



(11) **EP 2 898 568 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
14.11.2018 Bulletin 2018/46

(21) Numéro de dépôt: **13780077.7**

(22) Date de dépôt: **20.09.2013**

(51) Int Cl.:
H01Q 17/00 (2006.01) G02B 1/00 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2013/069544

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2014/044786 (27.03.2014 Gazette 2014/13)

(54) **ABSORBANT ELECTROMAGNETIQUE**
ELEKTROMAGNETISCHER ABSORBER
ELECTROMAGNETIC ABSORBER

(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: **20.09.2012 FR 1258849**

(43) Date de publication de la demande:
29.07.2015 Bulletin 2015/31

(73) Titulaires:
• **Université Paris-Sud**
91400 Orsay (FR)
• **Centre National de la Recherche Scientifique**
(C.N.R.S.)
75016 Paris (FR)
• **Université Paris Ouest Nanterre La Défense**
92001 Nanterre Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
• **DE LUSTRAC, André**
92330 Sceaux (FR)
• **SELLIER, Alexandre**
78530 Buc (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Novitech**
188 Grande rue Charles de Gaulle
94130 Nogent-sur-Marne (FR)

(56) Documents cités:
EP-A1- 1 806 961 US-A1- 2010 271 692
US-A1- 2011 175 672 US-B2- 7 826 504

EP 2 898 568 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] La présente invention concerne un absorbant électromagnétique.

[0002] Le document US 7 826 504 B2 décrit un absorbant électromagnétique. Le document US-2011/0175672 décrit un absorbant électromagnétique comportant un ensemble d'éléments métalliques disposés sur un substrat à semi-conducteur. Une commande électrique est utilisée pour moduler la conductivité du substrat à semi-conducteur, ce qui permet de régler la bande d'absorption électromagnétique de l'absorbant.

[0003] Un inconvénient de l'absorbant électromagnétique décrit dans ce document est qu'il nécessite l'utilisation d'une commande électrique, ce qui complique sa fabrication et son utilisation.

[0004] Il existe donc un besoin d'un absorbant électromagnétique qui soit plus simple à fabriquer et à utiliser, et qui puisse être utilisé sur des surfaces conformées sans perdre ses propriétés. La présente invention vient améliorer la situation.

[0005] A cet effet, l'invention propose un absorbant électromagnétique selon la revendication 1.

[0006] Ainsi, l'absorbant électromagnétique selon l'invention permet d'obtenir une bande d'absorption électromagnétique souhaitée de manière passive. En conséquence, l'absorbant électromagnétique est plus simple à mettre en oeuvre.

[0007] Selon des modes de réalisation de l'invention, un motif élémentaire comportant plusieurs éléments résonants de dimensions différentes est répété périodiquement sur le substrat diélectrique isolant.

[0008] Un élément résonant peut par exemple présenter une forme carrée, rectangulaire, polygonale ou circulaire.

[0009] L'épaisseur du substrat diélectrique isolant peut être déterminée en fonction d'une fréquence de résonance électromagnétique de la bande d'absorption électromagnétique prévue et/ou d'un niveau d'absorption désiré.

[0010] La fréquence de résonance électromagnétique d'un élément résonant de forme carrée peut être réglée en adaptant la longueur d'un côté de l'élément résonant de manière que :

$$f_r = \frac{c_0}{2L'\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \pm 5\%$$

où :

f_r désigne la fréquence de résonance électromagnétique d'ordre zéro de l'élément résonant,
 c_0 désigne la vitesse de la lumière dans le vide,
 μ_r désigne la perméabilité relative du substrat diélectrique,
 ϵ_r désigne la permittivité relative du substrat diélectrique, et

L' désigne la longueur d'un côté de l'élément résonant.

[0011] La fréquence de résonance électromagnétique d'un élément résonant de forme circulaire peut être réglée en adaptant le rayon de l'élément résonant de manière que :

$$f^{(0)} = \frac{z_0}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{z_0 \cdot c_0}{2\pi a \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

où :

$f^{(0)}$ désigne la fréquence de résonance électromagnétique d'ordre zéro de l'élément résonant,
 a désigne le rayon de l'élément résonant,
 c_0 désigne la vitesse de la lumière dans le vide,
 $z_0 = 1,841$ désigne le premier maximum de la fonction de Bessel $J_1(z)$ d'ordre 1,
 μ_r désigne la perméabilité relative du substrat diélectrique,
 ϵ_r désigne la permittivité relative du substrat diélectrique,
 $\mu = \mu_r \mu_0$
 $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m, et
 $\epsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12}$ F/m.

[0012] L'absorbant électromagnétique peut en outre comporter plusieurs couches d'absorption empilées, chaque couche d'absorption comportant un ensemble d'éléments résonants métalliques.

[0013] L'invention propose également un procédé de fabrication selon la revendication 8.

