



(11) **EP 2 341 579 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
16.12.2015 Bulletin 2015/51

(51) Int Cl.:
H01Q 3/46 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10195770.2**

(22) Date de dépôt: **17.12.2010**

(54) **Antenne à balayage électronique formé d'un réseau de nano-éléments rayonnants en deux dimensions**

Antenne mit elektronischer Strahlschwenkung aus zwei Dimensionen strahlenden Nanoelementen

Electronic scanning antenna composed of a network of two-dimensional radiating nano-elements

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

(30) Priorité: **23.12.2009 FR 0906292**

(43) Date de publication de la demande:
06.07.2011 Bulletin 2011/27

(73) Titulaire: **Thales
92400 Courbevoie (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Chazelas, Jean
75015 Paris (FR)**
• **Decoster, Didier
59100 Roubaix (FR)**

- **Zegaoui, Malek
59200 Tourcoing (FR)**
- **Dogheche, El hadj
59131 Rousies (FR)**
- **Canseliet, Charlotte
92150 Suresnes (FR)**
- **Martinaud, Jean-Paul
91310 Leuville sur Orge (FR)**

(74) Mandataire: **Lucas, Laurent Jacques et al
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble Visium
22, Avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)**

(56) Documents cités:
US-A- 6 038 060 US-A1- 2007 132 645

EP 2 341 579 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] L'invention porte sur les antennes à balayage électronique, en particulier les antennes formées d'éléments rayonnants de très petite taille, de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres. Ces antennes sont formées d'un réseau de nanoéléments rayonnants commandés, répartis selon deux dimensions.

[0002] Ces antennes sont classiquement employées dans deux types de configurations.

[0003] Une première configuration se rapporte aux antennes pouvant émettre et recevoir des signaux à très hautes fréquences, jusqu'au TéraHertz. Ces dernières sont par exemple couramment utilisées dans :

- des systèmes d'imagerie à haute résolution,
- la détection de la présence de câbles ou d'objet filiformes dans l'environnement des hélicoptères,
- des systèmes de protection de sites sensibles, ou encore
- des réseaux de capteurs miniaturisés communicants entre eux ou avec d'autres systèmes.

[0004] Une deuxième configuration se rapporte aux antennes radiofréquences pouvant émettre et recevoir des signaux de longueur d'onde de l'ordre du centimètre ou du millimètre, dont les éléments rayonnants peuvent être sur-échantillonnés spatialement. Ces antennes sont souvent utilisées au sein de système d'imagerie permettant la détection et/ou la localisation de menaces, dans les aéroports par exemple.

[0005] Dans l'une ou l'autre des deux configurations, l'écart entre deux éléments rayonnants peut être ramené jusqu'à quelques dizaines de nanomètres. En conséquence l'interconnexion entre la commande des éléments rayonnants et les éléments rayonnants eux-mêmes doit être adaptée à de telles dimensions.

[0006] Pour ce faire, une solution existante propose de réaliser des connexions électriques reliant chaque élément rayonnant et le dispositif de commande de ces éléments. Or pour une antenne fonctionnant à 1 THz par exemple, la longueur d'onde dans l'air associée est de 300 μ m et la distance entre deux éléments adjacents du réseau d'antenne est de 150 μ m. Ainsi, pour une antenne de 1cm de côté, le nombre d'éléments rayonnants est d'environ quatre mille (66*66). Il faut donc disposer de quatre mille connecteurs électriques pour commander cette antenne. Cela est très difficile voire impossible de réaliser une telle antenne sans perturbation mutuelle entre deux fils adjacents.

[0007] Il est également connu dans l'art antérieur, comme par exemple par la demande de brevet américaine US 2007/132 645, un réflecteur intégré fonctionnant dans les domaines infrarouges et submillimétriques.

[0008] Le document US 2007/0176824 décrit un réseau réflecteur d'ondes de l'ordre du Terahertz.

