



## (12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 37209 A1** (51) Cl. internationale : **H01Q 15/00**
- (43) Date de publication : **29.02.2016**

---

(21) N° Dépôt : **37209**

(22) Date de Dépôt : **14.07.2014**

(71) Demandeur(s) :  
**LALJ HICHAM, HAY CHABAB, BLOC 48, N°4 CYM RABAT (MA)**  
**GRIGUER HAFID, 56 av omar ibn al khattab agdal, RABAT (MA)**  
**EMSI, 49 Rue Patrice Lumumba (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**LALJ HICHAM ; GRIGUER HAFID**

(74) Mandataire :  
**ATTMANE ZAHIDI**

---

(54) Titre : **SUPERSTRAT MÉTA-MATÉRIAUX MULTI-BANDES ET ISOTROPE POUR L'ABSORPTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET LA TRANSFORMATION ÉNERGÉTIQUE À HAUTE EFFICACITÉ**

(57) Abrégé : La présente invention concerne un système d'amplification multi bandes des ondes électromagnétiques par le biais d'un superstrat méta-matériaux ayant simultanément ou/et séparément au moins un double fonctionnement. Le premier fonctionnement consiste à une absorption avec aiguillage des ondes électromagnétiques dans une direction de propagation particulière. Le deuxième fonctionnement consiste à amplifier les ondes électromagnétiques rayonnées d'une manière bidirectionnelle depuis ou vers une ou plusieurs sources électromagnétiques multi bandes. L'invention consiste en un superstrat 1D, 2D ou 3D contenant un arrangement de cellules méta-matériaux unitaires ayant la particularité d'une résonance multi-bande et isotrope.

**Superstrat méta-matériaux Multi-bandes et isotrope pour l'absorption des ondes électromagnétique et la transformation énergétique à haute efficacité**

29 FEV 2016

**Abrégé :**

La présente invention concerne un système d'amplification multi bandes des ondes électromagnétiques par le biais d'un superstrat méta-matériaux ayant simultanément ou/et séparément au moins un double fonctionnement. Le premier fonctionnement consiste à une absorption avec aiguillage des ondes électromagnétiques dans une direction de propagation particulière. Le deuxième fonctionnement consiste à amplifier les ondes électromagnétiques rayonnées d'une manière bidirectionnelle depuis ou vers une ou plusieurs sources électromagnétiques multi bandes. L'invention consiste en un superstrat 1D, 2D ou 3D contenant un arrangement de cellules méta-matériaux unitaires ayant la particularité d'une résonance multi-bande et isotrope.

**Superstrat méta-matériaux Multi-bandes et isotrope pour l'absorption des ondes électromagnétique et la transformation énergétique à haute efficacité**

**Domaine de l'invention :**

La présente invention est utilisable dans le domaine de la furtivité afin d'absorber un signal radar ayant une multitude de fréquences de fonctionnement et rayonnants sur une multitude de directions de propagation. Elle concerne en particulier un système d'amplification multi bandes des ondes électromagnétiques par le biais d'un superstrat méta-matériaux ayant simultanément ou/et séparément au moins un double fonctionnement. Le premier fonctionnement consiste à une absorption avec aiguillage des ondes électromagnétiques dans une direction de propagation particulière. Le deuxième fonctionnement consiste à amplifier les ondes électromagnétiques rayonnées d'une manière bidirectionnelle depuis ou vers une ou plusieurs sources électromagnétiques multi bandes.

**Arrière plan de l'invention :**

Le développement rapide des technologies de télécommunications a exigé l'amélioration de la sensibilité des antennes, en particulier ceux de taille miniaturisée. Un des facteurs pour atteindre un tel objectif est d'améliorer la qualité du matériau de l'antenne ainsi que sa géométrie.

Les méta-matériaux constituent l'une des solutions pour rendre l'antenne plus sensible aux ondes électromagnétiques.

Les Méta matériaux sont des matériaux présentant des propriétés que l'on ne rencontre pas à priori dans la nature. Par définition, ce sont des matériaux artificiels composés d'une structure d'inclusions périodiques de faibles dimensions par rapport à la longueur d'onde, ce qui classe les Méta matériaux parmi les matériaux non homogènes.

