

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] Il existe un besoin de proposer de tels dispositifs à métasurface présentant une bonne précision temporelle de façon, par exemple, à permettre de mesurer des distances avec une bonne précision lorsque le dispositif à métasurface est utilisé en radar.

[0005] Un but de l'invention est de proposer un dispositif d'antenne à métasurface permettant d'obtenir une bonne précision temporelle.

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

- un substrat ayant une surface arrière et une surface avant;
- un dispositif d'émission et/ou de réception apte à émettre et/ou recevoir une onde électromagnétique, configurée et disposée 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 conductrices disposées sur la surface avant du substrat, 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,
- le substrat comprenant 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 la fonction de plan de masse permettant la propagation de l'onde de surface sur la surface avant du substrat, depuis le dispositif d'émission réception jusqu'aux pastilles conductrices, ou inversement, la structure de masse étant apte à passer de l'état isolant à l'état conducteur par éclairage de la structure de masse à une longueur d'onde dite de commutation.

[0007] Lorsque la structure de masse a un plan de masse autorisant l'onde de surface à se propager depuis le dispositif d'émission réception jusqu'aux pastilles conductrices ou inversement, l'élément d'antenne est apte à réfléchir ou transformer l'onde de surface pour rayonner selon une direction présentant une composante perpendiculaire à la surface avant du substrat (en mode émission) ou à réfléchir ou transformer une onde reçue sur la surface avant du substrat pour la transformer en une onde de surface (en mode réception).

[0008] Avantageusement, le dispositif à métasurface comprend une source de commutation apte passer d'un état dans lequel elle n'éclaire pas la structure de masse de sorte que la structure de masse soit dans l'état isolant, à un état dans lequel elle éclaire la structure de masse de façon que la structure de masse soit à l'état conducteur.

[0009] Dans un premier mode de réalisation, le substrat comprend une couche de masse et une couche intermédiaire isolant le plan de masse des pastilles conductrices lorsque la structure de masse a la fonction de plan de masse, la structure de masse comprenant une partie centrale photoconductrice et une partie périphérique conductrice entourant la partie centrale photoconductrice, la partie centrale photoconductrice étant dans un état isolant, lorsqu'elle n'est pas éclairée,

dans lequel elle empêche la propagation de l'onde de surface depuis le dispositif d'émission et/ou de réception jusqu'aux pastilles conductrices, ou inversement, la partie centrale photoconductrice étant apte à être dans un état conducteur, lorsqu'elle est éclairée à la longueur d'onde de commutation, dans lequel la partie centrale photoconductrice est conductrice de sorte que la structure de masse a la fonction de plan de masse.

[0010] Dans un premier exemple, la structure de masse est une couche de masse, la couche intermédiaire étant interposée entre les pastilles conductrices et la couche de masse.

[0011] Dans un deuxième exemple, la couche intermédiaire est en un matériau semi-conducteur photoconducteur apte à être dans un état conducteur lorsqu'il est éclairé à la longueur d'onde de commutation, la couche intermédiaire étant interposée entre les pastilles conductrices et la partie périphérique conductrice, la partie centrale photoconductrice comprenant une partie centrale d'une face arrière de la couche intermédiaire, la face arrière de la couche intermédiaire étant en contact physique direct avec la partie périphérique conductrice.

[0012] Dans un exemple particulier, le dispositif comprend plusieurs sources de commutation, la structure de masse comprenant plusieurs parties centrales photoconductrices et un commutateur permettant d'éclairer de façon sélective une seule des parties centrales photoconductrice prise parmi les parties centrales photoconductrices et/ou permettant d'éclairer simultanément de façon sélective plusieurs parties centrales photoconductrices.

[0013] Dans une deuxième mode de réalisation, la structure de masse est une première couche photoconductrice réalisée dans un unique matériau semi-conducteur photoconducteur, le matériau photoconducteur étant isolant lorsqu'il n'est pas éclairé et conducteur lorsqu'il est éclairé à la longueur d'onde de commutation.

[0014] Avantageusement, le matériau semi-conducteur photoconducteur formant la première couche photoconductrice est choisi de façon que la première couche photoconductrice présente une profondeur de pénétration inférieure à l'épaisseur de la couche première photoconductrice à la longueur d'onde de commutation de sorte que lorsque la totalité d'une face arrière de la première couche photoconductrice est éclairée à la longueur d'onde de commutation par la source de commutation, la

première couche photoconductrice comprend :
- une portion conductrice formant le plan de masse et s'étendant depuis la face arrière de la couche semi-conductrice sur une épaisseur inférieure à l'épaisseur de la première couche semi-conductrice et,
- une portion isolante s'étendant sur le reste de l'épaisseur de la couche semi-conductrice de sorte que la portion conductrice soit isolée des pastilles conductrices par la portion isolante.

