

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



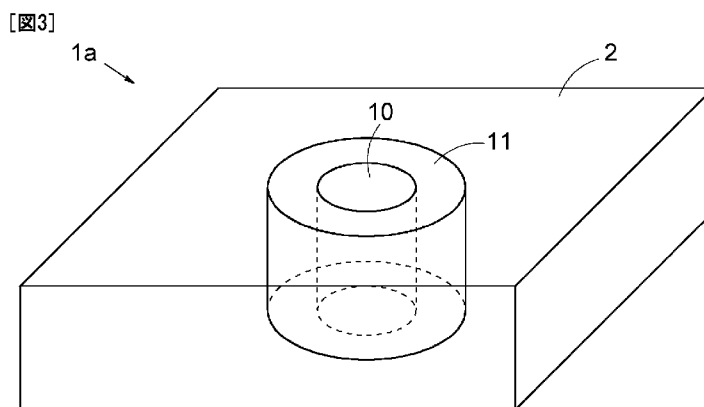
(43) 国際公開日
2011年9月29日(29.09.2011)

(10) 国際公開番号
WO 2011/118710 A1

- (51) 国際特許分類:
H01Q 15/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/057188
- (22) 国際出願日: 2011年3月24日(24.03.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-073063 2010年3月26日(26.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人山口大学 (Yamaguchi University) [JP/JP]; 〒7538511 山口県山口市吉田1677-1 Yamaguchi (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 真田 篤志 (SANADA, Atsushi) [JP/JP]; 〒7558611 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 Yamaguchi (JP).
- (74) 代理人: 富崎 元成, 外 (TOMISAKI, Motonari et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋1丁目6番13号 虎ノ門吉荒ビル2階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: INVISIBLE ENCLOSURE

(54) 発明の名称: 不可視包囲体



(57) Abstract: Provided is an invisible enclosure having a simple structure made of an ordinary medium material, and applicable to a greatly broader spectrum with a lower loss. The invisible enclosure comprises a cylindrical central enclosure (11) having a hollow portion (10) thereinside, and an outer frame body (2) made of a uniform material so that an object present in the hollow portion and the central enclosure itself are made almost invisible, wherein the central enclosure is formed by laminating a large number of cylindrical lamination films, each cylindrical film being formed by laminating a plurality of different types of materials having different dielectric constants in the radial direction. By adjusting the dielectric constant and the thickness in the radial direction in accordance with the radial value of the central enclosure, with respect to each layer of the lamination film, the effective dielectric constant value can be adjusted at each portion of the central enclosure. The radial direction component of a dielectric constant tensor is a value gradually increasing from the innermost periphery to the outermost periphery of the central enclosure in accordance with the radius, and is a predetermined value smaller than the dielectric constant of the outer frame body at the outermost periphery.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/118710 A1

通常媒質材料による簡単な構造体によって不可視包囲体を構成し、従来よりも大幅に広帯域および低損失の不可視包囲体を提供する。内部に空洞部 10 を備えた円筒状の中央包囲体 11 と、均質材料からなる外郭体 2 とからなり、空洞部にある物体および中央包囲体自体をほぼ不可視とする不可視包囲体であって、中央包囲体は、誘電率の異なる複数種類の材料を半径方向に積層した円筒状の積層膜を多数積層したものである。中央包囲体は、中央包囲体の半径値に応じて積層膜の各層の誘電率と半径方向の厚さを調整することにより、中央包囲体各部における誘電率の実効的な値を調整されたものである。誘電率テンソルの半径方向成分は、中央包囲体の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とされ、最外周では外郭体の誘電率よりも小さい所定値とされている。

明 細 書

発明の名称：不可視包囲体

技術分野

[0001] 本発明は電磁波（光を含む）に対して、物体を不可視あるいはほぼ不可視にするための包囲体に関する。詳しくは、物体を包囲可能な包囲体を構成し、その包囲体自体と包囲体によって包囲された物体がある範囲の電磁波に対してほぼ不可視となるような不可視包囲体に関する。なお、ここで言う不可視とは、包囲体および物体を通過後の電磁波の伝播状態が、物体が存在していない場合と全く同一となることである。

背景技術

[0002] 特殊な包囲体によって物体を包囲することにより、包囲体自体と包囲された物体がある範囲の電磁波に対してほぼ不可視となるような不可視包囲体は、クローカ媒質などとも呼ばれ、その実現のための研究が進められている。従来から、研究や試作が行われてきた不可視包囲体は、共振現象を利用したメタマテリアル (metamaterials) を使ったものであった。ここで、このメタマテリアルについてまず説明する。