[0014] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- La Figure 1 est une vue en perspective d'un absorbant électromagnétique selon un mode de réalisation de l'invention ;
- La Figure 2 est une vue en perspective d'une portion de l'absorbant électromagnétique de la Figure 1 ;
- La Figure 3 est une vue en coupe transversale de la portion d'absorbant électromagnétique de la Figure 2 ;
- La Figure 4 est un graphe représentant le coefficient de réflexion d'une onde électromagnétique incidente sur la portion d'absorbant électromagnétique des Figures 2 et 3 en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente ;
- La figure 5 est une vue agrandie d'un motif élémentaire.

taire de l'absorbant électromagnétique de la Figure 1 ;

- La Figure 6 est un graphe représentant le coefficient de réflexion d'une onde électromagnétique incidente sur l'absorbant électromagnétique de la Figure 1 en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente ;
- La Figure 7 est une vue en coupe transversale d'un absorbant électromagnétique selon un autre mode de réalisation dans lequel l'absorbant électromagnétique comporte plusieurs couches d'absorption empilées ; et
- la Figure 8 est un organigramme illustrant les étapes d'un procédé de fabrication d'un absorbant électromagnétique selon un mode de réalisation de l'invention.

[0015] La Figure 1 représente un absorbant électromagnétique 1 selon un mode de réalisation de l'invention. L'absorbant électromagnétique 1 présente ici une forme plane. En variante, l'absorbant électromagnétique 1 pourrait présenter une forme courbe, afin de permettre l'intégration de l'absorbant 1 dans un système de courbure quelconque.

[0016] On définit un repère orthogonal (0, X, Y, Z) dont les axes X et Y s'étendent dans le plan de l'absorbant électromagnétique 1, et dont l'axe Z est perpendiculaire au plan de l'absorbant 1.

[0017] Les Figures 2 et 3 représentent une portion de l'absorbant électromagnétique 1, respectivement en perspective et en coupe transversale.

[0018] L'absorbant électromagnétique 1 comporte un plan de masse 2 métallique.

[0019] L'absorbant électromagnétique 1 comporte également un substrat diélectrique isolant 3, disposé sur le plan de masse 2. Le substrat 3 est par exemple un composite de résine époxy renforcé de fibre de verre (époxy FR4).

[0020] L'absorbant électromagnétique 1 comporte également un ensemble d'éléments résonants 4 métalliques, disposés sur le substrat diélectrique 3. Les éléments résonants 4 sont par exemple réalisés en cuivre. Chaque élément résonant 4 peut présenter une forme quelconque, par exemple une forme polygonale ou circulaire.

[0021] L'absorbant électromagnétique 1 représenté sur la Figure 1 comporte des éléments résonants 4 de forme carrée et des éléments résonants 4 de forme rectangulaire. La portion d'absorbant électromagnétique 1 représentée sur les Figures 2 et 3 comporte un unique élément résonant 4 de forme carrée.

[0022] La fréquence de résonance d'un élément résonant 4 dépend notamment des dimensions de l'élément résonant 4 et de l'épaisseur du substrat diélectrique 3. Le niveau d'absorption dépend notamment de l'épais-

seur du substrat diélectrique 3 et de la périodicité de l'ensemble d'éléments résonants 4.

[0023] Par exemple, dans le cas d'un élément résonant 4 de forme carrée, la fréquence de résonance électromagnétique de l'élément résonant 4 peut être réglée en adaptant la longueur L' d'un côté de l'élément résonant 4 de manière que :

$$f_r = \frac{c_0}{2L'\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \pm 5\%$$

Où :

f_r désigne la fréquence de résonance électromagnétique d'ordre zéro de l'élément résonant 4,
 c_0 désigne la vitesse de la lumière dans le vide,
 μ_r désigne la perméabilité relative du substrat diélectrique,
 ϵ_r désigne la permittivité relative du substrat diélectrique 3, et
 L' désigne la longueur d'un côté de l'élément résonant 4.

[0024] L'équation ci-dessus permet d'obtenir un réglage de la fréquence de résonance électromagnétique à quelques pourcents près.

[0025] Un réglage plus précis de la fréquence de résonance électromagnétique de l'élément résonant 4 peut être obtenu en considérant que la longueur L' est une approximation de la longueur d'un côté de l'élément résonant 4 et en adaptant la longueur L d'un côté de l'élément résonant 4 de manière que :

$$L' = L + 2\Delta L$$

Ce qui donne :

$$L = \frac{c_0}{2f_r\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} - 2\Delta L$$

Avec :

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3)(\frac{W}{h} + 0,264)}{(\epsilon_{reff} - 0,258)(\frac{W}{h} + 0,8)}$$

Où :

W désigne la largeur de l'élément résonant 4, c'est-à-dire que dans le cas d'un élément résonant de forme carrée $W=L'$, et
 h désigne l'épaisseur du substrat diélectrique 3,

Et où :

$$\varepsilon_{\text{reff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2}$$

[0026] La Figure 4 montre une courbe représentant le coefficient de réflexion calculé d'une onde électromagnétique incidente sur un réseau infini d'éléments résonants 4 carrés en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente.