[0015]Avantageusement, le dispositif à métasurface comprend une couche intermédiaire semi-conductrice, le dispositif à métasurface comprenant un dispositif de reconfiguration optique comprenant une source dite de reconfiguration émettant un faisceau optique et un dispositif optique diffractif apte éclairer un ensemble d'au moins une zone, dite zone éclairée, de la couche intermédiaire de façon que la couche de intermédiaire 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 intermédiaire située totalement dans une zone éclairée de l'ensemble d'au moins une zone éclairée pour former au moins un groupe de pastilles conductrices (4) connectées électriquement entre elles.

[0016]Avantageusement, la couche intermédiaire est interposée entre la couche de masse et les pastilles conductrices. En variante, la couche intermédiaire est la couche de masse

[0017]Le dispositif à métasurface selon l'invention présente l'avantage de prévoir une commande optique pour la génération du plan de masse. Cette commande est donc indépendante de la commande de la source d'ondes électromagnétiques d'excitation de la métasurface (ou de l'élément d'antenne) et donc du signal rayonné par le dispositif à métasurface.

[0018]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.

[0019] 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.

[0020] La commande optique du plan de masse peut également être décorrélée d'une autre commande optique pour assurer la connexion électrique sélective des pastilles conductrices de la métasurface pour configurer l'élément d'antenne, par exemple, pour régler l'échelle de la métasurface, c'est-à-dire le pas des éléments d'antenne de la métasurface.

[0021] 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 :

[0022] [Fig.1] la figure 1 illustre schématiquement, en vue de dessus, un premier exemple d'un dispositif à métasurface selon un premier mode de réalisation de l'invention,

[0023] [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, un premier exemple d'un dispositif à métasurface selon un premier mode,

[0024] [Fig.3] la figure 3 illustre schématiquement, un autre exemple d'élément d'antenne,

[0025] [Fig.4] la figure 4 illustre schématiquement, en coupe, le dispositif de la figure 1,

[0026] [Fig.5] la figure 5 illustre schématiquement, en vue de dessous, le dispositif de la figure 1,

[0027] [Fig.6] la figure 6 illustre schématiquement, en coupe, un deuxième exemple du dispositif selon le premier mode de réalisation de l'invention,

[0028] [Fig.7] la figure 7 illustre schématiquement, en coupe, un troisième exemple du dispositif selon le premier mode de réalisation de l'invention,

[0029] [Fig.8] la figure 8 illustre schématiquement, en coupe, un dispositif à métasurface selon un deuxième mode de réalisation,

[0030] [Fig.9] la figure 9 illustre schématiquement, en vue éclatée, le dispositif à métasurface de la figure 8.

[0031] D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont repérés par les mêmes références.

[0032] Dans la suite du texte, par conducteur, on entend conducteur électriquement et par isolant, on entend isolant électriquement.

[0033] 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.

[0034] La figure 1 illustre schématiquement, en vue de dessus, un dispositif à métasurface 1 selon l'invention.

[0035] 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.

[0036] L'élément d'antenne 3 comprend un réseau périodique bidimensionnel de pastilles conductrices 4 (ou patchs conducteurs) disposées sur la surface avant du substrat.

[0037] Les pastilles conductrices 4 sont distantes les unes des autres. Les pastilles conductrices 4 sont séparées par des ouvertures 5. L'élément d'antenne 3 constitue une métasurface.

[0038] Les pastilles conductrices 4 sont, par exemple, des pastilles métalliques ou d'oxyde d'indium-étain ou ITO tout comme la couronne métalliques CM.

[0039] 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.

[0040] 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.

[0041] L'élément d'antenne 3 comprend donc des intervalles 6 séparant les pastilles adjacentes par leurs sommets adjacents.

[0042] 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.

[0043] 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.

[0044] Les pastilles conductrices 4 présentent des côtés ou des dimensions sub-longueur d'ondes. Il en est de même pour le pas du réseau.

[0045] 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.

[0046] 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 .

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] 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.

[0052] La figure 4 illustre schématiquement en coupe le dispositif à métasurface 1 de la figure 1 constituant un premier exemple de dispositif à métasurface selon un premier mode de réalisation de l'invention. La figure 5 est une vue schématique arrière du même dispositif.

