

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02008/038542

発行日 平成22年1月28日 (2010.1.28)

(43) 国際公開日 平成20年4月3日 (2008.4.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1P 3/20 (2006.01)	HO1P 3/20	5J014
HO1Q 15/14 (2006.01)	HO1Q 15/14 Z	5J020

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 14 頁)

出願番号 特願2008-536337 (P2008-536337)	(71) 出願人 304020177 国立大学法人山口大学 山口県山口市吉田1677-1
(21) 国際出願番号 PCT/JP2007/068095	
(22) 国際出願日 平成19年9月18日 (2007.9.18)	
(31) 優先権主張番号 特願2006-260907 (P2006-260907)	(74) 代理人 100093687 弁理士 富崎 元成
(32) 優先日 平成18年9月26日 (2006.9.26)	(74) 代理人 100106770 弁理士 円城寺 貞夫
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	(74) 代理人 100139789 弁理士 町田 光信
	(72) 発明者 真田 篤志 山口県宇部市常盤台2丁目16-1 国立 大学法人山口大学工学部内
	Fターム(参考) 5J014 JA00 5J020 AA02 AA03 AA05 DA01

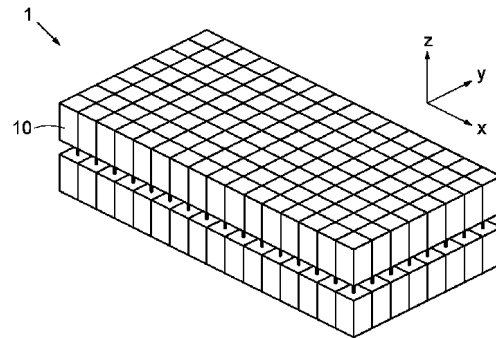
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 2次元左手系メタマテリアル

(57) 【要約】

2次元の電磁波伝播媒質として機能し、媒質の等価的な誘電率と透磁率の両者が負となる左手系メタマテリアルであり、左手系媒質として低損失で広帯域特性に優れ、構造も簡素で製造コストを低減させることのできる2次元左手系メタマテリアルを提供する。

導体からなる単位構造体10が平面上に規則的に配置された2次元左手系メタマテリアルであって、前記単位構造体は、中心軸が前記平面に対して垂直方向を向く柱状の第1柱体と、前記第1柱体と同一方向の中心軸を有し、前記第1柱体と中心軸方向に離間して配置された柱状の第2柱体と、前記第1柱体と前記第2柱体とを互いに電氣的に接続する接続体とからなるものであり、前記単位構造体は、前記平面に対して垂線方向に同一位置となるように配置され、さらに、互いに他の単位構造体と接触しないように配置されたものである。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

導体からなる単位構造体 (1 0) が平面上に規則的に配置された 2 次元左手系メタマテリアルであって、

前記単位構造体 (1 0) は、

中心軸が前記平面に対して垂直方向を向く柱状の第 1 柱体 (1 1) と、

前記第 1 柱体 (1 1) と同一方向の中心軸を有し、前記第 1 柱体 (1 1) と中心軸方向に離間して配置された柱状の第 2 柱体 (1 2) と、

前記第 1 柱体 (1 1) と前記第 2 柱体 (1 2) とを互いに電氣的に接続する接続体 (1 3) とからなるものであり、

10

前記単位構造体 (1 0) は、前記平面に対して垂線方向に同一位置となるように配置され、さらに、互いに他の単位構造体 (1 0) と接触しないように配置されたものである 2 次元左手系メタマテリアル。

【請求項 2】

請求項 1 に記載した 2 次元左手系メタマテリアルであって、

前記第 1 柱体 (1 1) および前記第 2 柱体 (1 2) は、中心軸に垂直な断面形状が正方形である 2 次元左手系メタマテリアル。

【請求項 3】

請求項 1 に記載した 2 次元左手系メタマテリアルであって、

前記第 1 柱体 (1 1) および前記第 2 柱体 (1 2) は、中心軸に垂直な断面形状が正六角形である 2 次元左手系メタマテリアル。

20

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載した 2 次元左手系メタマテリアルであって、

前記第 1 柱体 (1 1) 、前記第 2 柱体 (1 2) および前記接続体 (1 3) は、それぞれの中心軸が同一直線となるように配置されたものである 2 次元左手系メタマテリアル。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載した 2 次元左手系メタマテリアルであって、

