets adjacents.

[0036] Dans l'exemple non limitatif de la figure 1, l'élément d'antenne 3 présente sensiblement une structure de damier. Les ouvertures 5 et les pastilles conductrices 4 sont sensiblement de forme carrée.

[0037] Les pastilles conductrices 4 peuvent présenter une forme strictement carrée ou une forme sensiblement carrée aux sommets écrêtés ou aplatis. Elles peuvent présenter une forme différente, comme par exemple une forme ovale ou arrondie.

[0038] Les pastilles conductrices 4 présentent des côtés ou des dimensions sub-longueur d'ondes. Il en est de même pour le pas du réseau.

[0039] Avantageusement, les pastilles conductrices 4 présentent des dimensions ou des côtés de longueurs inférieures ou égales $\lambda/50$ et de préférence comprises entre $\lambda/50$ et $\lambda/100$. λ est la longueur d'onde de fonctionnement du dispositif à métasurface, c'est-à-dire de l'onde rayonnée par l'élément d'antenne 3.

[0040] La taille de l'intervalle 6, c'est-à-dire la distance minimale entre deux pastilles adjacentes qui peut être la distance entre deux sommets de deux pastilles conductrices 4 adjacentes, est comprise entre $\lambda/1000$ et $\lambda/2000$. Pour une antenne fonctionnant à la fréquence de 30 GHz, la longueur d'onde est d'environ 10 mm dans l'air, les côtés des pastilles présentent une longueur comprise entre 100 et 200 μm et la distance entre pastilles 4 adjacentes par leurs sommets est comprise entre 5 et 10 μm .

[0041] D'autres métasurfaces comprenant des pastilles conductrices 4 et d'ouvertures 5 sensiblement auto-complémentaires sont envisageables. Les pastilles 4 et/ou les ouvertures 5 peuvent, par exemple, présenter sensiblement des formes de triangles équilatéraux, de croix, ou d'ovales. Ainsi les pastilles conductrices sont disposées en lignes et en colonnes. Les colonnes pouvant être perpendiculaires ou non par rapport aux colonnes.

[0042] Dans l'exemple de la figure 1, les pastilles conductrices 4 présentent toutes une même orientation dans un repère bidimensionnel lié à la face avant du substrat. En variante, des pastilles conductrices peuvent présenter des orientations différentes dans un repère bidimensionnel lié à la face avant du substrat.

[0043] Dans l'exemple de la figure 1, les pastilles conductrices 4 présentent toutes une même forme et les mêmes dimensions. En variante, des pastilles conductrices présentent des formes différentes et/ou des dimensions différentes.

[0044] En figure 3, on a représenté une métasurface 30 dont les pastilles conductrices 40 présentent sensiblement une forme d'ovale. Les pastilles conductrices ne sont pas toutes identiques. Des pastilles conductrices diffèrent d'autres pastilles conductrices par leurs formes et leurs orientations un repère bidimensionnel lié à la face avant du substrat.

[0045] La connexion électrique sélective entre des pastilles conductrices 4 permet de former un élément d'antenne 3 reconfigurable, c'est-à-dire, susceptible de présenter des diagrammes de rayonnement différents à partir d'une même excitation. Elle

permet, par exemple, d'obtenir un élément d'antenne multi-échelle pouvant comprendre un réseau bidimensionnel de pastilles conductrices isolées électriquement les unes des autres ou d'un réseau bidimensionnel de groupes de pastilles conductrices connectées électriquement entre elles comme nous le verrons par la suite.

[0046] La figure 4 illustre schématiquement partiellement, en coupe, le dispositif à métasurface 1 de la figure 1.

[0047] Le dispositif à métasurface comprend une source S permettant d'émettre des ondes électromagnétiques (non visible en figure 1) et configurée et disposée de façon à générer des ondes de surface sur la surface avant 22 du substrat 2.

[0048] La source, permet, par exemple, d'émettre des ondes électromagnétiques sphériques ou cylindriques.

[0049] La source S est, par exemple, isotrope.

[0050] Les ondes électromagnétiques sont, de préférence, des micro-ondes, de préférence des hyperfréquences. Le dispositif à métasurface est, par exemple, une antenne, par exemple hyperfréquence.

[0051] Le dispositif à métasurface 1 comprend un canal O traversant l'empilement E selon l'axe z.

[0052] La source S comprend, par exemple, un câble coaxial C comprenant une âme centrale A conductrice, entouré d'un matériau diélectrique MD lui-même entouré d'un blindage B. La source S comprend également une source électrique SE apte à générer un signal électrique hyperfréquence transmis par le câble coaxial C jusqu'à une extrémité ED de l'âme centrale A.

[0053] L'extrémité dénudée ED traverse le substrat 2 et s'étend en regard de couronne métallique CM.

[0054] La partie de l'extrémité dénudée ED s'étendant en regard de l'élément d'antenne 3 constitue un monopôle qui rayonne une onde électromagnétique dont la partie essentielle est diffusée vers l'élément d'antenne 3 et se propage sur la face avant du substrat 2 sous forme d'une onde de surface. Le reste de l'onde émise par l'extrémité dénudée ED est transmis dans l'espace libre.