[0027] Chaque élément résonant 4 présente ici une forme carrée de 7mm de côté. Le réseau est donc périodique et formé d'un ensemble d'éléments résonants 4 identiques avec une période de 8 mm dans les directions du plan X et Y. Le substrat 3 est un substrat époxy FR4 de 0,3 mm d'épaisseur. On considère une onde électromagnétique incidente se propageant selon la direction Z.

[0028] On observe sur la figure 4 que la portion d'absorbant électromagnétique 1 présente une réflexion inférieure à 100%, et donc une absorption, autour de la fréquence 9,45 GHz, qui correspond à la fréquence de résonance de l'élément résonant 4. L'absorption est réalisée par un effet de résonance plasmonique de l'élément résonant 4 à sa fréquence de résonance.

[0029] Dans le cas d'un élément résonant 4 de forme circulaire, la fréquence de résonance électromagnétique peut être réglée en adaptant le rayon de l'élément résonant 4 de manière que :

$$f^{(0)} = \frac{z_0}{2\pi a \sqrt{\mu \varepsilon}} = \frac{z_0 \cdot c_0}{2\pi a \sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$$

Où :

$f^{(0)}$ désigne la fréquence de résonance électromagnétique d'ordre zéro de l'élément résonant 4, a désigne le rayon de l'élément résonant 4, c_0 désigne la vitesse de la lumière dans le vide, $z_0 = 1,841$ désigne le premier maximum de la fonction de Bessel $J_1(z)$ d'ordre 1,

μ_r désigne la perméabilité relative du substrat diélectrique,

ε_r désigne la permittivité relative du substrat diélectrique 3,

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m, et}$$

$$\varepsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12} \text{ F/m.}$$

[0030] Comme représenté sur la Figure 1, l'ensemble d'éléments résonants 4 de l'absorbant 1 comporte des éléments résonants 4 de dimensions et/ou de formes différentes. La juxtaposition des fréquences de résonance électromagnétiques des différents éléments résonants 4 permet ainsi d'obtenir une ou plusieurs bande(s)

d'absorption électromagnétique.

[0031] Plusieurs éléments résonants 4 de dimensions et/ou de formes différentes peuvent être agencés sur le substrat 3 de manière à former un motif élémentaire ME permettant de couvrir la ou les bande(s) d'absorption électromagnétique prédéterminée(s).

[0032] La Figure 5 montre un agrandissement du motif élémentaire ME de la Figure 1. Ce motif élémentaire ME comporte quatre éléments résonants 4a de forme carrée présentant une longueur L_a de côté, quatre éléments résonants 4b de forme rectangulaire présentant une longueur L_b et une largeur l_b , quatre éléments résonants 4c de forme carrée présentant une longueur L_c de côté, quatre éléments résonants 4d de forme rectangulaire présentant une longueur L_d et une largeur l_d , quatre éléments résonants 4e de forme carrée présentant une longueur L_e de côté, quatre éléments résonants 4f de forme rectangulaire présentant une longueur L_f et une largeur l_f , et un élément résonant 4g central de forme carrée présentant une longueur L_g de côté.

[0033] Le motif élémentaire ME peut alors être répété périodiquement sur toute la surface du substrat diélectrique isolant 3, ou sur une partie de la surface du substrat diélectrique isolant 3. Le nombre de répétitions périodiques dépend de la surface sur laquelle on souhaite réaliser une absorption.

[0034] La figure 6 montre un graphe représentant le coefficient de réflexion d'une onde électromagnétique incidente sur l'absorbant électromagnétique 1 de la Figure 1 en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente.

[0035] La courbe Cs est obtenue par une simulation, et la courbe Cm par une mesure. On considère un seuil d'absorption minimum fixé à -10 dB. On observe ainsi sur la Figure 6 une première bande d'absorption autour de la fréquence 7 GHz, et une deuxième bande d'absorption dans une plage de fréquences allant de 12,5 à 14,3 GHz.

[0036] L'absorbant électromagnétique 1 à métamatériau passif décrit ci-dessus présente l'avantage d'être léger, mince, et conformable. Il permet un fonctionnement identique indépendant de la polarisation sur une grande bande de fréquences et une large plage d'incidences.

[0037] L'absorbant électromagnétique 1 présente en plus une très faible épaisseur devant la longueur d'onde λ pour lequel il est calibré. Il est ainsi possible de réaliser une bande d'absorption avec une structure simple d'épaisseur approximative $\lambda/45$. Par exemple, l'épaisseur de l'absorbant 1 est d'environ 0,5 mm pour une longueur d'onde de 2,24 cm.