前記接続体 (1 3) は、その中心軸に垂直な方向の寸法が前記第 1 柱体 (1 1) および前記第 2 柱体 (1 2) の中心軸に垂直な方向の寸法よりも小さいものである 2 次元左手系メタマテリアル。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は電磁波を伝播させるための人工的な媒質 (メタマテリアル) に関し、詳しくは、2次元の電磁波伝播媒質として機能し、媒質の等価的な誘電率と透磁率の両者が負となる 2次元左手系メタマテリアルに関するものである。

【背景技術】**【0002】**

金属、誘電体、磁性体、超伝導体などの小片 (単位構造体) を、波長に対して十分短い間隔 (波長の 10 分の 1 程度以下) で並べることで自然にはない性質を持った媒質を人工的に構成することができる。この媒質を自然にある媒質のカテゴリに比べてより大きいカテゴリに属する媒質と言う意味でメタマテリアル (metamaterials) と呼んでいる。メタマテリアルの性質は、単位構造体の形状、材質およびそれらの配置により様々に変化する。

40

【0003】

中でも、等価的な誘電率 ϵ と透磁率 μ とが同時に負となるメタマテリアルは、その電界と磁界と波数ベクトルが左手系をなすことから「左手系媒質 (LHM: Left-Handed Materials)」と名付けられた。この左手系媒質を本明細書においては左手系メタマテリアルと呼ぶ。これに対して、等価的な誘電率 ϵ と透磁率 μ とが同時に正となる通常の媒質は「右手系媒質 (RHM: Right-Handed Materials)」と呼ばれる。これら誘電率 ϵ 、透磁率 μ

50

μ と媒質との関係領域は、図1に示すように、誘電率の正負および透磁率 μ の正負に応じた第1象限～第4象限の媒質に分類できる。右手系媒質は第1象限の媒質であり、左手系媒質は第3象限の媒質である。

【0004】

特に、左手系メタ材料は、波の群速度（エネルギーの伝播する速度）と位相速度（位相の進む速度）の符号が逆転している波（バックワード波と呼ばれる）の存在や、また、非伝播領域で指数関数的に減衰する波であるエバネセント波の増幅、等の特異な性質を持つものである。そして、左手系メタ材料によるバックワード波を伝送する線路を人工的に構成することができる。このことは、下記の非特許文献1、非特許文献2にも記載されているように公知である。

10

【0005】

この左手系媒質構成の概念に基づき、金属パターンからなる単位セルを周期的に並べてバックワード波を伝播させる線路が提案されている。これまで、その伝送特性が理論的に取り扱われ、この線路が左手系伝送帯域を持つこと、左手系伝送帯域と右手系伝送帯域との間にバンドギャップが生じること、そのバンドギャップ幅は単位セル中のリアクタンスによりコントロールすることができること等が理論的に明らかになっている。これらに関しては、下記の非特許文献3に記載されている。

【0006】

【非特許文献1】D. R. Smith, W. J. Padilla, D. C. Vier, S. C. Nemat-Nasser, and S. Schultz, "Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity," Phys. Rev. Lett., vol. 84, no. 18, pp.4184-4187, May 2000

20

【非特許文献2】C. Caloz, and T. Itoh, "Application of the transmission line theory of left-handed (LH) materials to the realization of a microstrip LH line", IEEE-APS Int'l Symp. Digest, vol. 2, pp. 412-415, June 2002

【非特許文献3】Atsushi Sanada, Christophe Caloz and Tatsuo Itoh, "Characteristic s of the Composite Right/Left-Handed Transmission Lines," IEEE Microwave and Wireless Component Letters, Vol.14, No.2, pp. 68-70, February 2004

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

30

左手系メタ材料は、その構成上から共振型と非共振型に大別できる。最初に作成された左手系メタ材料は共振型である。共振型の左手系メタ材料は、人工誘電体の誘電率および人工磁性体の透磁率が、共振周波数の近傍でともに負になる領域を使用するものである。このため、左手系媒質として機能する周波数帯域幅が狭いという欠点がある。さらに、共振周波数の近傍周波数を使用するため損失が大きくなるという欠点がある。

【0008】

これに対して、非共振型の左手系メタ材料は、通常の媒質における伝送線路の分布定数インダクタンス（L）、分布定数キャパシタンス（C）を逆に配置した伝送線路の特性に基づいている。このような分布定数LCを逆転させた伝送線路においては、前述のバックワード波が伝送され、左手系メタ材料としての性質を持つのである。非共振型の左手系メタ材料は、共振型と比較すると、左手系媒質として機能する周波数帯域幅が広く、損失が小さくなるという特徴がある。