[0055] L'élément d'antenne 3, quelle que soit son échelle, réfléchit ou transforme l'onde de surface émise sur la surface avant 22 du substrat 2 pour rayonner, à la longueur d'onde de l'onde électromagnétique, selon une direction présentant une composante perpendiculaire à la surface avant 22 du substrat 2, c'est-à-dire qu'elle présente une composante selon l'axe z. L'onde totale rayonnée par l'élément d'antenne est issue d'une recombinaison des ondes de fuite réfléchies ou transformées par les différentes pastilles conductrices qu'elle soit l'échelle de l'élément d'antenne c'est-à-dire même lorsque les pastilles conductrices 4 sont isolées électriquement les unes des autres. Les interférences entre les ondes de fuite rayonnées par les différentes pastilles conductrices sont rayonnées selon une direction présentant une composante selon l'axe z.

[0056] Avantageusement, la couronne centrale CM est configurée et disposée pour optimiser le taux de couplage entre l'onde générée par l'élément d'antenne 3 à une fréquence prédéterminée. La configuration de la couronne centrale CM dépend de la fréquence de l'onde générée par le monopôle ED.

[0057] Les antennes sont classiquement circulaires comme sur la figure 1 mais peuvent présenter une autre forme géométrique, comme par exemple, une forme rectangulaire, par exemple carrée.

[0058] Le substrat 20 comprend un empilement de plusieurs couches comprenant la couche de masse 70, une couche de connexion 80 et une couche intermédiaire 90.

[0059] La couche de masse 70 est continue et s'étend en regard de la totalité de l'élément d'antenne 3.

[0060] La couche de masse 70 est apte à avoir une fonction de plan de masse permettant la transmission de l'onde de surface sur la surface avant 22, depuis l'extrémité dénudée ED jusqu'aux pastilles conductrices 4, c'est à dire jusqu'à l'élément d'antenne 3, ou inversement, afin que l'élément d'antenne 3 rayonne selon une direction présentant une composante perpendiculaire à la surface avant 22 du substrat 20, c'est-à-dire une composante selon l'axe z.

[0061] La couche de masse 70 est, avantageusement, métallique ou en oxyde transparent conducteur OTC ou TCO (acronyme de l'expression anglo-saxonne « transparent Conductive Oxide » comme ; par exemple, l'oxyde d'indium étain ou ITO pour l'appellation anglaise « Indium tin oxide »). Les oxydes transparents

conducteurs (OTC) présentent la particularité d'être simultanément conducteurs électriques et transparents à la lumière dans le domaine optique.

[0062] Dans l'exemple non limitatif de la figure 4, la couche de masse 70 comprend la face arrière 21 du substrat 20.

[0063] La couche de masse 70 est reliée électriquement au coaxial C et plus particulièrement au blindage B du coaxial.

[0064] La couche intermédiaire 90 a pour fonction d'isoler électriquement la couche de masse 70 de la couche de connexion 80.

[0065] La couche intermédiaire 90 est, par exemple, réalisée en verre, par exemple en dioxyde de silicium ou en borosilicate, qui présente l'avantage de croître aisément sur le silicium.

[0066] La couche de connexion 80 est une couche en matériau semi-conducteur photoconducteur. La couche de connexion 80 est en contact physique direct avec les pastilles conductrices 4. Autrement dit, la couche de connexion 80 comprend la face avant 22 du substrat 20.

[0067] Le matériau semi-conducteur est isolant lorsqu'il n'est pas éclairé et est apte à être conducteur lorsqu'il est éclairé à une longueur d'onde de reconfiguration λ_r . Le matériau semi-conducteur passe de l'état isolant à l'état conducteur par photoconductivité.

[0068] Ainsi, en éclairant une zone de la couche de connexion 80 dans une zone éclairée, on rend le matériau semi-conducteur conducteur dans la zone éclairée uniquement. En éclairant une zone de la couche de connexion 80, on peut connecter électriquement deux à deux uniquement les pastilles métalliques 4 de l'élément d'antenne 3 qui sont séparées et reliées par une zone continue de la couche de connexion située dans la zone éclairée et reliant les pastilles conductrices 4 et ainsi, former un groupe de pastilles conductrices 4 connectées électriquement entre-elles.

[0069] La reconfiguration optique de l'élément d'antenne 3 utilise la photoconductivité pour rendre conducteur la couche de connexion 80 au niveau des intervalles 6 entre les pastilles conductrices 4. Cette commande optique présente l'avantage d'être sans contact et d'être rapide. La vitesse de reconfiguration dépend principalement des caractéristiques du matériau semi-conducteur utilisé pour former la couche de

connexion et de la source laser utilisée. Elle peut varier de quelques ms à quelques ps.

[0070] On peut ainsi reconfigurer l'élément d'antenne 3 en passant d'un élément d'antenne 3 formant un damier de pastilles conductrices 4 isolées électriquement les unes des autres, lorsque la couche de connexion 80 n'est pas éclairée à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r , à un élément d'antenne comprenant une ou plusieurs groupes de pastilles conductrices reliées électriquement entre-elles et, éventuellement, des pastilles isolées électriquement de toutes les autres pastilles, lorsque la couche de connexion 80 est éclairée à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r .

[0071] La configuration proposée permet donc de modifier optiquement la loi de rayonnement de l'élément d'antenne 3 en éclairant de façon sélective une ou plusieurs zones de la couche de connexion 80 à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r .

