

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-244683

(P2008-244683A)

(43) 公開日 平成20年10月9日(2008.10.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 P 3/00 (2006.01)	HO 1 P 3/00	5 J 0 1 4
HO 1 P 3/18 (2006.01)	HO 1 P 3/18	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2007-80445 (P2007-80445)
 (22) 出願日 平成19年3月27日 (2007. 3. 27)

(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
 (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 AA00

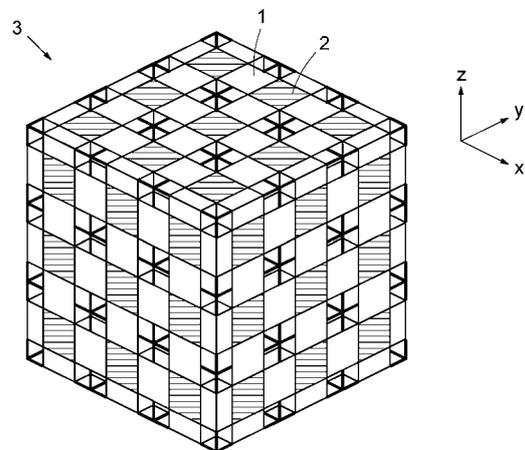
(54) 【発明の名称】 3次元左手系メタマテリアル

(57) 【要約】

【課題】 3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の値となる非共振型の3次元左手系メタマテリアルを提供する。

【解決手段】 立方体の単位格子を3次元空間の互いに直交する3方向に繰り返し配置した構造の3次元左手系メタマテリアルであって、前記単位格子の各頂点を前記3方向に連結する第1腕部1の集合からなる第1格子体と、前記単位格子の各中心点を前記3方向に連結する第2腕部2の集合からなる第2格子体とを有する。そして、前記第1格子体および前記第2格子体は、それぞれ導体からなるものであり、かつ、互いに他と接触しないように間隙を持って配置されている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

立方体の単位格子(4)を3次元空間の互いに直交する3方向に繰り返し配置した構造の3次元左手系メタマテリアルであって、

前記単位格子(4)の各頂点を前記3方向に連結する第1腕部(1)の集合からなる第1格子体(10)と、

前記単位格子(4)の各中心点を前記3方向に連結する第2腕部(2)の集合からなる第2格子体(20)とを有し、

前記第1格子体(10)および前記第2格子体(20)は、それぞれ導体からなるものであり、かつ、互いに他と接触しないように間隙を持って配置されているものである3次元左手系メタマテリアル。

10

【請求項 2】

請求項1に記載した3次元左手系メタマテリアルであって、

前記第1腕部(1)および前記第2腕部(2)は、両端部の近傍が細く形成され、中央部が太く形成されたものである3次元左手系メタマテリアル。

【請求項 3】

請求項2に記載した3次元左手系メタマテリアルであって、

前記第1腕部(1)の中央部の太い部分の断面形状は正方形であり、その1辺の寸法が前記単位格子(4)の1辺の寸法の0.30~0.49倍である3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3次元左手系メタマテリアルであって、

前記第1腕部(1)および前記第2腕部(2)は、中央部の太い部分の太さが両端部の細い部分の太さの3倍以上のものである3次元左手系メタマテリアル。

【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、3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3次元左手系メタマテリアルに関するものである。

30

【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。

【0003】

40

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 と媒質との関係領域は、図1に示すように、誘電率 ϵ 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、左手系メタマテリアルは、波の群速度(エネルギーの伝播する速度)と位相速度

50

(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、左手系メタマテリアル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。

【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。これらに關しては、下記の非特許文献3に記載されている。

【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

【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, "Characteristics 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】

【0006】

左手系メタマテリアルは、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マテリアルは共振型である。共振型の左手系メタマテリアルは、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。

【0007】

これに対して、非共振型の左手系メタマテリアルは、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、左手系メタマテリアルとしての性質を持つのである。非共振型の左手系メタマテリアルは、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。

【0008】

非共振型の左手系メタマテリアルとしては、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マテリアル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。