40

【0009】

非共振型の左手系メタ材料としては、集中定数LC素子（チップインダクタ、チップコンデンサ等）を使用した伝送回路や、伝送路に周期的な構造を配置した分布定数型の媒質があった。しかし、集中定数LC素子を使用したものは動作周波数に上限（素子の自己共振周波数以下でのみ動作可能）があるという問題点があり、数GHz以上で動作する左手系メタ材料は実現困難であった。また、集中定数LC素子を多数使用するため製作が困難であり、製造コストも高くなる。分布定数型の媒質は、主に誘電体基板上に

50

構成された平面回路型構造のものが研究されている。しかし平面回路中の電磁波に対してではなく放射電磁界に対する非共振型の左手系媒質はこれまで実現されていない。

【0010】

そこで、本発明は、2次元の電磁波伝播媒質として機能し、媒質の等価的な誘電率と透磁率の両者が同時に負となる左手系メタマテリアルであり、左手系媒質としての特性に優れ、構造も簡素で製造コストを低減させることのできる2次元左手系メタマテリアルを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するために、本発明の2次元左手系メタマテリアルは、導体からなる単位構造体が平面上に規則的に配置された2次元左手系メタマテリアルであって、前記単位構造体は、中心軸が前記平面に対して垂直方向を向く柱状の第1柱体と、前記第1柱体と同一方向の中心軸を有し、前記第1柱体と中心軸方向に離間して配置された柱状の第2柱体と、前記第1柱体と前記第2柱体とを互いに電氣的に接続する接続体とからなるものであり、前記単位構造体は、前記平面に対して垂線方向に同一位置となるように配置され、さらに、互いに他の単位構造体と接触しないように配置されたものである。

10

【0012】

また、上記の2次元左手系メタマテリアルにおいて、前記第1柱体および前記第2柱体は、中心軸に垂直な断面形状が正方形のものとする事ができる。

【0013】

また、上記の2次元左手系メタマテリアルにおいて、前記第1柱体および前記第2柱体は、中心軸に垂直な断面形状が正六角形のものとする事ができる。

20

【0014】

また、上記の2次元左手系メタマテリアルにおいて、前記第1柱体、前記第2柱体および前記接続体は、それぞれの中心軸が同一直線となるように配置されたものとする事ができる。

【0015】

また、上記の2次元左手系メタマテリアルにおいて、前記接続体は、その中心軸に垂直な方向の寸法が前記第1柱体および前記第2柱体の中心軸に垂直な方向の寸法よりも小さいものとする事ができる。

30

【発明の効果】

【0016】

本発明は、以上のように構成されているので、以下のような効果を奏する。

【0017】

第1柱体と第2柱体とを互いに接続した構成の単位構造体を使用しているため、第1柱体と第2柱体との間のインダクタンスを大きくでき、動作周波数を低下させることができる。換言すれば、電磁波の波長と比較した単位構造体の寸法を小さくでき、左手系メタマテリアルをより均一媒質に近付けることができる。

【0018】

第1柱体と第2柱体の断面形状を正方形としたので、隣接する単位構造体との間の静電容量をさらに大きくでき、動作周波数をさらに低下させてより均一媒質に近付けることができる。

40

【0019】

第1柱体と第2柱体の断面形状を正六角形としたので、動作周波数を低下させてより均一媒質に近付けることができるとともに、異方性をさらに減少させて等方媒質により近付けることができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】誘電率、透磁率 μ の正負領域と媒質との関係を示す図である。

【図2】本発明の第1の形態のメタマテリアル1を示す斜視図である。

50

【図 3】単位構造体 10 の構成を示す正面図である。

【図 4】単位構造体 10 の構成および配置を示す平面図である。

【図 5】単位構造体 10 を配列した左手系メタマテリアル 1 の等価回路を示す図である。

【図 6】メタマテリアル 1 の分散特性を示す図である。

【図 7】本発明の第 2 の形態のメタマテリアル 1 a を示す図である。

【図 8】第 3 の形態のメタマテリアルの単位構造体 20 の構成を示す正面図である。

【図 9】単位構造体 20 の構成および配置を示す平面図である。

【符号の説明】

【0021】

1, 1a メタマテリアル

10, 20 単位構造体

11, 21 第 1 柱体

12, 22 第 2 柱体

13, 23 接続体

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図 2 は、本発明の第 1 の形態のメタマテリアル 1 を示す斜視図である。導体（典型的には金属）からなる単位構造体 10 が平面上（ここでは $x-y$ 平面上）に規則的（ここでは周期的）に配置されている。このメタマテリアル 1 では、単位構造体 10 が縦横等間隔（等ピッチ）の格子状に配列されている。