[0053] 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.

[0054] La source est, avantageusement isotrope.

[0055] La source, permet, avantageusement, d'émettre des ondes électromagnétiques sphériques ou cylindriques. La source comprend, par exemple, un monopôle.

[0056] 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.

[0057] Le dispositif à métasurface 1 comprend un canal O traversant l'empilement E selon l'axe z.

[0058] 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.

[0059] L'extrémité dénudée ED traverse le substrat 2 et s'étend en regard de couronne métallique CM.

[0060] 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.

[0061] 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] Le substrat 2 comprend une couche de masse 7 apte à avoir une fonction de plan de masse.

[0065] La couche de masse 7 est continue et s'étend en regard de la totalité de l'élément d'antenne 3.

[0066] La couche de masse 7 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 ou face avant du substrat 2 de sorte à empêcher l'élément d'antenne 3 de rayonner.

[0067] La couche de masse 7 est également apte à être dans un état conducteur dans lequel la couche de masse 7 a une fonction de plan de masse permettant la transmission de l'onde de surface sur la surface avant 22 du substrat 2, depuis la source jusqu'aux pastilles conductrices 4, c'est-à-dire jusqu'à l'élément d'antenne 3, 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.

[0068] La couche de masse 7 est apte à passer de l'état isolant à l'état conducteur par éclairage de la couche de masse 7 à une longueur d'onde dite de commutation λ_c . Elle est également apte à être maintenue dans l'état conducteur lorsque l'éclairage est maintenu.

[0069] Ainsi, en commandant optiquement la couche de masse 7, pour la faire passer de l'état isolant à l'état conducteur, on fait passer l'élément d'antenne 3 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.

[0070] Afin de commander optiquement la couche de masse 7, le dispositif à métasurface 1 comprend avantageusement une source de commutation 8 apte à passer d'un état dans lequel elle n'illumine pas la couche de masse de sorte que la couche de masse 7 soit dans l'état isolant à un état dans lequel elle illumine la

couche de masse 7 de façon que la couche de masse 7 passe de l'état isolant à l'état conducteur.

[0071] Nous allons maintenant décrire plus précisément le premier exemple du premier mode de réalisation de l'invention représenté en figures 4 et 5. La figure 4 illustre schématiquement en coupe le dispositif selon l'invention.

[0072] Le substrat 2 comprend un empilement de plusieurs couches comprenant la couche de masse 7 et une couche intermédiaire 9 interposée entre les pastilles conductrices et la couche de masse 7. La couche intermédiaire 9 a pour fonction d'isoler électriquement la couche de masse 7 des pastilles conductrices 4.

[0073] Dans la réalisation particulière de la figure 4, la couche intermédiaire 9 est isolante quel que soit l'état (premier état ou deuxième état de la source 8).

[0074] La couche intermédiaire 9 est, par exemple, réalisée en un semi-conducteur isolant lorsqu'il est éclairé à la longueur d'onde de commutation λ_c . Elle est, par exemple, en silicium ou en arséniure de gallium.

[0075] La couche intermédiaire 9 comprend la surface avant 22 du substrat 2. La surface avant 22 du substrat 2 est en contact physique direct avec les pastilles conductrices 4.

[0076] La couche intermédiaire 9 comprend une face arrière 23 sur laquelle est formée la couche de masse 7, c'est-à-dire en contact physique direct avec la couche de masse 7.

[0077] La couche de masse 7 comprend la face arrière 21 du substrat 2.

[0078] La couche de masse 7 est avantageusement reliée électriquement au câble coaxial C et, plus particulièrement au blindage B.

[0079] La figure 5 représente une vue de derrière de l'empilement E et du câble coaxial C. Pour plus de clarté, le miroir 82 n'est pas représenté.

[0080] La couche de masse 7 comprend une partie centrale photoconductrice PC entourant le canal O et une partie périphérique conductrice PF entourant la partie centrale photoconductrice PC.

[0081] La partie centrale photoconductrice PC présente une forme de couronne entourant et délimitant le canal O.

[0082] La partie périphérique conductrice PF présente une forme de couronne entourant la partie centrale photoconductrice PC.

[0083] La partie périphérique conductrice PF est accolée à la partie centrale photoconductrice PC.

[0084] La partie centrale photoconductrice PC est apte à être alternativement dans un état isolant et dans un état conducteur.

[0085] La partie centrale photoconductrice PC est dans l'état isolant lorsqu'elle n'est pas éclairée.

[0086] 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.

[0087] 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.

[0088] 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.