【0009】

いずれにしても、非共振型の左手系メタマテリアルは、1次元または2次元の電磁波伝播媒質として機能するものに限られていた。3次元の電磁波伝播媒質として機能する非共振型の左手系メタマテリアルはこれまで実現されていない。

【0010】

そこで、本発明は、3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の値となる非共振型の 3 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 3 次元左手系メタマテリアルは、立方体の単位格子を 3 次元空間の互いに直交する 3 方向に繰り返し配置した構造の 3 次元左手系メタマテリアルであって、前記単位格子の各頂点を前記 3 方向に連結する第 1 腕部の集合からなる第 1 格子体と、前記単位格子の各中心点を前記 3 方向に連結する第 2 腕部の集合からなる第 2 格子体とを有する。そして、前記第 1 格子体および前記第 2 格子体は、それぞれ導体からなるものであり、かつ、互いに他と接触しないように間隙を持って配置されているもの

10

【0012】

また、上記の 3 次元左手系メタマテリアルにおいて、前記第 1 腕部および前記第 2 腕部は、両端部の近傍が細く形成され、中央部が太く形成されたものであることが好ましい。

【0013】

また、上記の 3 次元左手系メタマテリアルにおいて、前記第 1 腕部の中央部の太い部分の断面形状は正方形であり、その 1 辺の寸法が前記単位格子の 1 辺の寸法の $0.30 \sim 0.49$ 倍であることが好ましい。

【0014】

また、上記の 3 次元左手系メタマテリアルにおいて、前記第 1 腕部および前記第 2 腕部は、中央部の太い部分の太さが両端部の細い部分の太さの 3 倍以上のものであることが好ましい。

20

【発明の効果】

【0015】

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。

【0016】

本発明によれば、3 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の値となる非共振型の 3 次元左手系メタマテリアルを実現することができる。非共振型であるため、左手系媒質として機能する周波数帯域幅が広く低損失である。また、その 3 次元左手系メタマテリアルを利用してスーパーレンズやスーパー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などの種々の応用機器を実現することができる。

30

【0017】

第 1 腕部および第 2 腕部の中央部の太い部分の太さ寸法を単位格子の 1 辺の寸法の $0.30 \sim 0.49$ 倍とすることにより、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 腕部および第 2 腕部の中央部の太い部分の太さを両端部の細い部分の太さの 3 倍以上とすることにより、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。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

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、本発明のメタマテリアル 3 の構成を示す斜視図である。図 2 では、メタマテリアル 3 の全体構成を示すために、細部の形状は正確に表示されていない。メタマテリアル 3 は、立方体の単位格子 4 (図 3、図 4 参照) を 3 次元空間の互いに直交する 3 方向 (x y z 軸方向) に繰り返し配置した構造となっている。なお、図 2 は、メタマテリアル 3 を単位格子 4 の境界面で切断した状態を表している。図 2 では、 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 個の単位格子 4 のみが表示されているが、

50

実際のメタマテリアルではさらに多数の単位格子 4 が配列される。

【 0 0 2 0 】

図 3 は、メタマテリアル 3 を上方 (z 軸 + 側) から見た平面図である。単位格子 4 を二点鎖線で表示しており、単位格子 4 の頂点 4 1 と中心点 4 0 も表示している。単位格子 4 は立方体であり、その各頂点 4 1 を x y z 軸それぞれの方向に連結する第 1 腕部 1 によって第 1 格子体 1 0 (図 5 参照) が形成されている。すなわち、第 1 格子体 1 0 は、メタマテリアル 3 内部の各頂点 4 1 において 6 本の第 1 腕部 1 が連結されたものである。第 1 腕部 1 および第 1 格子体 1 0 は、導体 (典型的には金属) からなるものである。

【 0 0 2 1 】

また、隣接する単位格子 4 の中心点 4 0 を x y z 軸それぞれの方向に連結する第 2 腕部 2 によって第 2 格子体 2 0 (図 6 参照) が形成されている。第 2 格子体 2 0 も、メタマテリアル 3 内部の各中心点 4 0 において 6 本の第 2 腕部 2 が連結されている。第 2 腕部 2 および第 2 格子体 2 0 も、導体 (典型的には金属) からなるものである。第 1 格子体 1 0 は全体が導体からなり電氣的に接続されている。また、第 2 格子体 2 0 も全体が導体からなり電氣的に接続されている。