【0023】

それぞれの単位構造体 10 は、隣接する単位構造体 10 と接触しないように隙間をあけて配置されている。単位構造体 10 は、全体が絶縁体内に埋め込まれてもよいし、その一部が絶縁体の平板等によって固定され位置決めされていてもよい。図 2 では、 $16 \times 8 = 128$ 個の単位構造体 10 のみが表示されているが、実際のメタマテリアルではさらに多数の単位構造体 10 が配列される。

【0024】

図 3 は、単位構造体 10 の構成を示す正面図である。また、図 4 は、単位構造体 10 を上方から見た平面図である。単位構造体 10 は、第 1 柱体 11 と第 2 柱体 12 とを接続体 13 によって接続した構造である。第 1 柱体 11、第 2 柱体 12 および接続体 13 は導体（典型的には金属）からなるものである。第 1 柱体 11 は、図 3 の上下方向を中心軸方向とし、中心軸に垂直な平面での断面形状が正方形となる四角柱である。図示のように、第 1 柱体 11 の断面の正方形の 1 辺の長さを寸法 A とし、第 1 柱体 11 の中心軸方向の長さを寸法 B とする。

【0025】

第 2 柱体 12 は、第 1 柱体 11 と同じ形状の四角柱であり、第 1 柱体 11 とは中心軸方向に間隔を持って配置される。第 1 柱体 11 と第 2 柱体 12 との中心軸方向の間隔を寸法 C とする。第 1 柱体 11 と第 2 柱体 12 とは、それらと同種の導体からなる接続体 13 によって電氣的に接続されている。接続体 13 は、断面寸法が第 1 柱体 11 と第 2 柱体 12 より小さく、断面形状が正方形の四角柱である。接続体 13 の断面の正方形の 1 辺の長さを寸法 D とする。第 1 柱体 11、第 2 柱体 12 および接続体 13 は、それらの中心軸が一致するように配置されている。

【0026】

図 5 は、単位構造体 10 を配列した左手系メタマテリアル 1 の等価回路を示す図である。図は簡単のために 1 次元の配列状態のみを示している。本媒質は、隣接する第 1 柱体 11 間および隣接する第 2 柱体 12 間で直列に容量を持ち、かつ第 1 柱体 11 と第 2 柱体 12 との間にインダクタンスを持つため非共振型の左手系メタマテリアルである。したがって、共振型のものと比べて本質的に低損失かつ広帯域な左手系特性を有することができる。

10

20

30

40

50

【0027】

図4には単位構造体10の平面上の配列状態も示されている。単位構造体10は、 x y 平面上に等間隔(等ピッチ)で配置されている。 x 軸方向のピッチと y 軸方向のピッチは等しくされており、双方のピッチは寸法 P で表されている。このようなメタ材料1の各部の寸法の実例を示すと、寸法 A を4.8mm、寸法 B を10.0mm、寸法 C を4.0mm、寸法 D を1.0mm、寸法 P を5.0mmとする。このような寸法・配置のメタ材料1は、2GHz付近で左手系媒質の特性を示す。なお、この寸法例は一例であり、他の任意の寸法とすることができる。メタ材料の寸法・配置を変更すれば、左手系媒質の特性を示す周波数も変化する。

【0028】

10

図6に、上記の寸法・配置によるメタ材料1の分散特性を示す。これは図4の単位構造体10において x および y 軸方向に周期境界条件を与えて計算した有限要素法による電磁界シミュレーション結果である。 x 軸方向の波数を k_x とし、 y 軸方向の波数を k_y とすると、伝搬定数は、 $k = (k_x^2 + k_y^2)^{1/2}$ である。図6の横軸の k 、 X 、および M はそれぞれ波数 (k_x, k_y) 空間上の高対称点すなわち点 $(0, 0)$ 、点 $X(\pi/P, 0)$ 、点 $M(\pi/P, \pi/P)$ である。ここで π は円周率である。図6において、 k - X 区間は $k_x = 0$ かつ $k_y = \pi/P$ なる関係で変化させた区間を、 X - M 区間は $k_x = \pi/P$ かつ $0 \leq k_y \leq \pi/P$ なる関係で変化させた区間を、および M - k 区間は $k_x = k_y = \pi/P$ なる関係で変化させた区間をそれぞれ示す。