[0072] Le dispositif à métasurface proposé est donc susceptible, sans modification physique de l'empilement E ni du réseau de pastilles conductrices 4, de présenter différentes lois de rayonnement. Il suffit de prévoir un dispositif d'éclairage optique apte à éclairer la couche de connexion de façon appropriée à la loi de rayonnement souhaitée. Le dispositif à métasurface peut donc être employé pour différents usages.

[0073] Par ailleurs, la commande optique est permet de limiter les perturbations électromagnétiques. La commande optique est également décorrélée de la commande électrique de la source S. Elle assure une indépendance entre la fonction de reconfiguration de l'antenne et la fonction de rayonnement de l'antenne, l'émission de l'onde sphérique étant commandée électriquement.

[0074] La solution proposée est relativement simple à réaliser puisqu'elle comprend une unique source optique pour reconfigurer l'antenne. Elle est plus fiable qu'une solution qui comprendrait une source optique par spot devant être créée sur la couche de connexion pour obtenir la loi de rayonnement souhaitée.

[0075] Sur la figure 5, on a représenté schématiquement une vue éclatée du dispositif à métasurface selon l'invention lorsqu'il comprend en outre un dispositif optique de reconfiguration DR permettant de reconfigurer optiquement l'élément d'antenne 3.

[0076] Dans un souci de simplification, le canal O et la source S ne sont pas représentés sur la figure 5.

[0077] Le dispositif de reconfiguration DR de l'antenne est apte d'éclairer un ensemble d'au moins une zone, dite zone éclairée ZE, de la couche de connexion 80 de façon que la couche de connexion soit conductrice uniquement dans l'ensemble d'au moins une zone éclairée ZE, de sorte à connecter électriquement deux à deux entre-elles uniquement les pastilles métalliques 4 de l'élément d'antenne séparées et reliées par des zones continues de la couche de connexion 80 situées totalement dans une zone éclairée ZE de l'ensemble d'au moins une zone éclairée ZE pour former au moins un groupe G de pastilles conductrices 4 connectées électriquement entre elles.

[0078] Avantageusement, le dispositif de reconfiguration DR comprend une unique source optique de reconfiguration SR. La source de reconfiguration SR est configurée pour émettre un faisceau optique à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r .

[0079] Le dispositif à métasurface 1 comprend en outre un dispositif optique diffractif DIFF permettant, à partir du faisceau optique émis par la source SR, par diffraction, d'éclairer l'ensemble d'au moins une zone éclairée ZE de la couche de connexion à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r .

[0080] Avantageusement, comme dans l'exemple de la figure 5, le dispositif diffractif DIFF permet d'éclairer, à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r , un réseau de zones éclairées ZE continues (ou spots) de la couche de connexion 80, les zones éclairées ZE sont distantes les unes des autres et séparées par une zone non éclairée ZNE de la couche de connexion 80 de façon que la couche de connexion 80 soit conductrice uniquement dans les zones éclairées ZE. Les spots lumineux formés sur la couche de connexion 80 par le dispositif optique diffractif DIFF, c'est-à-dire les zones éclairées ZE, sont de forme arrondie dans l'exemple non limitatif de la figure 5 mais pourraient tout à fait présenter des formes différentes. La source S n'est pas représentée, sur cette figure, pour des raisons de clarté.

[0081] Les zones éclairées ZE de la couche 80 sont séparées par une zone non éclairée ZNE. Les zones éclairées ZE sont distantes les unes des autres. Cela

permet de créer des groupes de pastilles conductrices connectées électriquement entre-elles, les groupes étant isolés électriquement les uns des autres.

[0082] Le réseau peut en variante comprendre un ensemble d'au moins zones éclairées délimitant un réseau de zones non éclairées. Les zones éclairées sont distantes les unes des autres. Cela permet de créer des groupes de pastilles conductrices connectées électriquement entre-elles, les groupes étant connectés électriquement entre-eux.

[0083] Le réseau peut en variante comprendre au moins une zone éclairée entourée complètement par une zone non éclairée et au moins une zone non éclairée entourée complètement par une zone éclairée.

[0084] Le réseau de zones éclairées ZE correspond à l'image projetée par le dispositif de reconfiguration DR sur la face avant 22 du substrat 20. La face avant 22 du substrat 20 est le plan image du dispositif de reconfiguration DR.

[0085] Les zones blanches de l'élément d'antenne 3 de la figure 5 représentent les zones dans lesquelles les pastilles conductrices 4 sont déconnectées électriquement entre elles et les zones en damier représentent les groupes G de pastilles conductrices 4 connectées électriquement entre-elles.

[0086] Le dispositif de reconfiguration DR peut comprendre un ensemble d'au moins une lentille de focalisation pour focaliser l'image formée par le dispositif diffractif DIFF sur la face avant 22 du substrat 20.

[0087] La solution proposée permet de connecter électriquement, deux à deux uniquement les pastilles métalliques 4 de l'élément d'antenne 3 qui sont séparées et reliées une zone continue de la couche de connexion 80 située totalement dans une zone éclairée de l'ensemble d'au moins une zone éclairée pour former un réseau de groupe G de pastilles conductrices 4 connectées électriquement entre-elles.

[0088] Cette solution permet, par exemple, en choisissant le dispositif optique diffractif DIFF de façon appropriée, d'obtenir un élément d'antenne 3 multi-échelle apte à présenter des motifs unitaires correspondant aux pastilles conductrices et un pas égal au du réseau de pastilles conductrice 4. L'élément d'antenne est également apte à présenter des motifs unitaires correspondant aux groupes de pastilles conductrices connectées électriquement entre elles et donc un pas correspondant à un multiple du pas du réseau de pastilles conductrices 3.