[0089] Lorsque la partie centrale photoconductrice PC est dans l'état isolant, elle empêche la propagation de l'onde de surface sur la surface avant 22 de substrat 2 depuis la source jusqu'à l'élément d'antenne ou les pastilles conductrices 4.

[0090] Lorsque la partie centrale photoconductrice PC est dans l'état conducteur, la couche de masse 7 est sensiblement totalement conductrice. Elle est sensiblement continûment 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 selon une direction comprenant une composante perpendiculaire à la surface supérieure 22.

[0091] Ainsi, en commandant optiquement la partie centrale photoconductrice PC pour la faire passer de l'état isolant à l'état conducteur, on fait passer le dispositif à métasurface d'un état éteint dans lequel l'élément d'antenne 3 est inapte à rayonner sous l'effet du rayonnement de la source S à un état allumé dans lequel le dispositif à métasurface est apte à rayonner sous l'effet du rayonnement de la source S.

[0092] Afin de commander optiquement la partie centrale photoconductrice PC, le dispositif à métasurface comprend avantageusement la source de commutation 8, apte à illuminer la partie centrale photoconductrice PC à la longueur d'onde de commutation λ_c de façon à faire passer la partie centrale photoconductrice PC de l'état isolant à l'état conducteur dans lequel la partie centrale photoconductrice PC est sensiblement totalement conductrice ou totalement conductrice. Lorsque l'éclairement de la partie centrale photoconductrice est maintenu, la partie centrale photoconductrice est maintenue à l'état conducteur.

[0093] Avantageusement, la source de commutation 8 est disposée et configurée de façon à permettre d'émettre un faisceau lumineux éclairant sensiblement totalement la face arrière 25 de la partie centrale photoconductrice PC à la longueur d'onde de commutation λ_c de façon à faire passer ou à maintenir la partie centrale photoconductrice PC dans l'état conducteur dans lequel elle est totalement conductrice.

[0094] Par face arrière 25 de la partie centrale photoconductrice PC, on entend la face de la partie centrale photoconductrice PC qui est opposée à la couche intermédiaire 9. La face avant 26 de la partie centrale photoconductrice fait face à la couche intermédiaire 9.

[0095] La source de commutation 8 comprend, par exemple, une source laser 81, 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.

[0096] La source de commutation 8 comprend, par exemple, un miroir 82, pour dévier le faisceau optique émis par la source laser 81 de façon que le faisceau optique éclaire la surface souhaitée. La source optique comprend, par exemple, une lentille optique destinée à collimater le faisceau issu de la source laser.

[0097] Le dispositif à métasurface 1 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 partie centrale photoconductrice PC, pour que la couche de masse 7 soit dans l'état conducteur, à un état éteint dans lequel elle n'éclaire pas la partie centrale photoconductrice PC, et inversement.

[0098] La figure 6 représente schématiquement, en coupe, un deuxième exemple du premier mode de réalisation selon l'invention.

[0099] Dans la réalisation de la figure 6, le dispositif à métasurface 101 diffère de celui de la figure 4 en ce que le substrat 122 comprend deux canaux O1, O2 et en ce que le dispositif à métasurface 101 comprend deux sources d'ondes électromagnétiques.

[0100] Chaque source d'ondes électromagnétiques comprend une extrémité dénudée ED1, ED2 ou monopôle, traversant un des deux canaux O1, O2, visible en figure 6, et étant en regard des pastilles conductrices 4 et est configurée et disposée de façon à générer des ondes de surface sur la surface avant 22 du substrat 2.

[0101] Chaque extrémité dénudée appartient une âme d'un coaxial non représenté en figure 6 pour des raisons de clarté, tout comme la source SE.

[0102]. Chaque canal O1, O2 est entouré d'une couronne centrale conductrice CM1, CM2.

[0103] L'élément d'antenne 103 de la figure 6, diffère de celui de la figure 4 en ce qu'il est formé autour des deux canaux O1, O2. Les deux sources d'ondes sphériques ED1, ED2 sont aptes à rayonner des ondes de même fréquence ou de fréquence différente et/ou de même amplitude et/ou d'amplitude différente.

[0104] Ainsi, le dispositif à métasurface 101 est apte à rayonner une onde hyperfréquence issu de la recombinaison de deux ondes hyperfréquence étant chacune générée par la propagation d'une onde de surface générée par une des deux sources ED1 ou ED2 sur la surface avant 22 du substrat 2.