[0038] Comme cette épaisseur est très faible on peut augmenter l'absorption en utilisant des empilements de couches identiques d'épaisseur réduite devant la longueur d'onde. En d'autres termes, l'absorbant 1 comporte alors plusieurs couches d'absorption empilées, chaque couche d'absorption comportant un ensemble d'éléments résonants métalliques 4.

[0039] La Figure 7 montre un exemple de réalisation

d'un absorbant 1 comportant quatre couches d'absorption empilées. L'absorbant électromagnétique 1 comporte ici un plan de masse 2, sur lequel est disposé un premier substrat diélectrique isolant 3₁. Un premier ensemble d'éléments résonants 4₁ métalliques est disposé sur le premier substrat diélectrique 3₁. Un deuxième substrat diélectrique 3₂ est disposé sur le premier ensemble d'éléments résonants 4₁. Un deuxième ensemble d'éléments résonants 4₂ métalliques est disposé sur le deuxième substrat diélectrique 3₂. Un troisième substrat diélectrique 3₃ est disposé sur le deuxième ensemble d'éléments résonants 4₂. Un troisième ensemble d'éléments résonants 4₃ métalliques est disposé sur le troisième substrat diélectrique 3₃. Un quatrième substrat diélectrique 3₄ est disposé sur le troisième ensemble d'éléments résonants 4₃. Un quatrième ensemble d'éléments résonants 4₄ métalliques est disposé sur le quatrième substrat diélectrique 3₄.

[0040] Le nombre de couches d'absorption empilées dépend de l'absorption souhaitée et n'est pas limitatif.

[0041] De plus, la faible épaisseur de l'absorbant 1 permet de réaliser un absorbant 1 conforme sur des surfaces de révolution à faible rayon de courbure.

[0042] L'absorbant électromagnétique 1 peut principalement être utilisé dans le domaine de la compatibilité électromagnétique.

[0043] En se référant à la Figure 8, on décrit les étapes d'un procédé de fabrication d'un absorbant électromagnétique 1 selon un mode de réalisation de l'invention.

[0044] A l'étape S1, un substrat diélectrique isolant 3 est disposé sur un plan de masse métallique 2. Le substrat 3 est par exemple un composite de résine époxy renforcé de fibre de verre (époxy FR4).

[0045] A l'étape S2, un ensemble d'éléments résonants 4 métalliques est disposé sur le substrat diélectrique isolant 3. Comme décrit ci-dessus, les dimensions des éléments résonants 4 sont adaptées en fonction d'une ou plusieurs bande(s) d'absorption électromagnétique souhaitée(s).

[0046] Ce procédé permet notamment de simplifier la fabrication de l'absorbant 1, donc de réduire son coût de fabrication.

[0047] Bien entendu, la présente invention ne se limite pas aux formes de réalisation décrites ci-avant à titre d'exemples ; elle s'étend à d'autres variantes.

Revendications

1. Absorbant électromagnétique (1) comprenant :

- un plan de masse métallique (2),
- un substrat diélectrique isolant (3), disposé sur ledit plan de masse métallique,
- un ensemble d'éléments résonants (4) métalliques, disposés sur ledit substrat diélectrique isolant, la fréquence de résonance électromagnétique d'un élément résonant étant réglée en

adaptant les dimensions de l'élément résonant, **caractérisé en ce que** l'ensemble d'éléments résonants comportant des éléments résonants de dimensions différentes agencés sur le substrat de manière à former un motif permettant de couvrir une bande d'absorption électromagnétique prédéterminée par effet de résonance plasmonique des éléments résonants.

2. Absorbant électromagnétique selon la revendication 1, dans lequel un motif élémentaire comportant plusieurs éléments résonants de dimensions différentes est répété périodiquement sur le substrat diélectrique isolant.

3. Absorbant électromagnétique selon la revendication 1 ou 2, dans lequel un élément résonant présente une forme carrée, rectangulaire, polygonale ou circulaire.

4. Absorbant électromagnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le substrat diélectrique isolant a une épaisseur déterminée en fonction d'une fréquence de résonance électromagnétique de la bande d'absorption électromagnétique prédéterminée et/ou d'un niveau d'absorption désiré.

5. Absorbant électromagnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la fréquence de résonance électromagnétique d'un élément résonant de forme carrée est réglée en adaptant la longueur d'un côté de l'élément résonant de manière que :

$$f_r = \frac{c_0}{2L'\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \pm 5\%$$

où :

f_r désigne la fréquence de résonance électromagnétique d'ordre zéro de l'élément résonant, c_0 désigne la vitesse de la lumière dans le vide, μ_r désigne la perméabilité relative du substrat diélectrique, ϵ_r désigne la permittivité du substrat diélectrique, et L' désigne la longueur d'un côté de l'élément résonant.