[0089] Dans la réalisation particulière de la figure 5, chaque zone éclairée ZE de la couche de connexion 80 comprend plusieurs intervalles 6 et ouvertures 5. En effet, chaque zone éclairée ZE comprend un groupe de plus de 2 pastilles métalliques 4 de sorte que l'éclairement de la zone éclairée ZE à la longueur d'onde λ_r assure la connexion électrique entre toutes les pastilles métalliques 4 de l'élément d'antenne 3 situées dans la zone éclairée.

[0090] En variante, le dispositif optique diffractif DIFF est apte à éclairer un unique intervalle 6 ou une unique zone continue reliant deux pastilles adjacentes 4. Chaque zone éclairée permet de connecter uniquement deux pastilles adjacentes entre elle. La solution de la figure 5 est toutefois plus aisée à mettre en œuvre.

[0091] Il existe de nombreux dispositifs optiques diffractifs DIFF permettant d'éclairer un réseau de zones éclairées comme, par exemple, les éléments optiques diffractifs ou DOE, en référence à l'expression anglo-saxonne « Diffractive Optical Elements » ou dispositifs optiques basés sur une matrice de micro-miroirs ou DMD, en référence à l'expression anglo-saxonne « *digital micromirror device* ».

[0092] De tels dispositifs optiques diffractifs DIFF permettent de générer, par diffraction, un réseau monodimensionnel ou bidimensionnel de zones éclairées ou de zones non éclairées. Le réseau peut être régulier ou irrégulier.

[0093] Le dispositif optique diffractif DIFF peut être configuré pour être apte à éclairer, à partir du faisceau rayonné par la source, un unique ensemble de zones éclairées de la couche conductrices comme, par exemple, un dispositif optique diffractif DIFF basé sur un élément d'optique diffractif DOE situé à une distance fixe de la source SR et de la couche de connexion.

[0094] Le dispositif optique diffractif DIFF peut être configuré pour permettre de d'éclairer, à partir du faisceau rayonné par la source, SR alternativement, différents réseaux de zones éclairées de la couche de connexion 80, chaque réseau de zones éclairées étant différent des autres ensembles de zones éclairées.

[0095] C'est, par exemple, le cas d'un dispositif optique diffractif DIFF comprenant une matrice de micro-miroirs ou DMD, un dispositif de commande et un ensemble d'actionneurs permettant, sur commande de l'actionneur, de déplacer individuellement chacun des miroirs entre une première position dans laquelle il réfléchit la lumière vers une lentille de diffusion et une deuxième position dans

laquelle il réfléchit la lumière vers une surface absorbante de façon que la matrice de micro-miroirs éclaire, à partir du faisceau rayonné par la source de reconfiguration SR, un réseau de groupes de pastilles conductrices 4 connectées entre elles pris parmi un ensemble de réseaux prédéterminés.

[0096] Le dispositif de commande comprend, par exemple, une mémoire stockant un ensemble de réseaux de groupes de pastilles conductrices 4 connectées entre elles pris parmi un ensemble de réseaux prédéterminés et, associant à chacun de ces réseaux, la position prise parmi la première position et la deuxième position, devant être occupé par chacun des micro-miroirs pour que la matrice de micro-miroirs éclaire le réseau considéré à partir du faisceau rayonné par la source de reconfiguration.

[0097] Les zones continues éclairées ZE ou les zones continues non éclairées peuvent différer, par exemple, par leur forme et/ou leur taille et/ou leur orientation dans un repère lié à l'élément d'antenne. Chacun des réseaux de groupes de pastilles connectées électriquement entre elles peut être monodimensionnel ou bidimensionnel, périodique ou apériodique.

[0098] La solution proposée permet donc de modifier la loi de rayonnement de l'antenne en modifiant la fréquence, par exemple par modification du pas du réseau de pastilles conductrices et/ou la direction du rayonnement de d'antenne, par exemple par modification de l'orientation des groupes de cellules interconnectées. La modification de la direction du rayonnement de l'antenne équivaut à un balayage spatial du faisceau rayonnée par l'antenne.

[0099] Dans la réalisation de la figure 5, le dispositif de reconfiguration DR est configuré pour éclairer le substrat 20 ou l'empilement E en face arrière. Autrement dit, l'ensemble d'au moins un rayonnement projeté sur l'empilement E est projeté dans le sens de la face avant 22 vers la face arrière 21 du substrat. La couche de masse 70 est avantageusement réalisée dans un matériau transparent à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r pour ne pas absorber le rayonnement projeté par le dispositif de reconfiguration DR substrat de façon qu'il rende la couche de connexion 90 conductrice dans les zones éclairées pour interconnecter des pastilles conductrices.

[0100] Dans une variante du dispositif à métasurface 100, représentée en figure 6, le dispositif de reconfiguration DR est configuré pour éclairer l'empilement E en face

avant, c'est-à-dire l'ensemble d'au moins un rayonnement projeté sur l'empilement E est projeté dans le sens de la face avant 22 vers la face arrière 21 du substrat 20.

[0101] Ce mode de réalisation est moins contraignant et peut être moins coûteux que l'éclairage en face arrière 21 car la couche de masse ne masque pas la couche de connexion. Le choix du matériau formant la couche de masse peut être plus vaste. La couche de masse peut être réalisée comme décrit précédemment ou être réalisée dans un matériau absorbant le rayonnement à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r . Elle peut par exemple être une couche métallique peu onéreuse.