Dans le domaine de la physique des matériaux et en particulier en électromagnétisme, un matériau homogène tel que le diélectrique ou le conducteur, peut être caractérisé par ses paramètres intrinsèques constitutifs qui sont la permittivité ( $\epsilon$ ) et la perméabilité ( $\mu$ ), tandis que pour les matériaux non homogènes tels que les Méta matériaux, ils peuvent être caractérisés par des paramètres dits « effectifs » ce qui correspond à un matériau équivalent. Nous notons que leurs permittivités et perméabilités effectives s'écrivent sous la forme suivant  $\mu_{\text{eff}}$ ,  $\epsilon_{\text{eff}}$  avec un indice de réfraction :

$$\eta_{\text{eff}} = \sqrt{\mu_{\text{eff}} \cdot \epsilon_{\text{eff}}}$$

À l'origine de l'activité électromagnétique et de la périodicité des inclusions formant le Méta matériau, ce dernier peut donner naissance à des paramètres effectifs séparément négatifs ou simultanément négatifs, ce qui est illustré par un  $\eta_{\text{eff}} < 0$ .

Ces dites propriétés engendreront l'inversion des lois de la physique classique telles que :

- L'inversion de la loi de Snell-Descartes avec un indice de réfraction négatif ;
- L'inversion de l'effet Doppler ;
- L'inversion du rayonnement de Cerenkov.

Nous distinguons dans le domaine des micro-ondes quatre catégories de matériaux et ceci selon le signe de leur permittivité et perméabilité,

#### **Les Matériaux doublement positifs (DPS) :**

Les matériaux DPS (Double Positive) sont les matériaux qui présentent des paramètres intrinsèques positifs et non nuls ( $\epsilon > 0$  et  $\mu > 0$ )

#### **Les Matériaux à perméabilité négative (MNG) :**

Les matériaux MNG (~~Double Positive~~) sont les matériaux qui présentent une perméabilité négative ( $\mu < 0$ )

#### **Les Matériaux à permittivité négative (ENG) :**

Les matériaux ENG (~~Double Positive~~) sont les matériaux qui présentent une permittivité négative ( $\epsilon < 0$ )

**Les Matériaux doublement négatifs (DNG) :**

Les matériaux DNG sont les matériaux ayant simultanément une permittivité et une perméabilité négatives, ces Métamatériaux peuvent être réalisés par des cellules << imbriquées >> ou des cellules << combinées >>.

**Conditions d'excitations :**

Pour que les cellules unitaires Métamatériaux aient un comportement Métamatériau, il faut que l'orientation du champ électrique et/ou magnétique soit bien choisie pour exciter la résonance.

Pour un Métamatériau du type MNG formé par des boucles métalliques doit être excité à l'aide d'un champ magnétique H doit être perpendiculaire à l'axe des boucles.

Pour un Métamatériau du type ENG formé par des tiges métalliques doit être excité à l'aide d'un champ électrique E doit être parallèle aux tiges.

**Objectif de l'invention :**

L'invention, dans au moins un mode de réalisation, a notamment comme objectif de réaliser une structure de méta matériaux comprend un arrangement de cellules méta-matériaux unitaires ayant la particularité d'une résonance multi-bande qui permette d'obtenir un superstrat 1D, 2D ou 3D de l'antenne.

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de la présente invention est de fournir un tel superstrat qui permet d'amplifier les ondes électromagnétiques rayonnées d'une manière bidirectionnelle depuis ou vers une ou plusieurs sources électromagnétiques multi bandes.

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de l'invention est de fournir un tel superstrat qui permet une absorption avec aiguillage des ondes électromagnétiques dans une direction de propagation particulière.

**Description détaillée de l'invention**

Conformément à cet objectif, l'invention concerne un système d'amplification multi bandes des ondes électromagnétiques par le biais d'un superstrat méta-matériaux ayant simultanément ou/et séparément au moins un double fonctionnement. Le premier