6. Absorbant électromagnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la fréquence de résonance électromagnétique d'un élément résonant de forme circulaire est réglée en adaptant le rayon de l'élément résonant de manière que :

$$f^{(0)} = \frac{z_0}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{z_0 \cdot c_0}{2\pi a \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

où :

$f^{(0)}$ désigne la fréquence de résonance électromagnétique d'ordre zéro de l'élément résonant,
 a désigne le rayon de l'élément résonant,
 c_0 désigne la vitesse de la lumière dans le vide,
 $z_0 = 1,841$ désigne le premier maximum de la fonction de Bessel $J_1(z)$ d'ordre 1,
 μ_r désigne la perméabilité relative du substrat diélectrique,
 ϵ_r désigne la permittivité du substrat diélectrique,
 $\mu = \mu_r \mu_0$
 $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m, et
 $\epsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12}$ F/m.

7. Absorbant électromagnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comportant plusieurs couches d'absorption empilées, chaque couche d'absorption comportant un ensemble d'éléments résonants (4) métalliques..

8. Procédé de fabrication d'un absorbant électromagnétique, comprenant des étapes consistant à :

- disposer un substrat diélectrique isolant sur un plan de masse métallique, et
- disposer un ensemble d'éléments résonants métalliques sur ledit substrat diélectrique isolant, la fréquence de résonance électromagnétique d'un élément résonant étant réglée en adaptant les dimensions de l'élément résonant, **caractérisé en ce que** l'ensemble d'éléments résonants comportant des éléments résonants de dimensions différentes agencés sur le substrat de manière à former un motif permettant de couvrir une bande d'absorption électromagnétique prédéterminée par effet de résonance plasmonique des éléments résonants.

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Absorber (1), umfassend:

- eine metallische Masseebene (2),
- ein isolierendes dielektrisches Substrat (3), das auf der metallischen Masseebene angeordnet ist,
- einen Satz metallischer Resonanzelemente (4), die auf dem isolierenden dielektrischen Substrat angeordnet sind, wobei die elektromagnetische Resonanzfrequenz eines Resonanzelements

ments durch Anpassen der Abmessungen des Resonanzelements eingestellt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** wobei der Resonanzelementesatz Resonanzelemente unterschiedlicher Abmessungen umfasst, die so auf dem Substrat eingerichtet sind, dass sie ein Muster bilden, welches es ermöglicht, eine vorbestimmte elektromagnetische Absorptionsbande mit plasmonischem Resonanzeffekt der Resonanzelemente abzudecken.

2. Elektromagnetischer Absorber nach Anspruch 1, wobei ein Elementarmuster, das mehrere Resonanzelemente unterschiedlicher Abmessungen umfasst, periodisch auf dem isolierenden dielektrischen Substrat wiederholt wird.

3. Elektromagnetischer Absorber nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein Resonanzelement eine quadratische, rechteckige, polygonale oder kreisrunde Form aufweist.

4. Elektromagnetischer Absorber nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das isolierende dielektrische Substrat eine Dicke aufweist, die in Abhängigkeit von einer elektromagnetischen Resonanzfrequenz der vorbestimmten elektromagnetischen Absorptionsbande und/oder von einem gewünschten Absorptionniveau bestimmt wird.

5. Elektromagnetischer Absorber nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die elektromagnetische Resonanzfrequenz eines Resonanzelements von quadratischer Form durch Anpassen der Länge einer Seite des Resonanzelements so eingestellt wird, dass:

$$f_r = \frac{c_0}{2L' \sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \pm 5\%$$

wobei:

f_r die elektromagnetische Resonanzfrequenz nullter Ordnung des Resonanzelements bezeichnet,
 c_0 die Geschwindigkeit des Lichts im Vakuum bezeichnet,
 μ_r die relative Permeabilität des dielektrischen Substrats bezeichnet,
 ϵ_r die Permittivität des dielektrischen Substrats bezeichnet, und
 L' die Länge einer Seite des Resonanzelements bezeichnet.

6. Elektromagnetischer Absorber nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die elektromagnetische Resonanzfrequenz eines Resonanzelements von

kreisrunder Form durch Anpassen des Radius des Resonanzelements so eingestellt wird, dass:

$$f^{(0)} = \frac{Z_0}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{Z_0 \cdot c_0}{2\pi a \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

wobei:

$f^{(0)}$ die elektromagnetische Resonanzfrequenz nullter Ordnung des Resonanzelements bezeichnet,

a den Radius des Resonanzelements bezeichnet,

c_0 die Geschwindigkeit des Lichts im Vakuum bezeichnet,

$Z_0 = 1,841$ das erste Maximum der Besselfunktion $J_1(z)$ 1. Ordnung bezeichnet,

μ_r die relative Permeabilität des dielektrischen Substrats bezeichnet,

ϵ_r die Permittivität des dielektrischen Substrats bezeichnet,

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m, und}$$

$$\epsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12} \text{ F/m.}$$

7. Elektromagnetischer Absorber nach einem der Ansprüche 1 bis 6, der mehrere gestapelte Absorptionsschichten umfasst, wobei jede Absorptionsschicht einen Satz metallischer Resonanzelemente (4) umfasst.