10

【 0 0 2 2 】

しかし、第 1 格子体 1 0 と第 2 格子体 2 0 とは、互いに間隙を有し接触しないように配置されている。すなわち、第 1 格子体 1 0 と第 2 格子体 2 0 とは、直流的には絶縁されている。第 1 格子体 1 0 と第 2 格子体 2 0 とは、全体が絶縁体内に埋め込まれてもよいし、その一部が絶縁体によって固定され位置決めされていてもよい。

20

【 0 0 2 3 】

図 4 は、1 つの単位格子 4 によって切断された第 1 腕部 1 および第 2 腕部 2 の構成を示す斜視図である。なお、図 2 および図 4 において、第 2 腕部 2 の切断面はハッチングを付して表示している。図 4 では、第 1 腕部 1 の集合した第 1 格子体 1 0 と、第 2 腕部 2 の集合した第 2 格子体 2 0 とが、互いに接触しないように間隙を有して配置されていることが示されている。

【 0 0 2 4 】

図 5 は、第 1 腕部 1 の集合した第 1 格子体 1 0 を上方 (z 軸 + 側) から見た平面図である。第 1 腕部 1 は、互いに隣接配置された単位格子 4 の各頂点 4 1 を x y z 軸それぞれの方向に連結するものである。これらの第 1 腕部 1 が集合して第 1 格子体 1 0 を形成している。

30

【 0 0 2 5 】

図 6 は、第 2 腕部 2 の集合した第 2 格子体 2 0 を上方 (z 軸 + 側) から見た平面図である。第 2 腕部 2 は、互いに隣接配置された単位格子 4 の各中心点 4 0 を x y z 軸それぞれの方向に連結するものである。これらの第 2 腕部 2 が集合して第 2 格子体 2 0 を形成している。

【 0 0 2 6 】

この第 1 腕部 1 と第 2 腕部 2 とは、全く同じ形状に形成されている。また、第 1 格子体 1 0 と第 2 格子体 2 0 に関しても、両者は実は同等の構成である。第 1 格子体 1 0 と第 2 格子体 2 0 とは、互いに構成は同等であり、一方は他方を所定量だけ平行移動した位置に配置されているのである。平行移動のベクトルは単位格子 4 の中心点 4 0 と頂点 4 1 とを結ぶベクトルとなる。

40

【 0 0 2 7 】

図 7 は、第 1 腕部 1 の構成を示す斜視図である。第 1 腕部 1 は連結点 (頂点 4 1) 側が細く形成されており、中央部が太く形成されている。中央部は立方体を形成しており、その立方体の 1 辺の長さは単位格子 4 の 1 辺の長さの $1/2$ より小さい。なお、この図は第 1 腕部 1 の形状を示しているが、第 2 腕部 2 も全く同じ形状である。

【 0 0 2 8 】

図 8 は、第 1 腕部 1 の各部の寸法を示す平面図である。図示のように、単位格子 4 の頂点 4 1 間の距離 (単位格子 4 の配列ピッチ) を寸法 P とし、第 1 腕部 1 の中央部の立方体

50

の各辺の長さを寸法 A とする。そして、第 1 腕部 1 の連結点側部分の長さを寸法 B とし、連結点側部分の太さを寸法 C とする。連結点側部分は、断面形状が正方形（1 辺の長さが寸法 C）の四角柱である。寸法 B は、寸法 P と寸法 A によって次の式 1 のように表される。

【 0 0 2 9 】

$$B = (P - A) / 2 \quad \dots \quad \text{式 1}$$

また、第 1 腕部 1 の中央部の立方体と、第 2 腕部 2 の中央部の立方体との間の間隙の大きさを寸法 G とすると、寸法 G は、寸法 P と寸法 A によって次の式 2 のように表される。式 2 は、図 3 から導き出される。