[0009] Un but de l'invention est notamment de résoudre les problèmes énoncés ci-dessus.

[0010] Pour ce faire, il est proposé une antenne à balayage électronique comprenant un réseau d'éléments rayonnants en deux dimensions, formés à l'aide de nano-composants.

[0011] Selon une caractéristique générale, l'antenne comprend :

- une source optique apte à éclairer ledit réseau d'éléments rayonnants de façon à piloter leur fonctionnement, et
- un modulateur spatial de lumière en deux dimensions, placé entre la source optique et le réseau d'éléments rayonnants, ledit modulateur comprenant autant de pastilles transparentes activables que d'éléments rayonnants, de façon à laisser passer le rayonnement de la source optique ou non vers l'élément rayonnant correspondant.

[0012] En d'autres termes, l'invention propose un pilotage des éléments rayonnants à l'aide d'une source optique, l'activation de tels ou tels éléments rayonnants étant possible grâce à l'incorporation d'un modulateur spatial de lumière, apte à digérer ou non le signal lumineux de la source optique vers l'élément rayonnant correspondant.

[0013] L'invention permet ainsi de piloter des éléments rayonnants pouvant être espacés de quelques centaines de nanomètres sans aucune perturbation.

[0014] Selon un premier mode de réalisation, le réseau d'éléments rayonnants est de type réflecteur actif.

[0015] Dans ce cas, la source optique peut être un laser continu.

[0016] Selon un deuxième mode de réalisation, la source optique est un laser de type bi-fréquence. On rappelle qu'un laser bi-fréquence est une source laser capable d'émettre simultanément deux longueurs d'ondes distantes spectralement d'une valeur correspondant à une fréquence. Dans ce cas, chaque élément rayonnant du réseau est alors associé à une nano-photodiode apte à démoduler le battement des longueurs d'onde dudit laser.

[0017] Selon un mode de réalisation, les nano-composants peuvent être des nano tubes de carbone.

[0018] En variante, les nano-composants peuvent être de type semi-conducteur III-V, en particulier des nanofils de silicium.

[0019] Dans ce cas, l'antenne peut être de type intégrée.

[0020] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée de modes de réalisation de l'invention, nullement limitatifs, et des dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1 et 2 illustrent de façon simplifiée un mode de réalisation de l'invention selon deux angles de vue différents, et
- les figures 3 et 4 illustrent de façon simplifiée un autre mode de réalisation de l'invention selon deux angles

de vue différents.

[0021] On se réfère à la figure 1. Celle-ci représente un mode de réalisation d'une antenne ANT vue du dessus. La figure 2 représente cette même antenne ANT vue de côté, et éclatée.

[0022] Les éléments communs sur les deux figures sont désignés à l'aide des mêmes références.

[0023] Dans ce mode de réalisation, l'antenne considérée est de type « Reflect array » (traduit par « réflecteur actif » en français). Autrement dit, l'antenne ANT reçoit d'une source externe SE un faisceau FR et réfléchit un autre faisceau FRF dans une direction donnée.

[0024] L'antenne ANT est formée d'une source optique, ici un laser LSR de type continu. Autrement dit, le laser LSR éclaire en continu les éléments disposés face à lui. Le faisceau lumineux émis par le laser LSR est mis en forme par une lentille LTL et dirigé vers des éléments rayonnants ELT.

[0025] Selon la façon dont est commandé chaque élément rayonnant ELT, la loi d'éclairement de l'antenne ANT est modifiée.

[0026] Ces éléments rayonnants ELT sont disposés sur un support mécanique SM, réalisé dans un matériau transparent de façon à laisser passer le signal lumineux en provenance du laser LSR. Par exemple, le support mécanique SM peut être en verre ou tout autre matériau transparent à la longueur d'onde de fonctionnement (TiO₂...).