fonctionnement consiste à une absorption avec aiguillage des ondes électromagnétiques dans une direction de propagation particulière. Le deuxième fonctionnement consiste à amplifier les ondes électromagnétiques rayonnées d'une manière bidirectionnelle depuis ou vers une ou plusieurs sources électromagnétiques multi bandes. L'invention consiste en un superstrat 1D, 2D ou 3D contenant un arrangement de cellules méta-matériaux unitaires ayant la particularité d'une résonance multi-bande et isotrope. Les cellules méta-matériaux unitaires sont formées par une géométrie métallique imprimée sur un substrat diélectrique avec ou sans plan de masse métallique. La géométrie métallique de la cellule est basée sur un motif composé au moins d'une boucle terminée par une fente capacitive et d'un arrangement de résonateur positionnés d'une manière perpendiculaire sur le périmètre externe de la boucle. A titre purement illustratif, le superstrat peut particulièrement être utilisé en champ proche d'une source de rayonnement électromagnétique multi-bande de type log-périodique. Une multitude de superstrat seront utilisés et formés chacun par un réseau fini de cellule méta-matériaux. Chaque superstrat sera positionné en champ proche de chaque résonateur mono bande formant la source électromagnétique log périodique multi bandes. La distance séparant les cellules de chaque réseau fini ainsi que la distance séparant chaque superstrat avec son résonateur mono bande devront avoir des valeurs appropriées selon les bandes de fréquences de fonctionnement. A titre indicatif cette invention offre en amont une forte efficacité de transformation énergétique dans les systèmes de transformation de l'énergie électromagnétique vers l'énergie électrique sans autant faire recours à un système en aval de conditionnement du signal électrique à courant continu transformé. A titre indicatif, cette invention est utilisable dans le domaine de la furtivité afin d'absorber un signal radar ayant une multitude de fréquences de fonctionnement et rayonnants sur une multitude de directions de propagation.

#### **Brève description des figures :**

Fig. 1 : représente un superstrat (1) formé par un arrangement 1D de cellules Méta-matériaux unitaires multi bandes (2)

Fig. 2 : est un schéma de principe de fonctionnement de l'invention. Elle représente une structure en 1D formée par un superstrat (1). Le superstrat est positionné à une distance  $d_i$  de la source de rayonnement électromagnétique multi bande (3).

Fig. 3 : représente une structure en 2D formé par deux superstrats (1). Chaque superstrat est positionné à une distance  $d_i$  de la source de rayonnement électromagnétique multi bande (3), le nombre de superstrats est fonction du nombre de fréquences rayonnées par la source de rayonnement (3) (fonctionnement multi-bande).

Fig. 4 : représente un cas particulier pour une source de rayonnement isotrope. Pour capter un maximum de rayonnement, le superstrat est formé par un réseau de superstrat 1D disposé de manière à respecter les conditions d'excitation des cellules (2) dans toutes les directions.

Selon un premier aspect de l'invention, la solution proposée est constituée d'une structure à base cellules méta-matériaux fonctionnant comme une antenne comprenant:

- Une source de rayonnement électromagnétique (3) multi-bande
- Un ou plusieurs superstrats (1) formés chacun par un réseau 1D fini de cellule méta-matériaux (2). Chaque superstrat est positionné à une distance ( $d_i$ ) de la source de rayonnement (3).

Avantageusement, la cellule métamateriau (2) comprenant une boucle terminée par une fente capacitive et un arrangement de micro-résonateur positionnés d'une manière perpendiculaire sur le périmètre externe de la boucle.

Selon second aspect, les superstrats (1) sont à une distance ( $d_i$ ) calculée en fonction de la longueur d'onde correspondante à la fréquence centrale de bande de fréquence de fonctionnement, en général  $d_i$  est comprise entre  $\lambda/4$  et  $\lambda/10$ .

Selon un troisième aspect de l'invention le superstrat (1) est positionné de manière à respecter les conditions d'excitation des cellules (2). En effet le superstrat est placé par rapport à la source de rayonnement de manière à ce que le champ magnétique  $H$  est majoritairement perpendiculaire à son plan et que le champ électrique  $E$  est majoritairement parallèle à son plan.

Selon un autre aspect de l'invention, lorsque la source de rayonnement (3) est isotrope, le superstrat est formé d'un réseau 3D de superstrat (1) pour fonctionner quel que soit la

polarisation du champ électromagnétique provenant de cette source de rayonnement. Grâce à ce mode de fonctionnement, la structure permet de maximiser le gain.