【0029】

20

また図6の縦軸は周波数である。この分散曲線の k - X 区間および M - k 区間中の任意の点において、点 (k_x, k_y) から引いた直線の傾き接線の傾きに 2π を乗じたもの $2\pi f/v_p$ ($v_p = \omega/k$; ω は角周波数)は位相速度(v_p)を示し、またこの点における接線の傾きに 2π を乗じたもの $2\pi f/v_g$ ($v_g = d\omega/dk$)は群速度(v_g)を示す。本分散曲線の k - X 区間および M - k 区間において、 v_g の絶対値が増加するに従って周波数が低くなる領域があることから、これらの領域では群速度と位相速度との符号が異なるバックワード波が伝播することが分かる。これは、この領域でメタ材料1が左手系媒質の特性となっていることを示すものである。

【0030】

30

このように、単位構造体10を、断面正方形の角柱形状の第1柱体11と第2柱体12を接続体13によって接続した構成としたので、単位構造体10同士が平面と平面で隣接し、隣接する単位構造体10間の静電容量を大きくすることができる。そのため、左手系媒質として動作する周波数を低下させることができる。換言すると、電磁波の波長と比較した単位構造体10の寸法を小さくでき、左手系メタ材料をより均一媒質に近づけることができる。

【0031】

図7は、本発明の第2の形態のメタ材料1aにおける単位構造体10の配列を示す平面図である。単位構造体10の構成は図3に示すものと同じである。図2のメタ材料1では単位構造体10が縦横等ピッチの格子状に配列されていたが、メタ材料1aは1列ごとに y 軸方向に $1/2$ ピッチずらすように配列されている。このような配置でも、メタ材料1aは左手系媒質の特性を示す。

40

【0032】

単位構造体10の配列方法は、図2や図7の配列以外にも種々可能であるが、等方媒質に近づけるにはできるだけ異方性を減少させるような配列が望ましい。単位構造体10の規則的な配置とは、完全に等間隔で周期的な配置ばかりでなく、単位構造体同士が接触しない範囲での周期的位置からのずれを含んでいてもよい。また、単位構造体10の間隔を所定の数式に従って変化させるような場合をも含むものである。

【0033】

なお、単位構造体10における接続体13の断面形状は、ここでは第1柱体11と第2柱体12と相似形の正方形としているが、基本的にはどのような断面形状でもよく、特に

50

相似形に限定されるわけではない。接続体 1 3 の断面形状の寸法は、第 1 柱体 1 1 および第 2 柱体 1 2 の寸法よりも小さくしているが、必ずしもこれが絶対条件ではない。接続体 1 3 の断面形状の寸法が第 1 柱体 1 1 および第 2 柱体 1 2 と同程度であっても左手系媒質とすることは可能である。

【 0 0 3 4 】

また、図 3 に示す単位構造体 1 0 では、第 1 柱体 1 1、第 2 柱体 1 2 および接続体 1 3 の中心軸が同一直線上にあるように配置されているが、これも必須の条件ではない。接続体 1 3 は、任意の位置で第 1 柱体 1 1 と第 2 柱体 1 2 とを接続するものでよい。第 1 柱体 1 1 と第 2 柱体 1 2 の中心軸も、互いに異なる位置であってもよい。

【 0 0 3 5 】

図 8 は、第 3 の形態のメタマテリアルにおける単位構造体 2 0 の構成を示す正面図である。また、図 9 は単位構造体 2 0 の平面図であり、単位構造体 2 0 の配列も示している。単位構造体 2 0 は、第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 とを接続体 2 3 によって接続した構造である。第 1 柱体 2 1、第 2 柱体 2 2 および接続体 2 3 は導体（典型的には金属）からなるものである。第 1 柱体 2 1 は、図 8 の上下方向を中心軸方向とし、中心軸に垂直な平面での断面形状が正六角形となる六角柱である。図示のように、第 1 柱体 2 1 の断面の正六角形の互いに平行な辺と辺との距離を寸法 E とし、第 1 柱体 2 1 の中心軸方向の長さを寸法 F とする。