8. Verfahren zur Herstellung eines elektromagnetischen Absorbers, umfassend Schritte, die bestehen im:

- Anordnen eines isolierenden dielektrischen Substrats auf einer metallischen Masseebene, und

- Anordnen eines Satzes metallischer Resonanzelemente auf dem isolierenden dielektrischen Substrat, wobei die elektromagnetische Resonanzfrequenz eines Resonanzelements durch Anpassen der Abmessungen des Resonanzelements eingestellt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** wobei der Resonanzelementesatz Resonanzelemente unterschiedlicher Abmessungen umfasst, die so auf dem Substrat eingerichtet sind, dass sie ein Muster bilden, welches es ermöglicht, eine vorbestimmte elektromagnetische Absorptionsbande mit plasmonischem Resonanzeffekt der Resonanzelemente abzudecken.

Claims

1. Electromagnetic absorber (1) comprising:

- a metal ground plane (2),
- an insulating dielectric substrate (3), arranged on said metal ground plane,
- an array of resonating metal elements (4), arranged on said insulating dielectric substrate, the electromagnetic resonant frequency of a resonating element being adjusted by adapting the dimensions of the resonating element, **characterised in that** the array of resonating elements comprising resonating elements of various sizes arranged on the substrate in such a way as to form a pattern making it possible to cover a preset electromagnetic absorption band via the plasmon resonance effect of the resonating elements.

2. Electromagnetic absorber according to claim 1, wherein an elementary pattern comprising several resonating elements of various sizes is repeated periodically on the insulating dielectric substrate.

3. Electromagnetic absorber according to claim 1 or 2, wherein a resonating element has a square, rectangular, polygonal or circular shape.

4. Electromagnetic absorber according to any of claims 1 to 3, wherein the insulating dielectric substrate has a thickness determined according to an electromagnetic resonant frequency of the preset electromagnetic absorption band and/or of a desired absorption level.

5. Electromagnetic absorber according to any of claims 1 to 4, wherein the electromagnetic resonant frequency of a resonating element of square shape is adjusted by adapting the length of one side of the resonating element in such a way that:

$$f_r = \frac{c_0}{2L' \sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \pm 5\%$$

where:

f_r designates the zero-order electromagnetic resonant frequency of the resonating element,
 C_0 designates the speed of light in a vacuum,
 μ_r designates the relative permeability of the dielectric substrate,
 ϵ_r designates the permittivity of the dielectric substrate, and
 L' designates the length of one side of the resonating element.

6. Electromagnetic absorber according to any of claims 1 to 4, wherein the electromagnetic resonant frequency of a resonating element of circular shape is adjusted by adapting the radius of the resonating element in such a way that:

5

$$f^{(0)} = \frac{Z_0}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{Z_0 \cdot c_0}{2\pi a \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

10

where:

$f^{(0)}$ designates the zero-order electromagnetic resonant frequency of the resonating element, a designates the radius of the resonating element,

15

c_0 designates the speed of light in a vacuum, $Z_0 = 1,841$ designates the first maximum of the order-1 Bessel function $J_1(z)$,

μ_r designates the relative permeability of the dielectric substrate,

20

ϵ_r designates the permittivity of the dielectric substrate,

$\mu = \mu_r \mu_0$

$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$

25

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m, and

$\epsilon_0 = 8.854187 \cdot 10^{-12}$ F/m.

7. Electromagnetic absorber according to any of claims 1 to 6, comprising several stacked absorption layers, each absorption layer comprising an array of resonating metal elements (4).

30

8. Method for manufacturing an electromagnetic absorber, comprising steps consisting in:

35

- arranging an insulating dielectric substrate on a metal ground plane, and

- arranging an array of resonating metal elements on said insulating dielectric substrate, the electromagnetic resonant frequency of a resonating element being adjusted by adapting the dimensions of the resonating element, **characterised in that** the array of resonating elements

40

comprising resonating elements of various sizes arranged on the substrate in such a way as to form a pattern making it possible to cover a preset electromagnetic absorption band via the plasmon resonance effect of the resonating elements.