[0102] Sur la figure 6, le dispositif diffractif DIFF est monté en regard de l'élément d'antenne 3. Dans un souci de simplicité le canal O et la source S ne sont pas représentés sur les figures 6 et 7. Le dispositif diffractif DIFF présente, par exemple, sensiblement une forme de plaque plane sensiblement parallèle à la face avant 21 du substrat 20.

[0103] Le dispositif diffractif DIFF est, par exemple, monté sur un couvercle de protection CP de la métasurface ou radôme. Ce couvercle CP présente une forme de plaque sensiblement parallèle à la face avant 21 du substrat 20 et est disposé à distance de l'élément d'antenne 3 selon l'axe z. Le couvercle CP est avantageusement transparent dans le domaine optique, au moins à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r , ce qui permet de disposer le dispositif optique diffractif DIFF sur la face avant AV du couvercle, sans gêner la reconfiguration de l'élément d'antenne 3.

[0104] Le dispositif diffractif éclaire les zones éclairées ZE comprises dans une zone globale Z.

[0105] En variante, le dispositif diffractif DIFF est monté sur une face arrière AR du couvercle CP, cette face arrière AR étant en regard de l'élément d'antenne 3.

[0106] La source SR peut comprendre un laser L déporté et une fibre optique transmettant le rayonnement émis par la source SR jusqu'à une extrémité de la fibre optique FO disposée en regard du dispositif optique diffractif DIFF. L'extrémité de la fibre optique FO est maintenue en regard du dispositif optique diffractif DIFF par un support.

[0107] Dans la variante représentée en figure 7, le dispositif diffractif DIFF du dispositif à métasurface 1001 est monté sur un cadre CA maintenant un couvercle de protection CP à distance de l'élément d'antenne 3.

[0108] Le dispositif diffractif DIFF présente, par exemple, sensiblement une forme de plaque plane sensiblement perpendiculaire à la face avant 22 du substrat 20. La face avant 22 est alors éclairée de façon rasante.

[0109] Cette configuration permet de limiter le masquage de l'élément d'antenne par le dispositif optique diffractif DIFF.

[0110] La figure 8 représente une variante de dispositif à métasurface 201. Le dispositif à métasurface 201 diffère de celui de la figure 4 par le substrat 200 et, plus particulièrement, en ce que la couche de masse 212 est matériau semi-conducteur photoconducteur. Dans un souci de simplicité le coaxial et la source électrique SE ne sont pas représentés sur la figure 8.

[0111] Avantageusement, le dispositif à métasurface comprend la couche de connexion 280 et la couche de masse 212, la couche de connexion 280 étant interposée entre l'élément d'antenne 3 et la couche de masse 212. La couche de connexion 280 est disposée sur la face avant 224 de la couche de masse 212.

[0112] Le substrat S comprend également une couche isolante 214 formée sur la face arrière 225 de la couche de masse 212. La couche isolante 214 est transparente à une longueur d'onde de commutation λ_c .

[0113] Par exemple, la couche isolante est transparente aux faisceaux optiques. La couche isolante 214 est, par exemple, réalisée en verre, par exemple en dioxyde de silicium ou en borosilicate, qui présente l'avantage de croître aisément sur le silicium.

[0114] Avantageusement, la couche de masse 212 est apte à être dans un état isolant dans lequel elle empêche la propagation de l'onde de surface sur la surface avant 22 de substrat 20, de sorte à empêcher l'élément d'antenne

[0115] Par exemple, la couche de masse 212 est apte à être dans un état isolant dans lequel elle empêche la propagation de l'onde de surface (générée par la source S) sur la surface avant 22 de substrat 20, depuis le dispositif d'émission et/ou de réception jusqu'aux pastilles conductrices 4, ou inversement, ce qui empêche

l'élément d'antenne 3 de rayonner à la longueur d'onde de l'onde électromagnétique, selon une direction présentant une composante non nulle selon l'axe z.

[0116] La couche de masse 212 est également apte à être et dans un état conducteur dans lequel la couche de masse 212 a une fonction de plan de masse permettant la propagation de l'onde de surface sur la surface avant 22 du substrat 20. Ainsi l'élément d'antenne 3 transforme ou réfléchit l'onde de surface et rayonne une onde électromagnétique selon une direction présentant une composante perpendiculaire à la surface avant 22 du substrat 20, c'est-à-dire une composante selon l'axe z.

[0117] La couche de masse 212 est apte à passer de l'état isolant à l'état conducteur par photoconductivité sous l'effet de éclairnement de la couche de masse 212 par un faisceau optique à une longueur d'onde dite de commutation λ_c . Elle est également apte à être maintenue dans l'état conducteur lorsque l'éclairnement est maintenu.

[0118] Ainsi, en commandant optiquement la couche de masse 212, pour la faire passer de l'état isolant à l'état conducteur, on fait passer le dispositif à métasurface 201 d'un état éteint, dans lequel il est inapte à rayonner sous l'effet du rayonnement de la source S, à un état allumé, dans lequel il est apte à rayonner sous l'effet du rayonnement de la source S.