【 0 0 3 6 】

第 2 柱体 2 2 も第 1 柱体 2 1 と同じ形状の六角柱である。第 2 柱体 2 2 は、第 1 柱体 2 1 とは中心軸方向に間隔を持って配置される。第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 との中心軸方向の間隔を寸法 G とする。第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 とは、それらと同種の導体からなる接続体 2 3 によって電氣的に接続されている。接続体 2 3 は、断面寸法が第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 より小さく、断面形状が正六角形の六角柱である。接続体 2 3 の断面の正六角形の互いに平行な辺と辺との距離を寸法 H（図示せず）とする。第 1 柱体 2 1、第 2 柱体 2 2 および接続体 2 3 は、それらの中心軸が一致するように配置されている。

【 0 0 3 7 】

単位構造体 2 0 の図 9 の配列状態において、単位構造体 2 0 の x 軸方向のピッチを寸法 Q とする。寸法 Q は寸法 E より大きく、それぞれの単位構造体 2 0 は、隣接する単位構造体 2 0 と接触しないように隙間をあけて配置されている。このようなメタマテリアルの各部の寸法の実例を示すと、寸法 E を 4 . 1 5 7 mm、寸法 F を 1 0 . 0 mm、寸法 G を 1 6 . 0 mm、寸法 H を 0 . 1 7 3 mm、寸法 Q を 4 . 3 3 mm とする。このとき単位構造体 2 0 間の隙間の幅は 0 . 1 7 3 mm となる。このような寸法・配置のメタマテリアルは左手系媒質の特性を示す。なお、この寸法例は一例であり、他の任意の寸法とすることができる。

【 0 0 3 8 】

このように、単位構造体 2 0 を、断面正六角形の六角柱形状の第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 を接続体 2 3 によって接続した構成としたので、単位構造体 2 0 同士が平面と平面で隣接し、隣接する単位構造体 2 0 間の静電容量を大きくすることができる。それに加えて、断面正六角形の単位構造体 2 0 を使用したメタマテリアルでは、異方性をさらに減少させて等方媒質により近付けることができる。

【 0 0 3 9 】

なお、単位構造体 2 0 における接続体 2 3 の断面形状は、ここでは第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 と相似形の正六角形としているが、基本的にはどのような断面形状でもよく、特に相似形に限定されるわけではない。また、接続体 2 3 の断面形状の寸法は、第 1 柱体 2 1 および第 2 柱体 2 2 の寸法よりも小さくしているが、必ずしもこれが絶対条件ではない。さらに、第 1 柱体 2 1、第 2 柱体 2 2 および接続体 2 3 の中心軸が同一直線上にあることも必須の条件ではない。接続体 2 3 は、任意の位置で第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 とを接続するものでよい。第 1 柱体 2 1 と第 2 柱体 2 2 の中心軸も、互いに異なる位置であってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

第 1 柱体、第 2 柱体の断面形状は、隣接する単位構造体間の静電容量を増加させ、顕著な異方性をなくすためには正多角形が望ましい。正多角形としては、正三角形、正方形、正六角形があり得るが、異方性を減少させるためには正六角形が望ましい。なお、第 1 柱体、第 2 柱体の断面形状は、必ずしも正多角形でなくともよい。第 1 柱体、第 2 柱体が、円柱や他の断面形状の柱体であっても左手系媒質とすることは可能である。

【 0 0 4 1 】

以上のような、2次元左手系メタマテリアルの応用例としては、媒質が負の屈折率となることを利用した2次元レンズがある。この負屈折率レンズは結像した像の分解能が波源の大きさと同等になり、いわゆるスーパーレンズとして動作する。スーパーレンズとは、分解能が波の回折限界（波長以下）を超えて高くなるレンズである。通常の右手系媒質によるレンズでは、結像の分解能は波の回折限界によって波源の波長よりも大きくなってしまふ。

10

【 0 0 4 2 】

2次元左手系メタマテリアルの応用例としては、さらに、上記の2次元レンズを使用したレンズアンテナや、分散特性を利用したカプラや共振器および2次元ビームスキャンアンテナ、漏洩放射を利用したアンテナやリフレクタ、表面波を利用した遅延線や共振器、人工磁気壁などが考えられる。