### Revendications :

1. Structure à base cellules méta-matériaux fonctionnant comme une antenne **caractérisée en ce qu'elle comprend**:
  - Une source de rayonnement électromagnétique (3) multi-bande
  - Un ou plusieurs superstrats (1) formés chacun par un réseau 1D fini de cellule méta-matériaux (2). Chaque superstrat est positionné à une distance (di) de la source de rayonnement (3).
2. Structure à base cellules méta-matériaux selon la revendication 1 **caractérisée en ce que** la distance (di) est fonction de la longueur d'onde correspondante à la fréquence centrale de bande de fréquence de fonctionnement et elle est comprise entre  $\lambda/4$  et  $\lambda/10$ .
3. Structure à base cellules méta-matériaux selon les revendications 1 et 2 **caractérisée en ce que** le superstrat (1) est positionné de manière à ce que le champ magnétique H est majoritairement perpendiculaire à son plan et que le champ électrique E est majoritairement parallèle à son plan.
4. Structure à base cellules méta-matériaux selon la revendication 1 **caractérisée en ce que** pour une source d'onde isotrope, le superstrat est formé d'un réseau 3D de superstrat (1) pour fonctionner quel que soit la polarisation du champ électromagnétique provenant de la source de rayonnement (3).



1/4

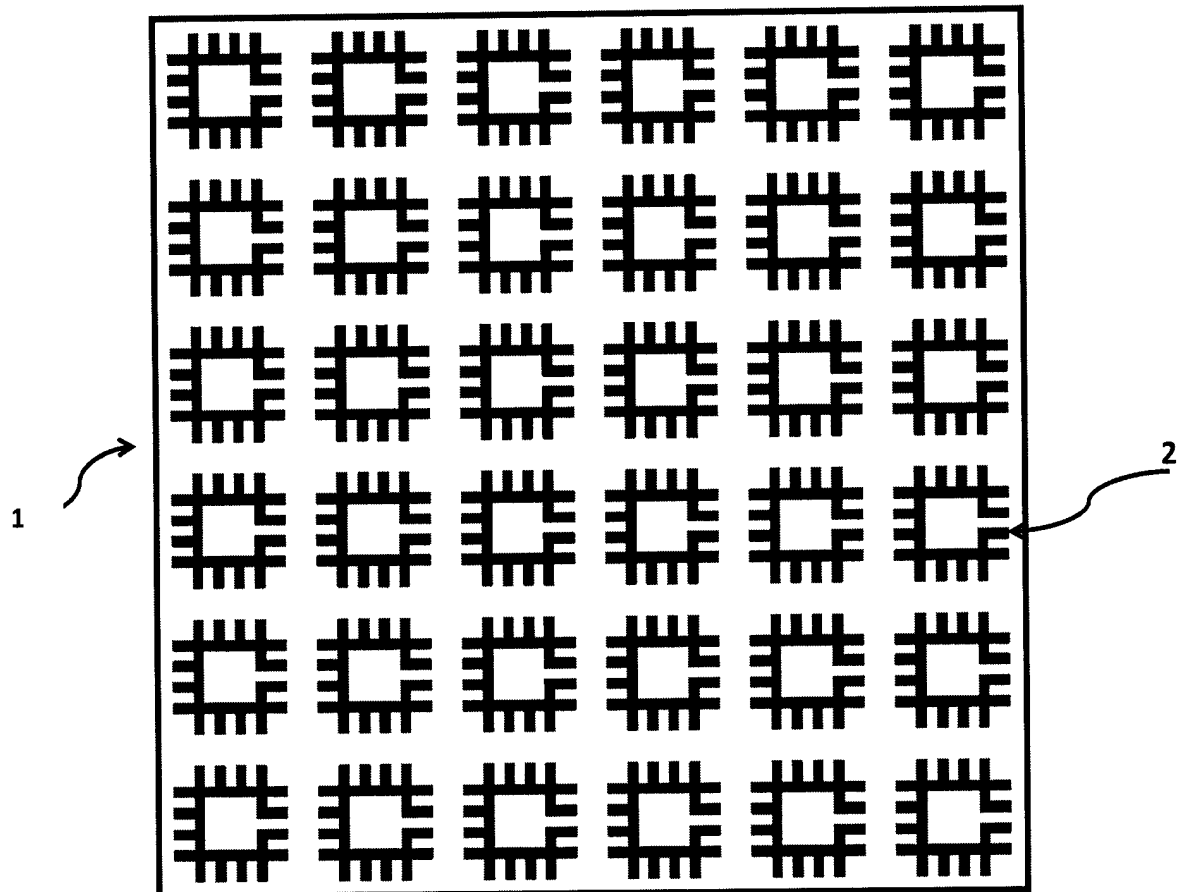


Fig. 1

2/4

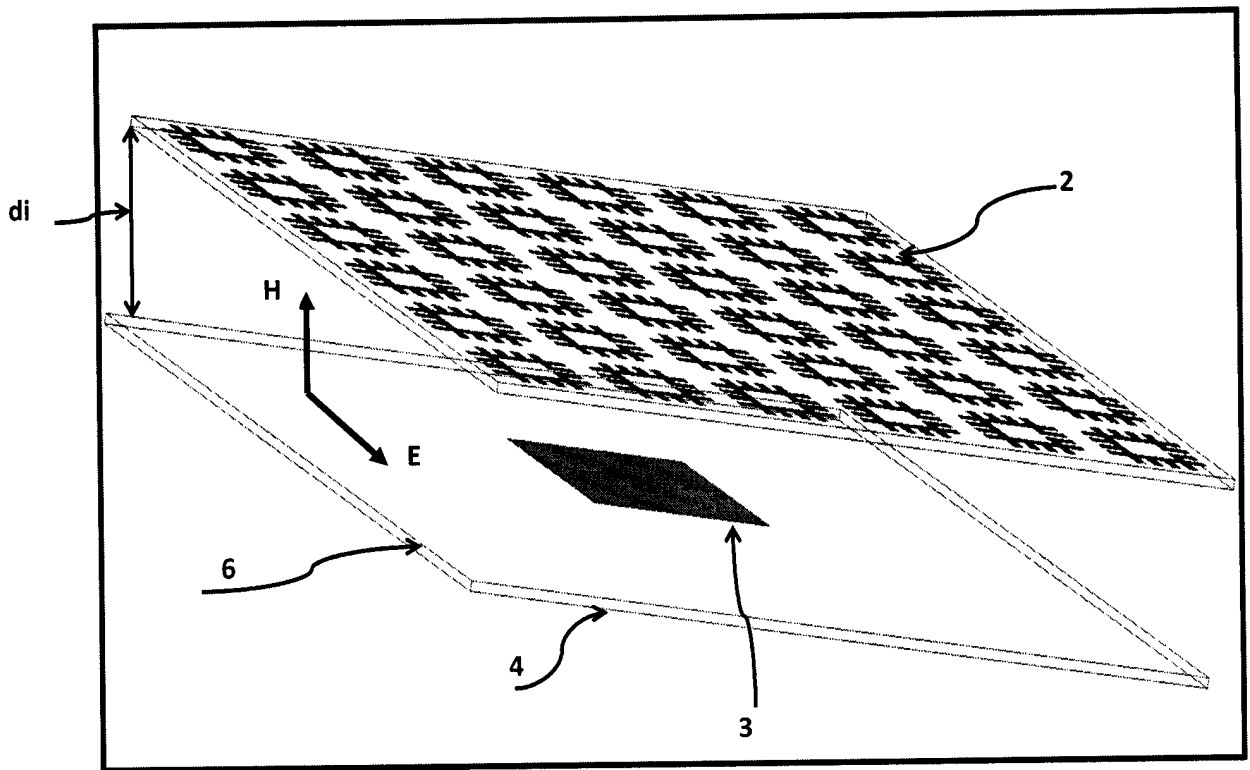


Fig. 2

3/4

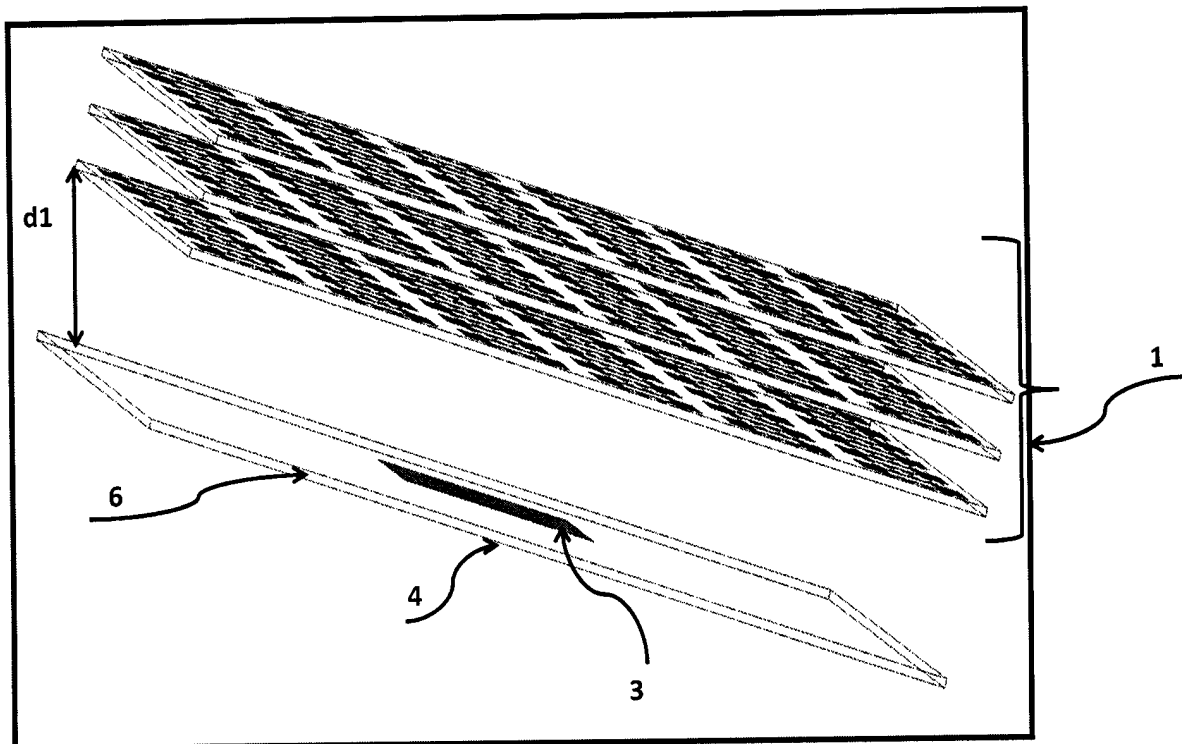


Fig. 3

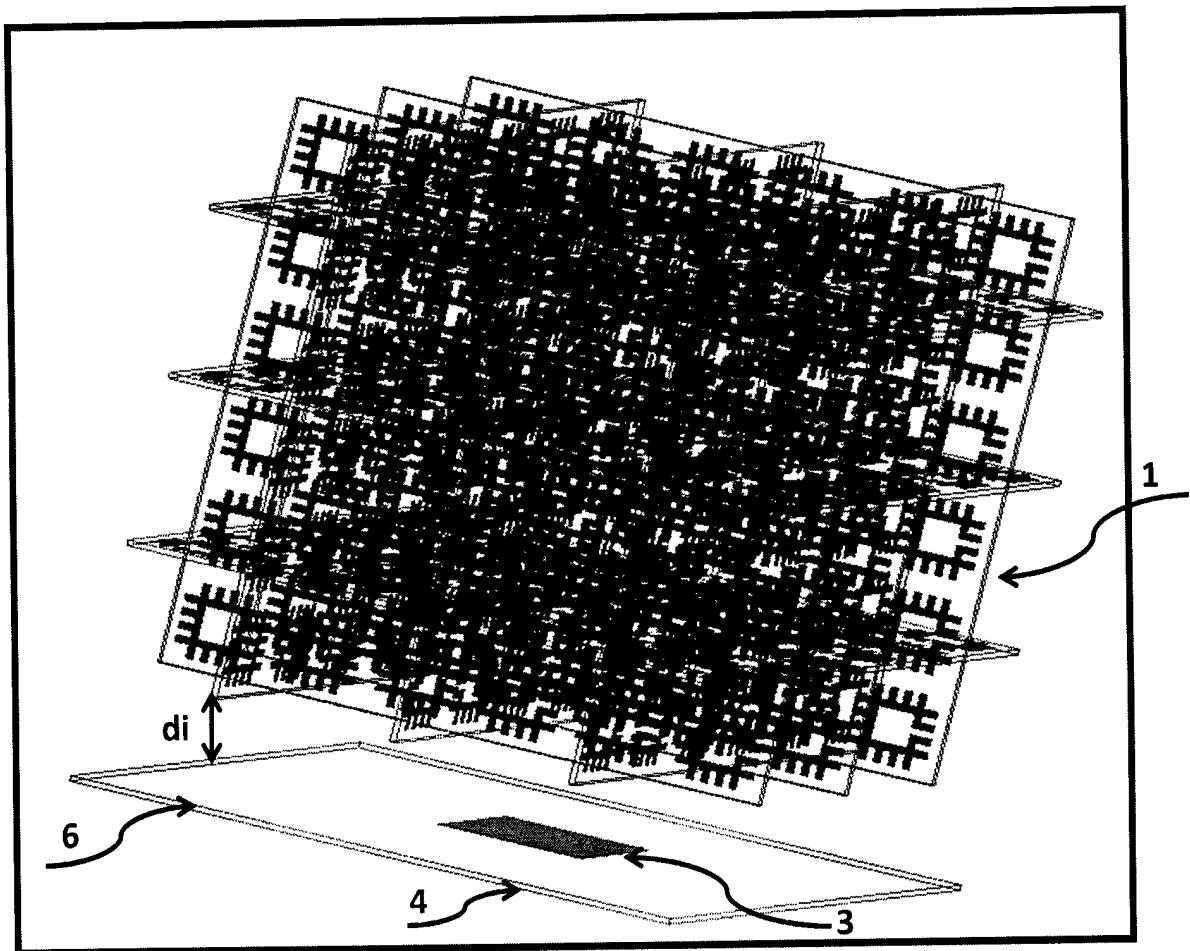
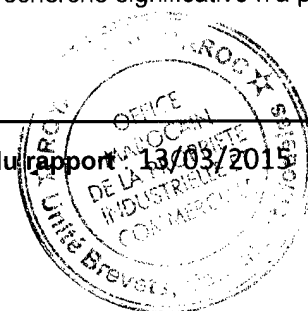