[0027] Par exemple, les éléments rayonnants ELT peuvent être réalisés à l'aide de nano-fils semi-conducteurs, de nanotubes de carbone semi-conducteurs ou encore à l'aide de structures dites « champignon » à nanotube de carbone (ou CNT pour « Carbon NanoTube » en langue anglaise), comme sur le mode de réalisation des figures 1 et 2.

[0028] L'utilisation de nano-fils semi-conducteurs est particulièrement adaptée au cas où l'antenne ANT est réalisée de façon intégrée.

[0029] L'éclairement par la lumière du laser LSR de l'élément rayonnant ELT en matériau semi-conducteur permet de le faire passer d'un état isolant à un état conducteur.

[0030] Chaque élément rayonnant ELT est classiquement inséré dans un circuit de déphasage (non représenté à des fins de simplification) permettant de réaliser un déphasage nul si l'élément rayonnant n'est pas éclairé par le signal lumineux du laser, ou un déphasage 180° si à l'inverse il est éclairé.

[0031] De façon qu'un élément rayonnant ELT soit éclairé ou non, un modulateur spatial de lumière MSL est disposé entre la lentille LTL et le support mécanique SM. Ce modulateur spatial de lumière MSL est formé d'autant de pastilles PST que d'éléments rayonnants ELT. Ces pastilles PST encore appelées pixels, sont ici rectangulaires mais peuvent adopter toute autre forme. Elles sont réalisées dans un matériau transparent, par

exemple un film servant à fabriquer les écrans des ordinateurs portables, mais en transmission. Une pastille PST correspond alors à un pixel d'écran.

[0032] Chaque pastille PST est mise en correspondance avec un élément rayonnant ELT comme illustré sur la figure 2. Ces pastilles PST sont commandées à l'aide d'une commande électronique CMD bidimensionnelle. Cette commande CMD obscurcit ou non la pastille PST désignée, de façon que celle-ci laisse passer ou non la lumière émise par le laser LSR. Selon que le signal lumineux en provenance du laser arrive ou non à l'entrée de l'élément rayonnant correspondant ELT, l'élément rayonnant est isolant ou conducteur. En conséquence, il réfléchit dans un signal appelé FRF, avec ou sans déphasage, le signal FR en provenance de la source extérieure SE.

[0033] L'interconnexion réalisée par le modulateur spatial de lumière MSL permet d'utiliser des nano-composants pour réaliser les éléments rayonnants et de les disposer avec une densité très importante de façon que l'antenne ANT puisse réfléchir des signaux de fréquence très élevées.

[0034] Par exemple, pour atteindre des fréquences de 300GHz, les éléments rayonnants ELT doivent être espacés d'une distance égale à $\lambda/2$, soit 0,5mm. Le modulateur spatial de lumière MSL permet de par sa conception, de commander les éléments rayonnants ELT ainsi placés, et donc de réaliser des antennes à balayage électronique à très haute fréquence tout en étant compacte.

[0035] On se réfère à présent aux figures 3 et 4 qui illustrent un autre mode de réalisation. La figure 3 représente cet autre mode de réalisation de l'antenne ANT vue du dessus. La figure 4 représente cette même antenne ANT vue de côté, et éclatée. A des fins de simplification, ces deux figures concernent le mode « Emission » de l'antenne ANT. L'homme du métier peut en déduire sans difficulté le mode « Réception ».

[0036] Sur ces figures, l'antenne ANT représentée est de type « émission/réception ». Autrement dit, le signal émit par l'antenne ANT provient de la source optique LSR et est alors transmis dans l'environnement. Pour ce faire, la source optique LSR est un laser de type bi-fréquence. Ce type de laser (encore appelé bi-mode) émet deux raies optiques décalées d'une valeur de fréquence souhaitée.

[0037] La lumière du laser LSR est, comme pour le mode de réalisation précédent, focalisée par une lentille LTL, puis transmise vers les éléments rayonnants ELT par l'intermédiaire des pastilles PST laissant passer ou non la lumière selon la commande CMD.