[0105] La couche de masse 107 diffère de la couche de masse de de la figure 4 en ce qu'elle comprend deux parties centrale photoconductrice PC1, PC2 semi-conductrices distantes l'une de l'autre et entourant chacune un des deux canaux O1,

O2. La couche de masse 107 comprend également une partie périphérique conductrice PF1 entourant les parties centrales photoconductrices PC1, PC2.

[0106] Les parties centrales photoconductrices PC1, PC2 présentent chacune une forme de couronne entourant et délimitant un des deux canaux respectifs O1 et O2.

[0107] Le dispositif à métasurface 101 comprend avantageusement un commutateur optique COM permettant de faire passer le dispositif à métasurface 101 d'un premier état dans lequel l'élément d'antenne 103 est apte à rayonner sous l'effet du rayonnement de la première source d'ondes sphériques S1 uniquement, à un deuxième état dans lequel l'élément d'antenne 103 est apte à rayonner sous l'effet du rayonnement de la deuxième source d'ondes sphériques S2 uniquement.

[0108] A cet effet, le dispositif à métasurface 101 comprend, par exemple, une unique source de commutation 108 générant un faisceau optique, le commutateur optique COM étant apte à dévier ce faisceau optique de sorte qu'il éclaire de façon sélective une seule des parties centrales photoconductrice parmi les parties centrales photoconductrices PC1 et PC2 de façon que la partie centrale photoconductrice éclairée soit conductrice et que la couche de masse 107 ait une fonction de plan de masse .

[0109] Cela permet d'émettre dans des directions différentes, ce qui permet, par exemple, de suivre un objet.

[0110] En variante ou en sus, le commutateur COM est apte à être dans un état dans lequel il éclaire sélectivement simultanément plusieurs zones centrales photoconductrices, ici les deux parties centrales photoconductrices PC1, PC2, de sorte que chaque zone centrale photoconductrice éclairée soit totalement conductrice. L'onde totale émise par la source est issue de la recombinaison d'ondes émises sous l'effet du rayonnement par les différentes sources d'ondes électromagnétiques ED1, ED2.

[0111] L'éclairage des parties photoconductrices peut aussi bien se faire en face arrière comme en figure 6 ou en face avant.

[0112] Il est à noter que le dispositif à métasurface pourrait, en variante, comprendre plus de deux sources d'ondes électromagnétiques destinées à se propager sous forme d'ondes de surface à la surface du substrat et plus de deux parties centrales photoconductrices étant chacune associée à une des sources d'ondes sphériques.

[0113] La figure 7 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 370 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 370 a la fonction de plan de masse. La couche de masse 370 comprend la face arrière 221 du substrat 302.

[0114] La face arrière 291 de la couche intermédiaire 290 est accolée à la couche de masse 370.

[0115] La partie centrale 292 relie le canal O à la partie périphérique PF.

[0116] Le dispositif comprend donc une structure de masse comprenant la couche de masse 370; 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.

[0117] La figure 8 représente schématiquement, en coupe, un dispositif à métasurface selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Pour simplifier cette figure, seule l'extrémité dénudée ED du câble coaxial est représentée.

[0118] Le deuxième mode de réalisation de l'invention diffère du premier mode de réalisation en ce que la couche de masse est entièrement réalisée dans un unique matériau photoconducteur semi-conducteur. Ce matériau photoconducteur est isolant lorsqu'il n'est pas illuminé et apte à être conducteur lorsqu'il est éclairé à la longueur d'onde de commutation λ_c .

[0119] Le matériau photoconducteur semi-conducteur est, par exemple, du même type que les matériaux donnés en exemple pour la partie conductrice centrale PC.

[0120] Plus précisément, le dispositif à métasurface 201 de la figure 8 diffère de la réalisation de la figure 4 en ce que le substrat 202 comprend une première couche photoconductrice 212 correspondant à une unique couche d'un unique matériau

semi-conducteur photoconducteur. Autrement dit, la première couche photoconductrice 212 est homogène. La couche semi-conductrice 212 est la couche de masse.

[0121]Avantageusement, le dispositif à métasurface comprend une couche intermédiaire photoconductrice 213 en matériau semi-conducteur interposée entre les pastilles conductrices 4 et la première couche photoconductrice 212.

[0122] Par exemple, la première couche semi-conductrice 212 comprend une face avant 224, accolée à la couche intermédiaire photoconductrice 213 comprenant la face avant 22 du substrat 202, et une face arrière 225 opposée à la couche intermédiaire photoconductrice 213.