45

50

55

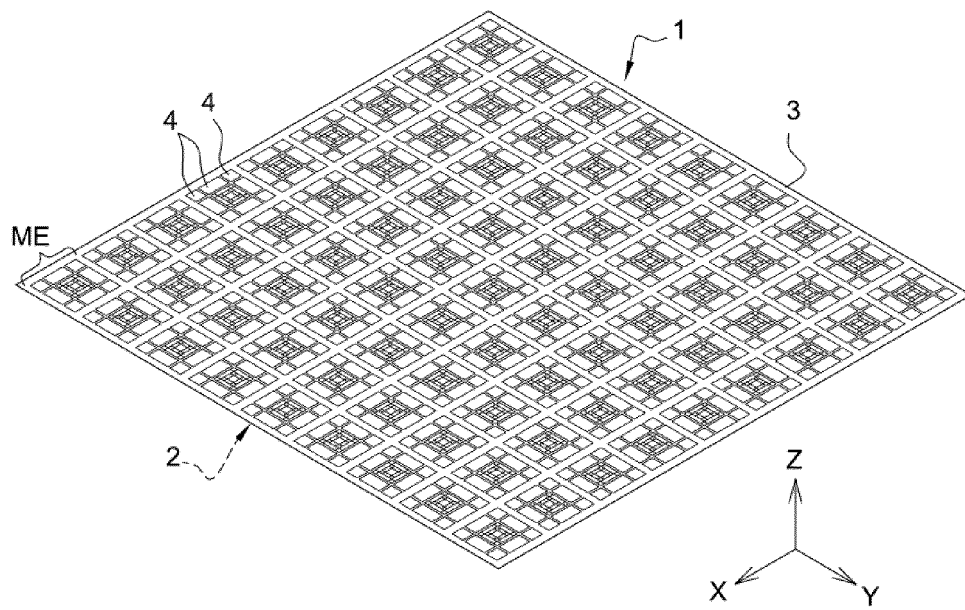


Fig. 1

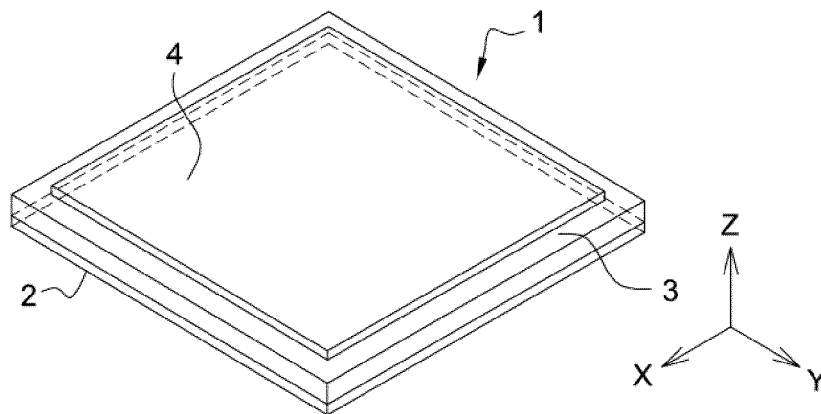


Fig. 2

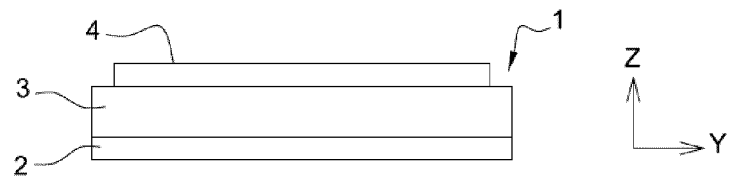


Fig. 3

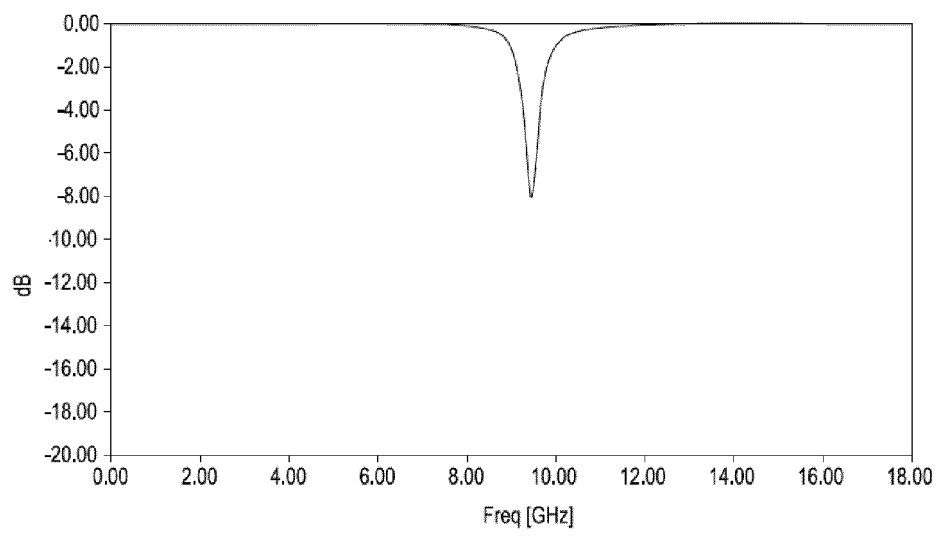


Fig. 4

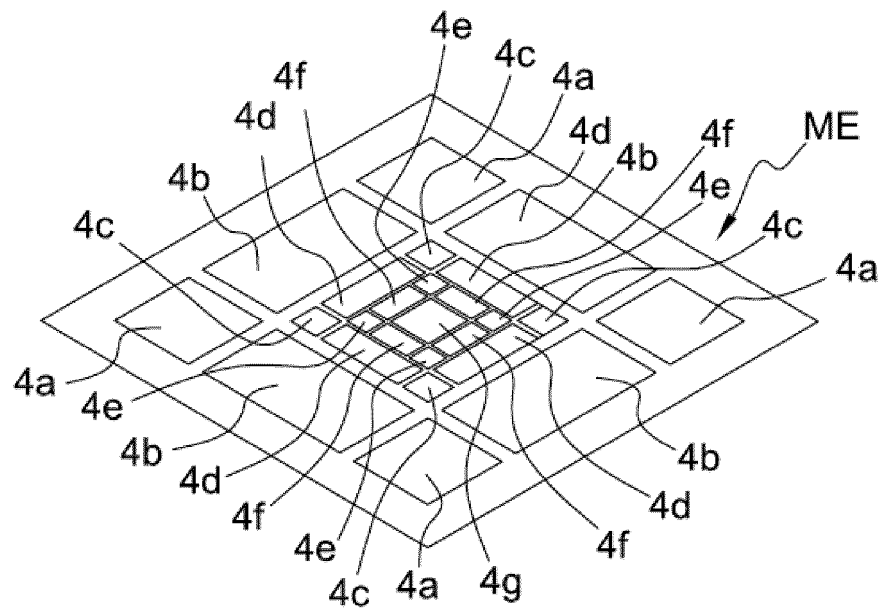