[0038] Dans la solution destinée aux antennes dites « Emission/Réception », le signal à rayonner est issu du battement des deux longueurs d'onde optiques dont l'écart spectral est égal à la fréquence de ce signal à rayonner.

[0039] Le signal de type radio fréquence sur porteuse optique est formé par le battement des deux longueurs d'ondes. Lorsque les deux longueurs d'onde arrivent sur

un photodétecteur, ici des nano-photodiodes NPD couplées aux éléments rayonnants ELT, il effectue le battent entre les deux longueurs d'ondes, ce dernier étant un élément quadratique. Chaque photodétecteur NPD génère alors un photocourant dont la fréquence est égale à la distance spectrale entre les deux longueurs d'onde. Ce mode de fonctionnement nécessite que le photodétecteur NPD ait une bande passante suffisamment élevée pour pouvoir générer des photocourants pouvant atteindre le TéraHertz.

[0040] Dans ce cas, le signal radio-fréquence (RF) sur porteuse optique généré par le laser LSR est adressé, collectivement et individuellement via le modulateur spatial de lumière MSL fonctionnant entre un état passant et un état non passant en fonction de la commande électronique appliquée. Le signal optique arrive ensuite sur le photodétecteur NPD (ici une nano-photodiode) disposé entre le modulateur spatial de lumière MSL et le support mécanique SM (non représenté à des fins de simplification) dont la bande passante RF est compatible avec la fréquence à rayonner.

[0041] Sous une nano-photodiode NPD sur deux, est disposé un espaceur ESP. Ces derniers ont pour fonction de déphaser le signal optique reçu du modulateur spatial de lumière MSL. Le déphasage est fonction de l'épaisseur de chaque espaceur ESP. Ils peuvent être réalisés par exemple au sein du support mécanique SM.

[0042] De préférence, l'épaisseur des espaceurs ESP est égale à la moitié de la longueur d'onde associée à la fréquence du signal à émettre par les éléments rayonnants.

[0043] Pour que les nano-photodiodes NPD soient éclairées par la face arrière, le support mécanique SM est réalisé dans un matériau servant à la fois :

- de substrat pour la croissance des nano photodiodes NPD lors de la conception de l'antenne ANT, et
- de support transparent au signal optique du laser LSR.

[0044] Par exemple, ce matériau peut être de l'Arséniure de Gallium (AsGa) ou de l'Indium Phosphide (InP) pour le cas d'une photodiode fonctionnant à 1.5µm. Plus généralement, ce matériau peut être tout autre matériau transparent type verre ou TiO2

[0045] Dans ce mode de réalisation, la lumière passant à travers les pastilles PST sont transmises vers les éléments rayonnants ELT via des nano photodiodes NPD. Ces dernières, lorsqu'elles sont éclairées par le signal optique émis par le laser (pastille correspondante passante), génère un photocourant de la fréquence du signal que l'élément rayonnant va émettre.

[0046] On note que dans le cas où l'antenne ANT fonctionne en réception, la nano photodiode NPD est montée en mode mélangeur. Le signal issu de laser LSR est alors utilisé en oscillateur local vis-à-vis du signal reçu par chaque élément rayonnant ELT. Chaque nano photodiode effectue le mélange du signal reçu et du signal de batte-

ment du laser LSR utilisé en oscillateur.

[0047] Les éléments rayonnants ELT peuvent être réalisés à l'aide de nano-tubes de carbone (comme pour le mode de réalisation des figures 3 et 4) ou en nano-fils semi conducteurs, ce deuxième matériau étant préféré dans le cas d'une antenne ANT de type intégrée.

[0048] L'utilisation de nano composants (donc de très petite taille) pour les éléments rayonnants ELT permet de réaliser des antennes comprenant un suréchantillonnage de ces éléments rayonnants.