[0123] Une couche isolante 214 est formée sur la face arrière 225 de la première couche photoconductrice 212. La couche isolante 214 est transparente à la longueur d'onde de commutation λ_c . Par exemple, la couche isolante 214 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 présentent l'avantage de croître aisément sur le silicium.

[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 première couche photoconductrice 212 est choisi de façon que la première couche photoconductrice 212 présente une profondeur de pénétration notée E_1 inférieure à l'épaisseur E_p de la couche première photoconductrice 212 à la longueur d'onde de commutation λ_c de sorte que lorsque la totalité de la face arrière 225 de la première couche photoconductrice 212 est éclairée à la longueur d'onde de commutation λ_c , la première couche photoconductrice 212 comprend :

- une portion conductrice 215 formant le plan de masse et s'étendant depuis la face arrière 225 de la couche semi-conductrice 212 sur une épaisseur de la portion conductrice inférieure à l'épaisseur E_p de la première couche semi-conductrice 212 et,
- une portion isolante 216 s'étendant sur le reste de l'épaisseur E_p de sorte que la portion conductrice 215 soit isolée des pastilles conductrices 4 par la portion isolante 216.

[0126] La profondeur de pénétration d'un matériau à une longueur d'onde prédéterminée est égale à l'inverse du coefficient d'absorption de ce matériau à la même longueur d'onde.

[0127] Avantageusement, comme visible en figure 9, le dispositif à métasurface 201 comprend, en plus de la source S et la source de commutation 8, visible en figure 8 et non représentée en figure 9 pour des raisons de clarté, un dispositif de reconfiguration optique DR de l'élément d'antenne 3 permettant de reconfigurer optiquement l'élément d'antenne 3.

[0128] Le dispositif de reconfiguration DR de l'antenne comprend avantageusement une source dite de reconfiguration SR apte émettre un faisceau optique à la longueur d'onde de reconfiguration λ_r et un dispositif diffractif DIFF apte éclairer un ensemble d'au moins une zone, dite zone éclairée ZE, de la couche intermédiaire 213 de façon que la couche de intermédiaire 213 soit conductrice uniquement dans l'ensemble d'au moins une zone éclairée ZE, 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 intermédiaire 213 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.

[0129] Il est à noter que, pour plus de clarté, seules les pastilles 4 connectées électriquement entre-elles sont représentées en figure 9. Les zones blanches séparant les groupes G de pastilles conductrices 4 connectées électriquement entre-elles comprennent des pastilles 4 conductrices isolées électriquement les unes des autres.

[0130] 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 .

[0131] 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 .

[0132]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 213, les zones éclairées ZE sont distantes les unes des autres et séparées par une zone non éclairée ZNE de la couche 213 de façon que la couche 213 soit conductrice uniquement dans les zones éclairées ZE. Les spots lumineux formés sur la couche 213 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 9 mais pourraient tout à fait présenter des formes différentes.

[0133]Les zones éclairées ZE de la couche 213 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.

[0134]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.

[0135]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.

[0136]un pas correspondant à un multiple du pas du réseau de pastilles conductrices 3.

[0137]Dans la réalisation particulière de la figure 9, chaque zone éclairée ZE comprend plusieurs intervalles 6 et/ou ouvertures 5, c'est-à-dire comprend un groupe de plus de 2 pastilles métalliques 4 de sorte que l'éclairement de la zone éclairée ZE assure la connexion électrique, entre-elles, de toutes les pastilles métalliques 4 de l'élément d'antenne 3 situées dans la zone éclairée ZE.

[0138]En variante, le dispositif diffractif DIFF est configuré pour que chaque zone éclairée comprenne un unique intervalle 6 ou une unique ouverture 5 permettant ainsi de connecter uniquement deux pastilles adjacentes entre elle. La solution de la figure 7 est toutefois plus aisée à mettre en œuvre.

[0139] Lorsque le dispositif de reconfiguration est éteint l'élément d'antenne 4 est constitué des éléments des pastilles conductrices 4 isolées les unes des autres.

[0140] La solution de la figure 2 permet donc de modifier la loi de rayonnement de l'antenne en modifiant la fréquence et/ou l'orientation de l'onde rayonnée par l'élément d'antenne. La modification de l'orientation de l'onde rayonnée équivaut à un balayage spatial du faisceau rayonnée par l'antenne.

[0141] Dans la réalisation de la figure 9, le dispositif de reconfiguration DR est configuré pour éclairer la face arrière 21 du substrat 202.

[0142] La couche 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 intermédiaire 213 est dans un matériau transparent à la longueur d'onde de commutation λ_c .