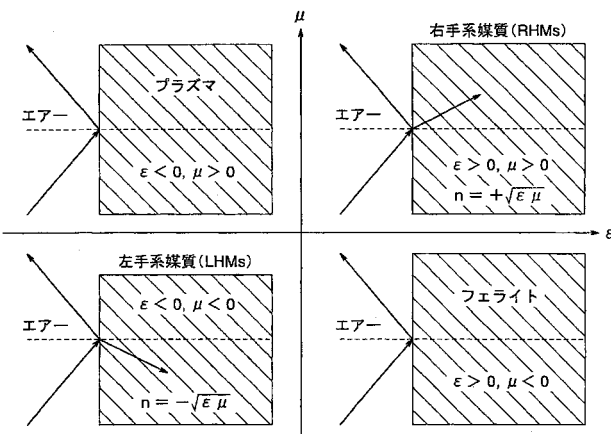
【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 4 3 】

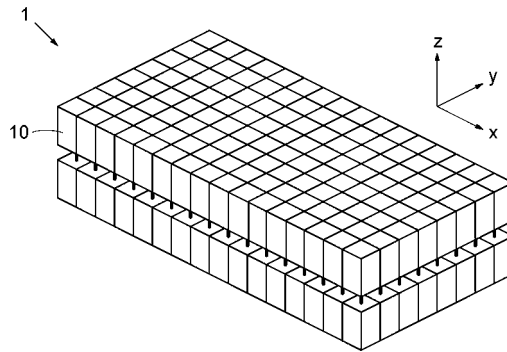
本発明の2次元左手系メタマテリアルを利用して2次元スーパーレンズを実現することができ、その2次元スーパーレンズを使用したレンズアンテナを実現することができる。さらに、本発明の2次元左手系メタマテリアルは、分散特性を利用したカプラや共振器および2次元ビームスキャンアンテナ、漏洩放射を利用したアンテナやリフレクタ、表面波を利用した遅延線や共振器、人工磁気壁などに利用することができる。