Fig. 4



**RAPPORT DE RECHERCHE  
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**  
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la  
protection de la propriété industrielle)

<b>Renseignements relatifs à la demande</b>	
N° de la demande : 37209	Date de dépôt : 14/07/2014
Déposant : LALJ HICHAM; GRIGUER HAFID and EMSI	
Intitulé de l'invention : SUPERSTRAT MÉTA-MATÉRIAUX MULTI-BANDES ET ISOTROPE POUR L'ABSORPTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET LA TRANSFORMATION ÉNERGÉTIQUE À HAUTE EFFICACITÉ	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents cités par l'examineur dans la partie rapport de recherche sont joints au présent document	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée <input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention	
Examineur: BAMI MOHAMMED	Date d'établissement du rapport: 13/03/2015
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	



**Partie 1 : Considérations générales**

*Cadre 1 : base du présent rapport*

Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Description  
6 Pages
- Revendications  
4
- Planches de dessin  
4 Pages

**Partie 2 : Rapport de recherche**

**Classement de l'objet de la demande :**

CIB : H01Q 15/00

Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :

**EPOQUE, Orbit**

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
A	US20100271692 A1 ; New Jersey Institute Of Technology ; 28/10/2010	1-4
A	US8338772 B2 ; Battelle Energy Alliance, Llc ; 25/10/2012	1-4

**\*Catégories spéciales de documents cités :**

-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément  
-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier  
-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent  
-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs  
-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

**Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité**

*Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle*

Nouveauté (N)	Revendications 1-4 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications 1-4 Revendications aucune	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-4 Revendications aucune	Oui Non
<p>Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure</p> <p>D1 : US20100271692 A1</p> <p><b>1. Nouveauté (N) :</b></p> <p>Aucun document ne divulgue l'ensemble des caractéristiques techniques citées des les revendications 1-4. Par conséquent, l'objet des revendications 1-4 est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13.</p> <p><b>2. Activité inventive (AI) :</b></p> <p>Le document D1 est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1, et divulgue :</p> <p>Une structure à base de cellules méta-matériaux fonctionnant comme une antenne comprenant : Un ou plusieurs superstrats formés chacun par un réseau 1D fini de cellule méta-matériaux. L'objet de la revendication 1 diffère de ce document en ce que, la structure est caractérisée:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Par une source de rayonnement multi-bande ;</li> <li>- En ce que chaque superstrat est positionné à une distance qui est en fonction de la longueur d'onde correspondante à la fréquence centrale de bande de fréquence de fonctionnement et elle est comprise entre <math>\lambda/4</math> et <math>\lambda/10</math>.</li> </ul> <p>Le problème objectif que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme: La conception d'une nouvelle structure à base de cellules méta-matériaux. La solution à ce problème, proposée dans la revendication indépendante 1 de la présente demande n'est pas connue dans l'art antérieur. L'homme du métier alors n'a aucune raison à arriver à cette solution. Par conséquent, l'objet des revendications 1-4 implique une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13.</p> <p><b>3. Possibilité d'application industrielle (PAI) :</b></p> <p>L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible</p>		