[0143] 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.

[0144] On peut, par exemple choisir une couche de masse du type AsGa et un couche intermédiaire en matériau semi-conducteur bidimensionnel.

[0145] En variante, le dispositif de reconfiguration DR est configuré pour éclairer l'empilement EE en face avant. La couche 213 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 213 ce qui permet de réaliser la couche 212 en matériau absorbant à la longueur d'onde λ_r .

[0146] Alors, l'épaisseur de la couche 213 est avantageusement choisie de façon à être supérieure à la profondeur de pénétration de la lumière à la longueur d'onde λ_r .

[0147] La reconfiguration optique de l'élément d'antenne utilise la photoconductivité pour rendre conducteur le substrat au niveau des intervalles 6 entre les pastilles conductrices 4. Cette commande optique présente l'avantage d'être sans contact et de pouvoir être rapide. La vitesse de reconfiguration dépend principalement des

caractéristiques du matériau semi-conducteur utilisé et de la source laser utilisée. Elle peut varier de quelques ms à quelques ps.

[0148] Par ailleurs, la solution proposée présente l'avantage d'utiliser une unique source optique pour reconfigurer l'antenne en commandant collectivement de façon sélective les zones du substrat situées en regard des intervalles séparant les pastilles conductrices de façon à permettre de connecter sélectivement deux à deux les pastilles conductrices 4 adjacentes. Elle 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 intermédiaire.

[0149] Cette commande optique assure une indépendance entre la fonction de reconfiguration de l'antenne et de rayonnement de l'antenne, l'émission de l'onde sphérique étant commandée électriquement).

[0150] En variante, le dispositif à métasurface de la figure 8 est dépourvu de la couche intermédiaire photoconductrice. 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 conductrice 212 de sorte que la première couche photoconductrice 212 comprenne une portion isolante isolant électriquement les zones ZE éclairées rendues conductrices par le dispositif de reconfiguration DR et la zone conductrice 216 rendue conductrice par la source de commutation 8.

[0151] Il est à noter qu'il est possible d'ajouter au dispositif de la figure 4 ou de la figure 6 ou 7, une couche photoconductrice semi-conductrice entre la couche intermédiaire 9 et l'élément d'antenne 3 de façon que la couche photoconductrice semi-conductrice présente la même fonction que la couche 213 et un dispositif de reconfiguration DR comme celui de la figure 9 de façon à permettre de reconfigurer le dispositif à métasurface.

[0152] 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 ».

[0153] 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.

[0154] 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 213.

[0155] 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 213, chaque réseau de zones éclairées étant différent des autres ensembles de zones éclairées.

[0156] 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.

[0157] 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.

[0158] Les zones continues éclairées ZE ou les zones 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.

[0159] D'autres types de dispositifs de reconfiguration des dispositifs à métasurface sont bien entendu envisageables. Il est, par exemple, possible de disposer comme décrit dans la demande de brevet WO2019219708 A1 des interrupteurs dans les intervalles 6.

[0160] Chaque interrupteur est configuré pour permettre de connecter électriquement entre elles deux pastilles 4 adjacentes séparées par un intervalle 6.

[0161] Ces interrupteurs peuvent être du type commandé électriquement, comme par exemple des microsystèmes électromécanique ou MEMS en référence à l'expression anglo-saxonne « micro-electro-mechanical systems » ou du type comprenant un matériau à changement de phase.

[0162] Toutefois, le contrôle des interrupteurs unitaires pose un problème complexe de distribution de signaux électriques de contrôle qui entraîne des perturbations électromagnétiques, induites par les fils d'alimentation, sur le diagramme de rayonnement du dispositif à métasurface.

[0163] 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).