[0119] Afin de commander optiquement la couche de masse 212, le dispositif à métasurface 201 comprend avantageusement une source de commutation 8 apte passer d'un état dans lequel elle n'éclaire pas la couche de masse de sorte que la couche de masse 212 soit dans l'état isolant à un état dans lequel elle éclaire la couche de masse 7 à la longueur d'onde de commutation de façon qu'elle passe de l'état isolant à l'état conducteur.

[0120] Le dispositif à métasurface comprend, avantageusement, un dispositif de commande DC permettant de commander la source de commutation 8 de façon à la faire passer d'un état allumé dans lequel elle éclaire la couche de masse, pour que la couche de masse soit dans l'état conducteur, à un état éteint dans lequel elle n'éclaire pas couche de masse, et inversement.

[0121] Ainsi, la commande de la couche de masse 212 est indépendante de la commande de la source d'onde électromagnétique générant l'onde sphérique

d'excitation de la métasurface et donc du signal rayonné par le dispositif à métasurface.

[0122] La précision temporelle d'une commande optique est meilleure que celle d'une commande électrique. Cette solution permet donc d'obtenir une très bonne précision temporelle sur un instant auquel on allume ou on éteint le dispositif à métasurface et donc sur un instant auquel on émet un rayonnement électromagnétique. En effet, l'antenne ne rayonne que lorsque la structure de masse est éclairée de façon à créer le plan de masse.

[0123] Cette précision temporelle permet de réaliser des mesures précises, par exemple, pour les applications radar ou en télécommunications. Elle permet, par exemple, d'obtenir une bonne précision sur la mesure du temps de trajet aller-retour de l'onde émise jusqu'à l'objet éclairé.

[0124] Dans la suite du texte, par épaisseur d'une partie du dispositif, on entend sa dimension selon l'axe z de l'empilement.

[0125] Le matériau semi-conducteur photoconducteur de la couche de masse 212 est choisi de façon que la couche de masse 212 présente une profondeur de pénétration E_1 inférieure à l'épaisseur E de la couche de masse 212 à la longueur d'onde de commutation λ_c de sorte que lorsque la totalité de la face arrière 225 de la couche de masse 212 est éclairée à la longueur d'onde de commutation λ_c , la couche de masse 212 comprend :

- une portion conductrice 215 formant le plan de masse et s'étendant, depuis la face arrière 225, sur une épaisseur de la portion conductrice inférieure à l'épaisseur E de la couche de masse 212 et,
- une portion isolante 216 s'étendant sur le reste de l'épaisseur E de sorte que la portion conductrice 215 soit isolée de l'élément d'antenne 3 par la portion isolante 216 lorsque la couche de connexion 280 est conductrice.

[0126] Dans la réalisation de la figure 8, le dispositif de reconfiguration DR est configuré pour éclairer la face arrière 22 du substrat 202.

[0127] La couche de masse 212 est avantageusement en matériau photoconducteur transparent à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r différente de la longueur

d'onde de commutation λ_c et la couche de connexion est dans un matériau transparent à la longueur d'onde de commutation λ_c .

[0128] On choisit avantageusement des matériaux transparents à des longueurs d'ondes respectives éloignées l'une de l'autre, par exemple un matériau transparent à 800 nm et présentant un coefficient d'absorption élevé à 1,5 micromètre et un autre matériau sensiblement transparent à 1,5 micromètre et présentant un coefficient d'absorption élevé à 800 nm.

[0129] On peut, par exemple choisir une couche de masse du type AsGa et un couche de connexion en matériau semi-conducteur bidimensionnel.

[0130] En variante, le dispositif de reconfiguration DR est configuré pour éclairer l'empilement EE en face avant. La couche de connexion 280 présente avantageusement une épaisseur telle que les faisceaux optiques éclairant la face avant 22 du substrat 20 à la longueur d'onde λ_r sont totalement absorbés par la couche de connexion 280 ce qui permet de réaliser la couche de masse en matériau absorbant à la longueur d'onde λ_r .

[0131] Alors, l'épaisseur de la couche de connexion est avantageusement choisie de façon à être supérieure à la profondeur de pénétration de la lumière à la longueur d'onde λ_r .

[0132] En variante, la couche de masse est la couche de connexion. Il est possible de reconfigurer le dispositif à métasurface par le dispositif de reconfiguration DR par un éclairage face avant lorsque la source de commutation 8 éclaire le substrat en face arrière en choisissant les longueurs d'ondes λ_r et λ_c et l'épaisseur de la couche de connexion de sorte que la couche de masse comprenne une portion isolante isolant électriquement les zones ZE éclairées rendues conductrices par le dispositif de reconfiguration DR et la zone conductrice rendue conductrice par la source de commutation 8.

[0133] La figure 9 représente une variante de dispositif à métasurface 301. Le dispositif à métasurface 301 diffère de celui de la figure 4 par le substrat 300 et, plus particulièrement, en ce que la couche de masse 370 est apte à passer d'un état isolant à un état conducteur par photoconductivité sous l'effet de l'éclairage de la couche de masse 370 par une source 8 à la longueur d'onde de commutation λ_c .

[0134] La couche de masse 370 comprend une partie centrale photoconductrice PC entourant le canal O et une partie périphérique conductrice PF entourant la partie centrale photoconductrice PC.

[0135] La partie centrale photoconductrice PC en matériau semi-conducteur présente une forme de couronne entourant et délimitant le canal O.

[0136] La partie périphérique conductrice PF présente une forme de couronne entourant la partie centrale photoconductrice PC.