[0049] Par exemple, pour ce type d'antenne les éléments rayonnants sont espacés d'une distance égale à $\lambda/20$, λ étant la longueur d'onde du signal émis par l'antenne. Il est possible de placer des éléments à une distance aussi petite si ces derniers ont des dimensions très inférieures à cette longueur d'onde λ . Cela est possible grâce à l'utilisation de nano composants (tels que ceux cités ci-avant par exemple).

[0050] L'utilisation et le pilotage par le laser de ces éléments rayonnants, placés à une si faible distance les uns des autres, est rendu possible grâce à l'interconnexion réalisée par le modulateur spatial de lumière selon l'invention.

Revendications

1. Antenne (ANT) à balayage électronique configurée pour émettre et recevoir des signaux jusqu'au Téra Hertz, ladite antenne comprenant un réseau d'éléments rayonnants (ELT) en deux dimensions, formés à l'aide de nano-composants, l'antenne étant **caractérisé par le fait qu'elle comprend :**

- une source optique (LSR) apte à éclairer ledit réseau d'éléments rayonnants de façon à piloter leur fonctionnement, et
- un modulateur spatial de lumière (MSL) en deux dimensions, placé entre la source optique et le réseau d'éléments rayonnants, ledit modulateur comprenant autant de pastilles (PST) transparentes activables que d'éléments rayonnants, de façon à laisser passer le rayonnement de la source optique ou non vers l'élément rayonnant correspondant.

2. Antenne selon la revendication précédente, dans lequel le réseau d'éléments rayonnants est de type réflecteur actif.

3. Antenne selon la revendication précédente, dans lequel la source optique est un laser continu.

4. Antenne selon la revendication 1, dans lequel la source optique est un laser de type bi-fréquence, chaque élément rayonnant du réseau étant associé à une nano-photodiode apte à démoduler le battent des longueurs d'onde dudit laser.

5. Antenne selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les nano-composants sont des nano tubes de carbone.
6. Antenne selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel les nano-composants sont de type semi-conducteur III-V, en particulier des nanofils de silicium.
7. Antenne selon la revendication précédente, de type intégrée.

Patentansprüche

1. Antenne (ANT) mit elektronischer Strahlschwenkung, die konfiguriert ist, um Signale bis Terahertz zu senden und zu empfangen, wobei die Antenne ein Netzwerk strahlender Elementen (ELT) in zwei Dimensionen umfasst, die mit Hilfe von Nano-Bauteilen gebildet sind, wobei die Antenne **dadurch gekennzeichnet ist, dass** sie umfasst:
 - eine optische Quelle (LSR), die imstande ist, das Netzwerk strahlender Elemente derart zu auszuleuchten, um ihre Funktion zu steuern, und
 - einen räumlichen Modulator für Licht (SLM) in zwei Dimensionen, der zwischen der optischen Quelle und dem Netzwerk strahlender Elemente platziert ist, wobei der Modulator ebenso viele aktivierbare transparente Pastillen (PST) wie strahlende Elemente umfasst, um die Strahlung der optischen Quelle zum entsprechenden strahlenden Element passieren zu lassen oder nicht.
2. Antenne nach vorangehendem Anspruch, wobei das Netzwerk strahlender Elemente vom Typ aktiver Reflektor ist.
3. Antenne nach vorangehendem Anspruch, wobei die optische Quelle ein kontinuierlicher Laser ist.
4. Antenne nach Anspruch 1, wobei die optische Quelle ein Laser vom Typ Bifrequenz ist, wobei jedes strahlende Element des Netzwerks einer Nano-Fotodiode zugeordnet ist, die imstande ist, den Ausschlag der Wellenlängen des Lasers zu demodulieren.
5. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Nano-Bauteile Nano-Karbonröhrchen sind.
6. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Nano-Bauteile vom Typ Halbleiter III-V sind, insbesondere Silizium-Nanodrähte.
7. Antenne nach vorangehendem Anspruche integrierter Typs.