[0164] 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 exemples et 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 (2) ayant une surface arrière (21) et une surface avant (22),
 - 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 soit apte à se propager sous forme d'une onde de surface sur la surface avant (22) du substrat (2),
 - un élément d'antenne (3) comprenant un réseau bidimensionnel (2) de pastilles conductrices disposées sur la surface avant du substrat et 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,
 - le substrat (2) comprenant une structure de masse (7) apte à être dans un état isolant dans lequel la structure de masse 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 la fonction de plan de masse permettant la propagation de l'onde de surface sur la surface avant du substrat, depuis le dispositif d'émission réception jusqu'aux pastilles conductrices, ou inversement, la structure de masse étant apte à passer de l'état isolant à l'état conducteur par éclairement de la structure de masse à une longueur d'onde dite de commutation.
2. Dispositif à métasurface selon la revendication précédente, comprenant une source de commutation (8) apte passer d'un état dans lequel elle n'éclaire pas la structure de masse (7), de sorte que la structure de masse (7) soit dans l'état isolant, à un état dans lequel elle éclaire la structure de masse (7) de façon que la structure de masse a la fonction de plan de masse.
3. Dispositif à métasurface selon la revendication 2, dans lequel le substrat (2) comprend une couche de masse (7) et une couche intermédiaire (9) isolant le plan de masse des pastilles conductrices, lorsque la structure de masse (7) a la fonction de plan de masse, la structure de masse (7) comprenant une partie centrale photoconductrice (PC) et une partie périphérique conductrice (PF) entourant la partie centrale photoconductrice (PC), la partie centrale photoconductrice (PC) étant dans un état isolant, lorsqu'elle n'est pas éclairée, dans lequel elle empêche la

propagation de l'onde de surface depuis le dispositif d'émission et/ou de réception jusqu'aux pastilles conductrices (4), ou inversement, la partie centrale photoconductrice (PC) étant apte à être dans un état conducteur, lorsqu'elle est éclairée à la longueur d'onde de commutation, dans lequel la partie centrale photoconductrice (PC) est conductrice de sorte que la structure de masse a la fonction de plan de masse.

4. Dispositif à métasurface selon la revendication 3, dans lequel la structure de masse (7) étant une couche de masse, la couche intermédiaire (9) étant interposée entre les pastilles conductrices (4) et la couche de masse (7).

5. Dispositif à métasurface selon la revendication 3, dans lequel la couche intermédiaire est en un matériau semi-conducteur photoconducteur apte à être dans un état conducteur lorsqu'il est éclairé à la longueur d'onde de commutation, la couche intermédiaire étant interposée entre les pastilles conductrices (4) et la partie périphérique conductrice, la partie centrale photoconductrice comprenant une partie centrale d'une face arrière de la couche intermédiaire, la face arrière de la couche intermédiaire étant en contact physique direct avec la partie périphérique conductrice.

6. Dispositif à métasurface selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, comprenant plusieurs sources de commutation, la structure de masse (7) comprenant plusieurs parties centrales photoconductrices et un commutateur (COM) permettant d'éclairer de façon sélective une seule des parties centrales photoconductrice prise parmi les parties centrales photoconductrices et/ou permettant d'éclairer simultanément de façon sélective plusieurs parties centrales photoconductrices.

7. Dispositif à métasurface selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans lequel la structure de masse est une première couche photoconductrice (212) réalisée dans un unique matériau semi-conducteur photoconducteur, le matériau photoconducteur étant isolant lorsqu'il n'est pas éclairé et conducteur lorsqu'il est éclairé à la longueur d'onde de commutation.

8. Dispositif à métasurface selon la revendication précédente, dans lequel le matériau semi-conducteur photoconducteur formant la première couche photoconductrice (212) est choisi de façon que la première couche photoconductrice (212) présente une profondeur de pénétration inférieure à l'épaisseur de la couche

première photoconductrice (212) à la longueur d'onde de commutation de sorte que lorsque la totalité d'une face arrière de la première couche photoconductrice (212) est éclairée à la longueur d'onde de commutation par la source de commutation (8), la première couche photoconductrice (212) comprend :

- une portion conductrice (215) formant le plan de masse et s'étendant depuis la face arrière (225) de la couche semi-conductrice (212) sur une épaisseur inférieure à l'épaisseur de la première couche semi-conductrice (212) et,
- une portion isolante (216) s'étendant sur le reste de l'épaisseur de la couche semi-conductrice de sorte que la portion conductrice (215) soit isolée des pastilles conductrices (4) par la portion isolante (216).

9. Dispositif à métasurface selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une couche intermédiaire semi-conductrice (213), le dispositif à métasurface comprenant un dispositif de reconfiguration optique (DR) comprenant une source dite de reconfiguration (SR) émettant un faisceau optique et un dispositif optique diffractif (DIFF) apte éclairer un ensemble d'au moins une zone, dite zone éclairée, de la couche intermédiaire (213) de façon que la couche de intermédiaire (213) soit conductrice uniquement dans l'ensemble d'au moins une zone éclairée (ZE), 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 intermédiaire semi-conductrice (213) 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.

10. Dispositif à métasurface selon la revendication précédente, dans lequel la couche intermédiaire est interposée entre la couche de masse et les pastilles conductrices (4) ou dans lequel la couche intermédiaire est la couche de masse.