[0137] La partie périphérique conductrice PF est accolée à la partie centrale photoconductrice PC.

[0138] La partie centrale photoconductrice PC est apte à être alternativement dans un état isolant et dans un état conducteur.

[0139] La partie centrale photoconductrice PC est dans l'état isolant lorsqu'elle n'est pas éclairée.

[0140] La partie centrale photoconductrice PC est apte à passer dans l'état conducteur, dans lequel elle totalement conductrice, lorsqu'elle est éclairée à la longueur d'onde de commutation λ_c par photoconductivité.

[0141] La partie centrale photoconductrice PC est réalisée en un matériau semi-conducteur comme, par exemple, le Silicium, l'arséniure de gallium GaAs ou un matériau bi-dimensionnel comme, par exemple, un dichalcogénure de métal de transition ou TMD, acronyme de l'expression anglo-saxonne « Transition metal dichalcogenide » ou en un matériau semi-conducteur organique.

[0142] La partie périphérique conductrice PF est, par exemple, métallique ou en oxyde d'indium étain ou ITO pour l'appellation anglaise « *Indium tin oxide* ») qui est transparent dans le spectre visible.

[0143] Lorsque la partie centrale photoconductrice PC est dans l'état isolant, elle empêche la propagation de l'onde de surface générée par la source S sur la surface avant 22 de substrat 300 depuis la source jusqu'à l'élément d'antenne 3 c'est-à-dire jusqu'aux pastilles conductrices 4, ou inversement.

[0144] Lorsque la partie centrale photoconductrice PC est dans l'état conducteur, la couche de masse 370 est sensiblement totalement conductrice. Elle est continument conductrice en regard de la totalité de l'élément d'antenne 3 ou métasurface. La

couche de masse 7 a donc une fonction de plan de masse permettant la transmission de l'onde de surface sur la surface avant 22 du substrat 2. L'élément d'antenne 3 réfléchit ou transforme l'onde de surface. L'élément d'antenne 3 rayonne une onde totale à la longueur d'onde de l'onde électromagnétique selon une direction comprenant une composante perpendiculaire à la surface supérieure 22.

[0145] La source de commutation 8 comprend, par exemple, une source laser, par exemple diode laser à cavité verticale émettant par la surface ou VCSEL acronyme de l'expression anglo-saxonne « diode laser à cavité verticale émettant par la surface » ou une diode électroluminescente.

[0146] La source de commutation 8 comprend, par exemple, un miroir, pour dévier le faisceau optique émis par la source laser de façon que le faisceau optique éclaire la surface souhaitée.

[0147] La partie photoconductrice centrale PC est avantageusement en matériau photoconducteur transparent à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r différente de la longueur d'onde de commutation λ_c et la couche de connexion 80 est dans un matériau transparent à la longueur d'onde de commutation λ_c .

[0148] La figure 10 représente une variante de dispositif à métasurface 301. Le dispositif à métasurface 301 diffère de celui de la figure 4 par son substrat 302 qui diffère du substrat 2 de la figure 4 par la couche de masse 470 qui est dépourvue de la partie centrale PC et par la couche intermédiaire 290 qui est réalisée en matériau semi-conducteur photoconducteur choisi de sorte que, lorsque la source 8 éclaire la partie centrale 292 de la face arrière 291 de la couche intermédiaire 290 à la longueur d'onde de commutation λ_c , cette partie centrale 292 devient conductrice et la couche de masse 470 a la fonction de plan de masse. La couche de masse 470 comprend la face arrière 221 du substrat 302.

[0149] La face arrière 291 de la couche intermédiaire 290 est accolée à la couche de masse 470.

[0150] La partie centrale 292 relie le canal O à la partie périphérique PF.

[0151] Le dispositif comprend donc une structure de masse comprenant la couche de masse 470; comprenant uniquement la partie périphérique PF, et la partie centrale 292 de la face arrière 291 de la couche intermédiaire 290. L'épaisseur EP de la

couche intermédiaire 290 est supérieure à la profondeur de pénétration du matériau qui la forme de façon que la couche intermédiaire 290 assure l'isolation électrique entre le plan de masse et les pastilles conductrices 4.

[0152]Avantageusement le matériau formant la couche intermédiaire 290 est transparent à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r différente de la longueur d'onde de commutation λ_c et la couche de connexion 80 est dans un matériau transparent à la longueur d'onde de commutation λ_c .

[0153]Les longueurs d'onde de commutation et/ou de reconfiguration sont, par exemple, situées dans le domaine infrarouge. Elles sont, par exemple, comprises entre 800 nm et 1500 nm ce qui permet d'utiliser des matériaux semi-conducteurs conventionnels tels que le silicium et l'arséniure de gallium (AsGa). Les longueurs d'onde de commutation et de reconfiguration peuvent être situées dans tout le domaine optique. Elles peuvent, par exemple, être situées dans le domaine ultra-violet ou le visible. On peut par exemple utiliser des matériaux semi-conducteurs bidimensionnels ou le nitrure de gallium (GaN).