Fig. 5

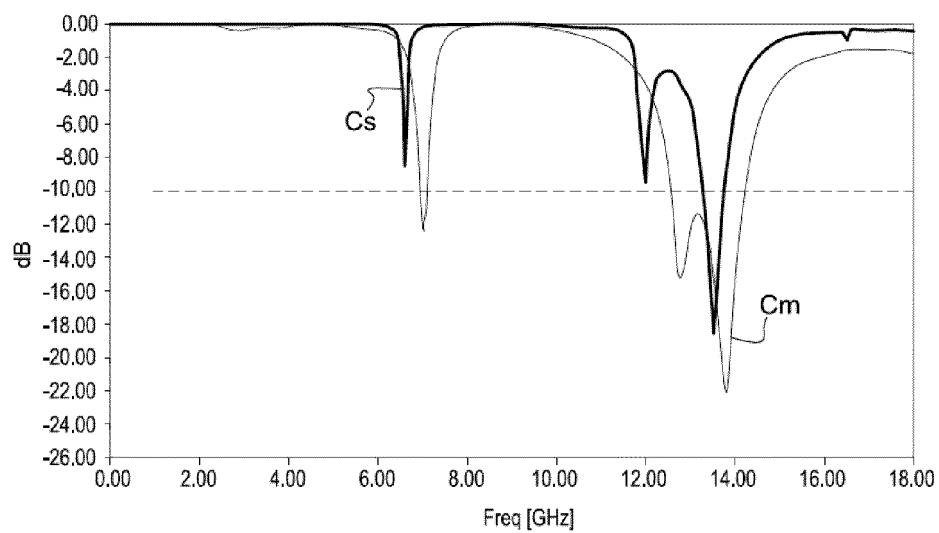


Fig. 6

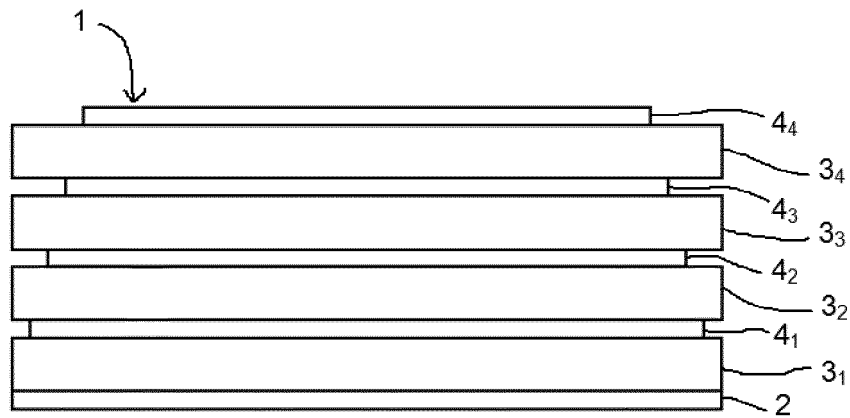


Fig. 7

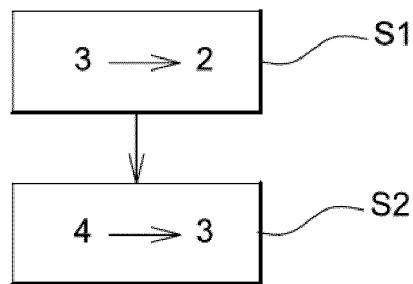


Fig. 8

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 7826504 B2 [0002]
- US 20110175672 A [0002]