Claims

1. An electronic scanning antenna (ANT) configured to transmit and to receive signals in the region of one terahertz, said antenna comprising an array of two-dimensional radiating elements (ELT), formed using nano-components, said antenna being **characterised in that** it comprises:
 - an optical source (LSR) capable of illuminating said array of radiating elements so as to control their operation; and
 - a two-dimensional spatial light modulator (MSL) placed between said optical source and said array of radiating elements, said modulator comprising as many activatable transparent pads (PST) as there are radiating elements, so as to let or not let the radiation from said optical source pass towards the corresponding radiating element.
2. The antenna according to the preceding claim, wherein said array of radiating elements is of the active reflector type.
3. The antenna according to the preceding claim, wherein said optical source is a continuous laser.
4. The antenna according to claim 1, wherein said optical source is a laser of the dual-frequency type, each radiating element of said array being associated with a nano-photodiode capable of demodulating the pulse of the wavelengths of said laser.
5. The antenna according to any one of claims 1 to 3, wherein said nano-components are carbon nanotubes.
6. The antenna according to any one of claims 1 to 4, wherein said nano-components are of the III-V semiconductor type, in particular silicon nanowires.
7. The antenna according to the preceding claim, of the integrated type.

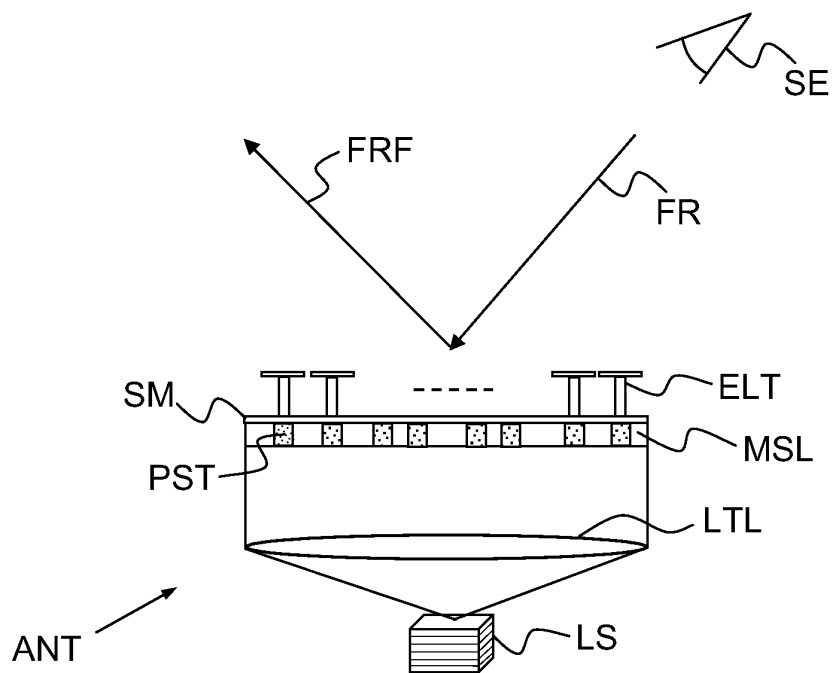


FIG.1

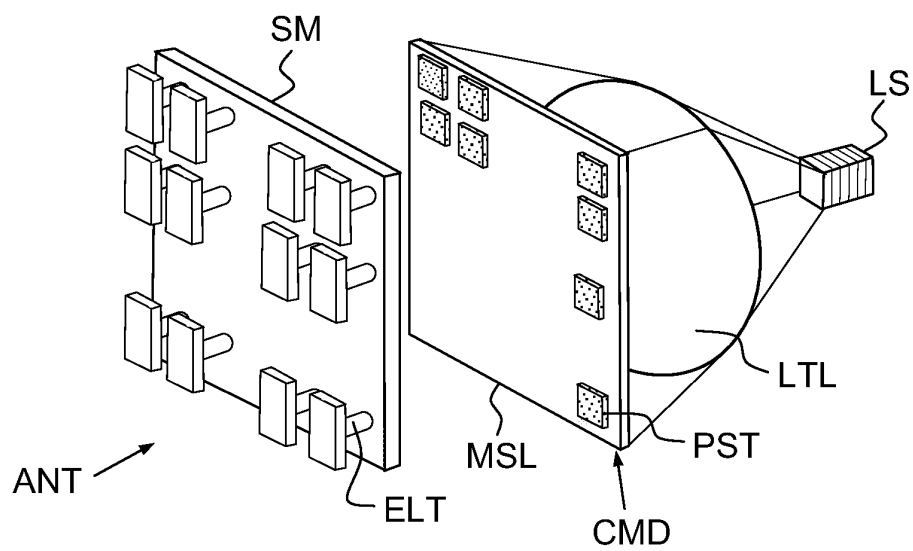


FIG.2

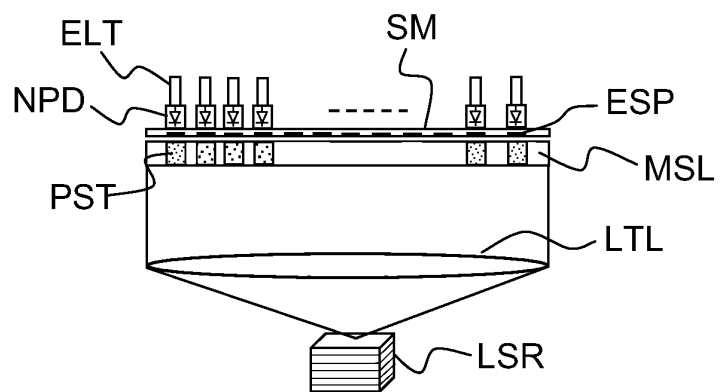


FIG.3

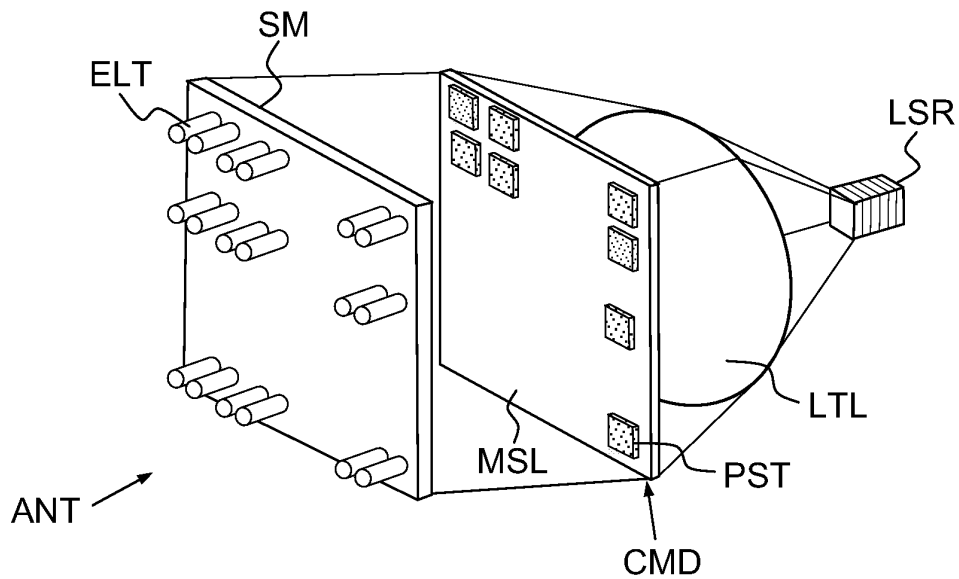


FIG.4

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 2007132645 A [0007]
- US 20070176824 A [0008]