【 0 0 3 0 】

$$G = P / 2 - A \quad \dots \quad \text{式 2}$$

図 3 に示されるように、第 1 腕部 1 の立方体の寸法 A は、単位格子 4 の配列ピッチの寸法 P の 1 / 2 よりもやや小さく設定される。例えば、 $A = 0.4P$ とすれば、式 1、式 2 より、 $B = 0.3P$ 、 $G = 0.1P$ となる。なお、図 8 は第 1 腕部 1 の形状・寸法を示しているが、第 2 腕部 2 も全く同じ形状・寸法である。

【 0 0 3 1 】

以上のようなメタマテリアル 3 は、隣接する第 1 腕部 1 の立方体と第 2 腕部 2 の立方体との間にキャパシタンスを持ち、かつ、第 1 腕部 1 および第 2 腕部 2 の両端連結部によるインダクタンスを持つ。このため、メタマテリアル 3 が非共振型の左手系メタマテリアルの特性を示すものと考えられる。

【 0 0 3 2 】

このようなメタマテリアル 3 の各部の寸法の実例を示す。第 1 腕部 1 および第 2 腕部 2 の寸法 P : 10.0 mm、寸法 A : 4.0 mm、寸法 B : 3.0 mm、寸法 C : 1.0 mm とする。このとき、第 1 腕部 1 の中央部と第 2 腕部 2 の中央部との間の間隙は寸法 G : 1.0 mm となる。このような寸法・配置のメタマテリアル 3 は、後述のように 5.0 ~ 8.0 GHz 付近で左手系媒質の特性を示す伝播モードを持つ。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。メタマテリアルの寸法・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。

【 0 0 3 3 】

図 9 に、上記の寸法・配置によるメタマテリアル 3 の分散特性を示す。これは図 3、図 4 の単位格子 4 において x, y, z 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 、y 軸方向の波数を k_y 、z 軸方向の波数を k_z とすると、伝搬定数は、 $\omega = (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)^{1/2}$ である。図 5 の横軸の X、M および R はそれぞれ波数 (k_x, k_y, k_z) 空間上の高対称点すなわち点 (0, 0, 0)、点 X ($\pi/P, 0, 0$)、点 M ($\pi/P, \pi/P, 0$)、点 R ($\pi/P, \pi/P, \pi/P$) である。ただし、 ω は円周率、P は単位格子 4 の配列ピッチである。

【 0 0 3 4 】

- X 区間は $k_x = 0$ から $k_x = \pi/P$ かつ $k_y = k_z = 0$ なる関係で変化させた区間を、X - M 区間は $k_x = \pi/P, k_y = 0$ から $k_x = \pi/P, k_z = 0$ なる関係で変化させた区間を示す。また、M - R 区間は $k_x = k_y = \pi/P, k_z = 0$ から $k_x = k_y = \pi/P, k_z = \pi/P$ なる関係で変化させた区間を、および R - X 区間は $k_x = k_y = k_z, k_x = \pi/P$ から $k_x = k_y = k_z = 0$ なる関係で変化させた区間をそれぞれ示す。

【 0 0 3 5 】

また図 9 の縦軸は周波数 f である。この分散曲線の - X 区間および R - X 区間中の任意の点において、点 X から引いた直線の傾きに 2 を乗じたもの $2 \cdot f / \omega$ ($\omega = \omega / 2\pi$; 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 2 を乗じたもの $2 \cdot f / \omega$ ($\omega = \omega / 2\pi$) は群速度 (v_g) を示す。

【 0 0 3 6 】

本分散曲線の - X 区間および R - X 区間において、 ω の絶対値が増加するに従って周

10

20

30

40

50

波数が低くなる領域を持つ伝播モードがある。例えば、 Γ -X 区間の下から 2 番目のモードがそうである。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、この領域でメタマテリアル 3 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。すなわち、この伝播モードにおいてはメタマテリアル 3 が 5.0 ~ 8.0 GHz 付近で左手系媒質の特性を示す。

【0037】

以上のメタマテリアル 3 において、第 1 腕部 1 および第 2 腕部 2 の両端部の連結点側部分の形状は断面が正方形の四角柱としているが、断面形状はどのようなものでもよく円や任意の多角形とすることもできる。また、連結点側部分の太さ（断面寸法）は小さくするほど左手系媒質として動作する周波数が低下し、メタマテリアル 3 がより均質媒質として機能することが分かっている。具体的には、中央部の太さ（寸法 A）が両端部の太さ（寸法 C）の 3 倍以上であることが好ましい。