20

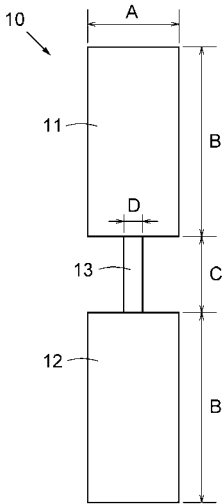
【 図 1 】



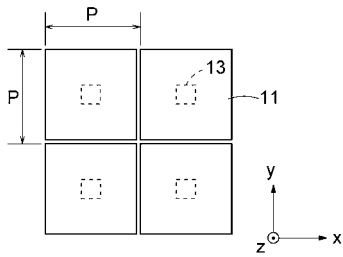
【 図 2 】



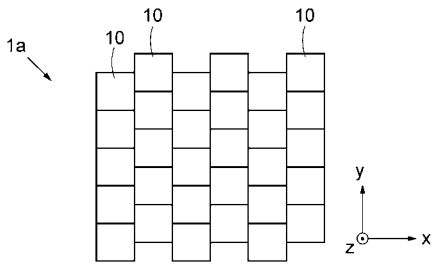
【 図 3 】



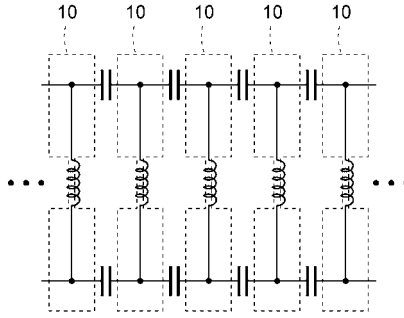
【 図 4 】



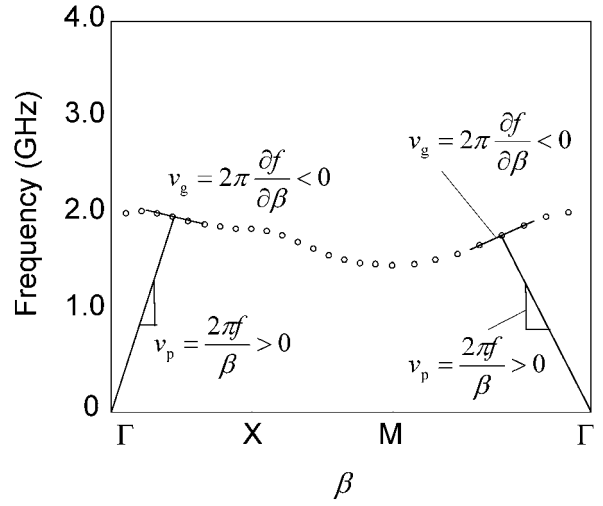
【 図 7 】



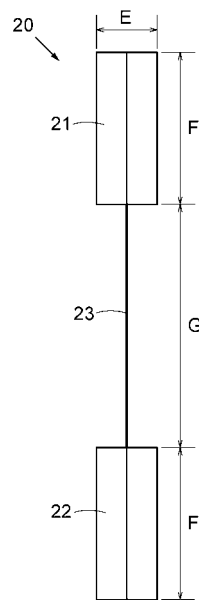
【 図 5 】



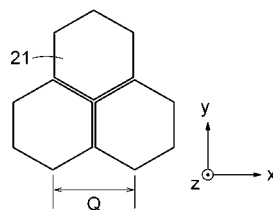
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2007/068095
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01P3/20(2006.01)i, H01P5/02(2006.01)i, H01P7/00(2006.01)i, H01Q15/00(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01P3/20, H01P5/02, H01P7/00, H01Q15/00 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2007 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) WPI		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-245926 A (Yamaguchi University), 14 September, 2006 (14.09.06), Full text; all drawings & WO 2006/093302 A1	1-5
A	JP 2006-245984 A (Yamaguchi University), 14 September, 2006 (14.09.06), Full text; all drawings & WO 2006/093301 A1	1-5
A	JP 2002-510886 A (The Regents of the University of California), 09 April, 2002 (09.04.02), Figs. 1 to 3 & US 6262495 B1 & EP 1075712 A & WO 1999/050929 A1 & DE 1075712 T & ES 2160561 T & CA 2323610 A	1-5
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 16 November, 2007 (16.11.07)		Date of mailing of the international search report 27 November, 2007 (27.11.07)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/068095

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-204123 A (E-Tenna Corp.), 19 July, 2002 (19.07.02), Figs. 17, 25 & US 6512494 B1 & US 6670932 B1 & US 2003/122729 A1 & EP 1195847 A2 & AU 7737001 A & AU 762267 B	1-5
A	WO 2004/25783 A1 (BAE SYSTEMS PLC.), 25 March, 2004 (25.03.04), Figs. 1 to 5 & JP 2005-538629 A & US 2006/152430 A1 & GB 221421 D & EP 1547198 A	1-5
A	US 5728346 A (BRITISH AEROSPACE PUBLIC LTD. CO.), 17 March, 1998 (17.03.98), Fig. 8 & GB 2304618 A & GB 9516792 A0 & EP 758803 A1 & DE 69624188 D & DE 69624188 T & ES 2180705 T	1-5

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2007/068095	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01P3/20(2006.01)i, H01P5/02(2006.01)i, H01P7/00(2006.01)i, H01Q15/00(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01P3/20, H01P5/02, H01P7/00, H01Q15/00			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2007年 日本国実用新案登録公報 1996-2007年 日本国登録実用新案公報 1994-2007年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) WPI			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
A	JP 2006-245926 A (国立大学法人山口大学) 2006.9.14 全文、全図 & WO 2006/093302 A1	1-5	
A	JP 2006-245984 A (国立大学法人山口大学) 2006.9.14 全文、全図 & WO 2006/093301 A1	1-5	
A	JP 2002-510886 A (ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシテイ オブ カリフォルニア) 2002.4.9 図1-3 & US 6262495 B1 & EP 1075712 A & WO 1999/050929 A1 &	1-5	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献	
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの		「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献	
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日 16.11.2007		国際調査報告の発送日 27.11.2007	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 儀同 孝信	5T 3566
		電話番号 03-3581-1101 内線	3568

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2007/068095
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	DE 1075712 T & ES 2160561 T & CA 2323610 A	
A	JP 2002-204123 A (イーテナ コーポレーション) 2002.7.19 図 17, 25 & US 6512494 B1 & US 6670932 B1 & US 2003/122729 A1 EP 1195847 A2 & AU 7737001 A & AU 762267 B	1-5
A	WO 2004/25783 A1 (BAE SYSTEMS PLC) 2004.3.25 Fig. 1-5 & JP 2005-538629 A & US 2006/152430 A1 & GB 221421 D & EP 1547198 A	1-5
A	US 5728346 A (BRITISH AEROSPACE PUBLIC LIMITED COMPANY) 1998.3.17 FIG. 8 & GB 2304618 A & GB 9516792 A0 & EP 758803 A1 & DE 69624188 D & DE 69624188 T & ES 2180705 T	1-5

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。