[0154]Dans la réalisation de la figure 4, le dispositif à métasurface comprend une source d'émission d'ondes électromagnétiques S de sorte que le dispositif à métasurface est apte à rayonner une onde électromagnétique. De façon plus générale, applicable à tous les modes de réalisation, le dispositif à métasurface comprend un dispositif d'émission et/ou de réception apte à émettre et/ou à recevoir une onde électromagnétique, le dispositif d'émission et/ou réception étant configuré et disposé de façon que l'onde électromagnétique qu'il émet ou reçoit soit apte à se propager sous forme d'une onde de surface sur la surface avant du substrat. Dans le cas d'un dispositif de réception, l'élément d'antenne est apte à réfléchir ou transformer une onde se déplaçant selon une direction comprenant une composante non nulle selon l'axe x pour la transformer en une onde se propageant sur la surface avant du substrat et étant reçue par le dispositif de réception pouvant comprendre un câble coaxial tel que représenté en figure 4. Le dispositif comprend alors des moyens de traitement du signal reçu par le câble coaxial. Le dispositif d'émission et/ou de réception est destiné à fonctionner à une certaine longueur d'onde.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif à métasurface comprenant :

- un substrat (20) ayant une surface arrière (21) et une surface avant (22), le substrat (20) comprenant une structure de masse (70) apte à avoir une fonction de plan de masse,
- un dispositif d'émission et/ou de réception apte à émettre et/ou à recevoir une onde électromagnétique, le dispositif d'émission et/ou de réception étant configuré et disposé de façon que l'onde soit apte à se propager sous forme d'une onde de surface sur la surface avant du substrat,
- un élément d'antenne (3) comprenant un réseau bidimensionnel de pastilles électriquement conductrices (4) disposées sur la surface avant du substrat (20), distantes les unes des autres et présentant des dimensions inférieures à la longueur d'onde de fonctionnement du dispositif d'émission et/ou de réception, l'élément d'antenne (3) étant apte à rayonner, sous l'effet de la propagation d'une onde de surface sur la surface avant du substrat, selon une direction présentant une composante perpendiculaire à la surface avant du substrat lorsque la structure de masse (270) présente une fonction de plan de masse, le substrat (20) comprenant une couche dite de connexion (80) en matériau semi-conducteur photoconducteur, en contact physique direct les pastilles conductrices (4), le matériau semi-conducteur étant isolant lorsqu'il n'est pas éclairé et apte à être conducteur lorsqu'il est éclairé à une longueur d'onde dite de reconfiguration.

2. Dispositif à métasurface selon la revendication précédente, comprenant un dispositif optique de reconfiguration (DR) apte à éclairer un ensemble d'au moins une zone, dite zone éclairée, de la couche de connexion (80) de façon que la couche de connexion (80) soit conductrice uniquement dans l'ensemble d'au moins une zone éclairée, de sorte à connecter électriquement deux à deux les pastilles métalliques (4) de l'élément d'antenne séparées et reliées par une zone continue de la couche de connexion (80) située totalement dans une zone éclairée (ZE) de l'ensemble d'au moins une zone éclairée (ZE) pour former au moins un groupe (G) de pastilles conductrices (4) connectées électriquement entre elles.

3. Dispositif à métasurface (1) selon la revendication précédente, dans lequel le dispositif optique de reconfiguration (DR) comprend une unique source optique de

reconfiguration (DIFF) apte à émettre un faisceau optique à la longueur d'onde de reconfiguration et un dispositif optique diffractif (DIFF) permettant, à partir du faisceau optique, par diffraction, d'éclairer l'ensemble d'au moins une zone éclairée (ZE) à la longueur d'onde de reconfiguration.

4. Dispositif à métasurface (1) selon la revendication précédente, dans lequel le dispositif diffractif (DIFF) permet d'éclairer un réseau de zones éclairées (ZE), de la couche de connexion (80) ou un ensemble d'au moins une zone éclairée délimitant des zones de la couche de connexion non éclairées par le dispositif diffractif (DIFF).

5. Dispositif à métasurface selon la revendication précédente, dans lequel le dispositif diffractif (DIFF) est apte éclairer alternativement différents d'au moins une zone éclairée de la couche de connexion (80).

6. Dispositif à métasurface selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une structure de masse (370) apte à avoir une fonction de plan de masse, la structure de masse (370) étant apte à être alternativement dans un état isolant dans lequel elle empêche la propagation de l'onde de surface sur la surface avant (22) de substrat (2) depuis le dispositif d'émission et/ou de réception jusqu'aux pastilles conductrices (4), ou inversement, et dans un état conducteur dans lequel la structure de masse (370) a une fonction de plan de masse permettant la propagation de l'onde de surface sur la surface avant (22) du substrat (2) depuis le dispositif d'émission et/ou de réception jusqu'aux pastilles conductrices, ou inversement, la couche de masse (7) étant apte à passer de l'état isolant à l'état conducteur par éclairage de la couche de masse (7) par un faisceau optique à une longueur d'onde dite de commutation.

7. Dispositif à métasurface selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, dans lequel le dispositif de reconfiguration (DR) est configuré et disposé pour éclairer le substrat en face arrière.

8. Dispositif à métasurface selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, dans lequel le dispositif de reconfiguration (DR) est apte à éclairer le substrat en face avant.

9. Dispositif à métasurface selon la revendication 8, dans lequel le dispositif diffractif (DIFF) est monté sur un couvercle du dispositif à métasurface, le couvercle

étant disposé en regard de l'élément d'antenne (3) à distance de l'élément d'antenne (3).

10. Dispositif à métasurface selon la revendication 8, dans lequel le dispositif diffractif (DIFF) présente une forme de plaque sensiblement plane sensiblement perpendiculaire à la surface avant (22).