10

【0038】

また、第 1 腕部 1 の中央部と第 2 腕部 2 の中央部との間の間隙の寸法 G は、小さい方が左手系媒質として動作する周波数が低下し、メタマテリアル 3 がより均質媒質として機能することが分かっている。具体的には、 $G = 0.2P$ であることが好ましい。すなわち、中央部立方体の寸法 A は、式 2 より、 $A = 0.3P$ であることが好ましい。メタマテリアル 3 の製造しやすさを考慮に入れれば、 $0.01P \leq G \leq 0.2P$ の範囲、すなわち $0.3P \leq A \leq 0.49P$ の範囲が実用範囲と考えられる。

20

【0039】

単位格子 4 は直交 3 軸（x y z 軸）方向に等間隔で周期的に配置されていることが望ましい。しかし、単位格子 4 の位置および内部構造各部の寸法が厳密に正確な周期性を持っていないと、左手系メタマテリアルとしての特性を示し、ある程度の範囲での位置ずれおよび寸法誤差は許容される。

【0040】

以上のように、本発明によれば、3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の値となる非共振型の 3次元左手系メタマテリアルを実現することができる。非共振型であるため、左手系媒質として機能する周波数帯域幅が広く低損失である。

30

【0041】

なお、本発明の実施の形態においては、第 1 腕部 1 と第 2 腕部 2 の中央部に立方体形状の太い部分を形成しているが、これらの太い部分は必ずしも立方体でなくともよく、例えば直方体などでもよい。さらに、第 1 腕部 1 と第 2 腕部 2 の中央部に太い部分を形成せずに、全体を同じ太さとしてもよい。ただし、全体を同じ太さにした場合には、左手系媒質として機能する領域が減少することがあり、太さの範囲にも制限が加わる。

【0042】

以上のような、3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以下となり、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（波長程度）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。3次元左手系メタマテリアルの応用例としては、さらに、上記のスーパーレンズによる短波長領域での高分解能フォトリソグラフィや、負屈折率を利用したビーム走査アンテナ、分散特性を利用したカプラや共振器など種々のデバイスが考えられる。

40

【産業上の利用可能性】

【0043】

本発明によれば、3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の値となる非共振型の 3次元左手系メタマテリアルを実現することができる。また、その 3次元左手系メタマテリアルを利用してスーパーレンズやスーパーレンズによる高分解能フォトリソグラフィや、分散特性を利用したカプラや共振器などの種

50

々の応用機器・デバイスを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【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】本発明のメタ材料3の構成を示す斜視図である。

【図3】メタ材料3を上方から見た平面図である。

【図4】1つの単位格子4によって切断された第1腕部1および第2腕部2の構成を示す斜視図である。

【図5】第1腕部1の集合した第1格子体10を上方から見た平面図である。

【図6】第2腕部2の集合した第2格子体20を上方から見た平面図である。

【図7】第1腕部1の構成を示す斜視図である。

【図8】第1腕部1の各部の寸法を示す平面図である。

【図9】メタ材料3の分散特性を示すグラフである。

【符号の説明】

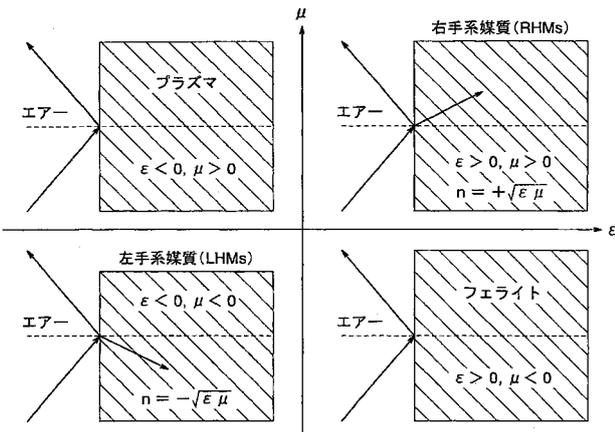
【0045】

- 1 第1腕部
- 2 第2腕部
- 3 メタ材料
- 4 単位格子
- 10 第1格子体
- 20 第2格子体
- 40 中心点
- 41 頂点

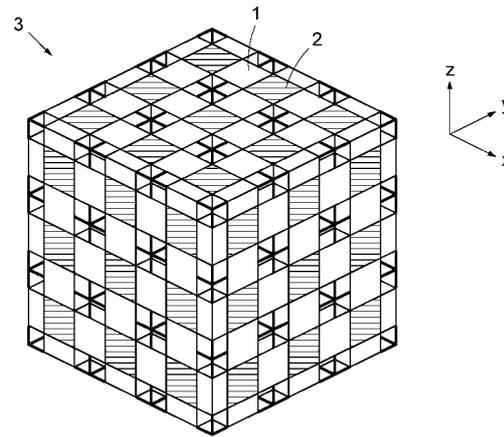
10

20

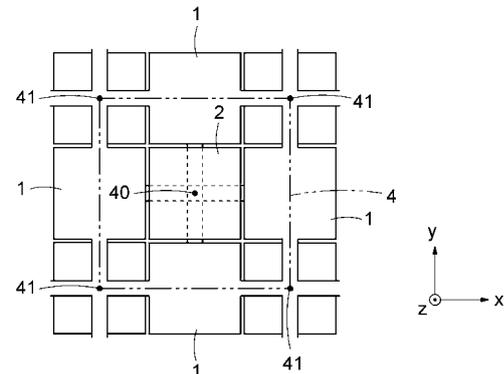
【図1】



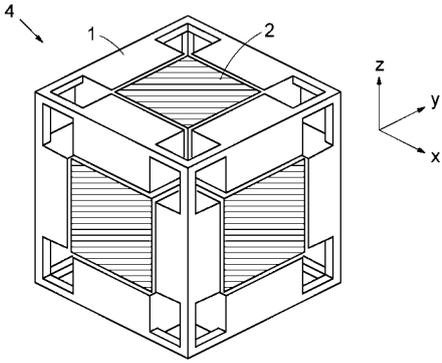
【図2】



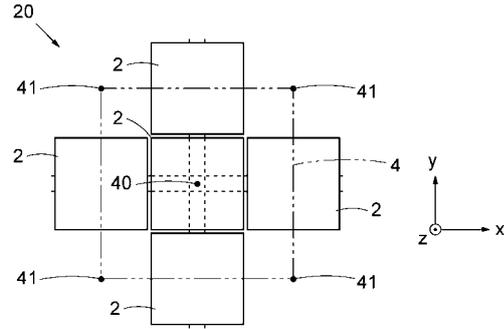
【図3】



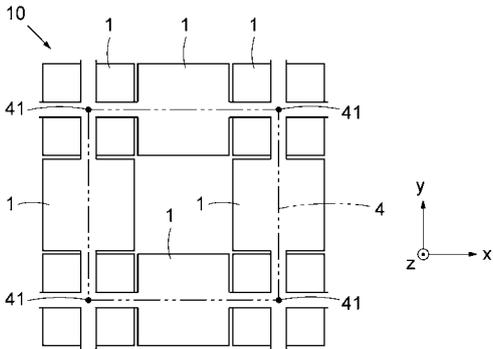
【 図 4 】



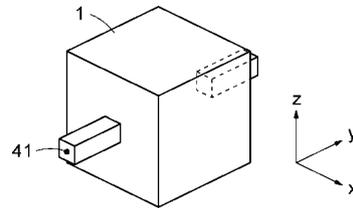
【 図 6 】



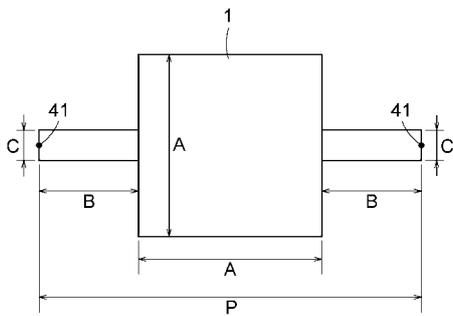
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