[0003] 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。

[0004] このようなメタマテリアルによる人工磁性体として、下記の特許文献1に記載されたような技術が公知である。特許文献1には、従来技術としてスプリットリング共振器を用いた人工磁性体が記載されており、また、誘電体を挟んで対向する導体片対を配列して構成した人工磁性体が記載されている。

[0005] そして、このようなメタマテリアルを利用すると、任意の物体を包囲する

包囲体によって包囲体およびその物体を不可視とすることが可能である。このような包囲体は、クローク媒質などとも呼ばれ、被せたものが見えなくなるという、いわゆる透明マントの機能を実現するものである。

[0006] なお、ここで言う不可視とは、包囲体および物体を通過後の電磁波の伝播状態が、包囲体および物体が存在していない場合と全く同一となることである。このような不可視の状態では、包囲体および物体を通過した電磁波が、それらが存在しない場合と全く同一の状態に伝搬するため、その電磁波によってそれらが存在するか否かを検出することはできない。すなわち、包囲体および物体は全く見えない。

[0007] この明細書では、このような不可視の状態あるいは不可視に近いほぼ不可視の状態を作り出すことのできる包囲体を不可視包囲体と呼ぶことにする。このような不可視包囲体をメタマテリアルからなる人工磁性体によって構成することは、下記の非特許文献 1 などに記載されているように公知である。非特許文献 1 には、非磁性金属のスプリットリング共振器を円筒状に多数配列した包囲体が、特定の周波数の電磁波に対してほぼ不可視の状態を作り出すことが示されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2008-28010号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：D. Schurig, J. J. Mock, B. J. Justice, S. A. Cummer, J. B. Pendry, A. F. Starr, D. R. Smith, "Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies", Science Express, Manuscript Number 113362, 2006

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 非特許文献 1 に記載された不可視包囲体は、金属のスプリットリング共振

器を利用した人工磁性体によって構成されている。そして、不可視特性を示す周波数は、スプリットリング共振器の共振周波数の近傍である。このため、不可視特性を示す周波数が共振周波数近傍のごく限られた範囲になってしまうという問題点があった。すなわち、不可視特性を示す周波数の帯域が非常に狭いものになってしまう。また、金属による損失が共振周波数の近傍において大きく現れてしまい、不可視包囲体の損失も大きくなってしまいう問題点があった。不可視包囲体の損失が大きくなると、それだけ不可視特性も損なわれてしまうことになる。

[0011] そこで、本発明は、共振現象を利用した媒質や複雑な構造のメタマテリアルを使用せず、通常媒質材料による簡単な構造体によって不可視包囲体を構成し、従来よりも大幅に広範囲の帯域において不可視特性を実現することのできる広帯域および低損失の不可視包囲体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

[0012] 上記目的を達成するために、本発明の不可視包囲体は、内部に空洞部を備えた円筒状の中央包囲体と、前記中央包囲体の外部を取り囲むように配置された外郭体とからなり、前記空洞部に存在する物体および前記中央包囲体自体を電磁波に対してほぼ不可視とする不可視包囲体であって、前記中央包囲体は、誘電率の異なる複数種類の材料を半径方向に積層した円筒状の積層膜を中心線が共通となるように多数積層したものであり、さらに、前記中央包囲体は、前記中央包囲体の中心線からの距離すなわち半径に応じて前記積層膜の各層の誘電率と半径方向の厚さを調整することにより、前記中央包囲体各部における誘電率テンソルの各成分の実効的な値を調整されたものである。

[0013] また、上記の不可視包囲体において、前記誘電率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とし、最外周では前記外郭体の誘電率よりも小さい所定値となるようにし、前記誘電率テンソルの前記円周方向成分は、ほぼ一定の値とすることにより、不可視特性を実現することができる。

- [0014] また、上記の不可視包囲体において、前記積層膜は、2層からなる2重膜として、その2層のうちの1層の誘電率を一定値とすることができる。
- [0015] また、上記の不可視包囲体において、前記積層膜は、3層からなる3重膜として、3層の誘電率を一定値とすることができる。そして、3層の厚さを調整することにより誘電率分布を実現する。
- [0016] また、上記の不可視包囲体において、前記誘電率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とし、最外周では前記外郭体の誘電率よりも小さい所定値となるようにし、前記誘電率テンソルの前記円周方向成分は、最内周から最外周にわたり半径に応じて順次減少する値とすることにより、不可視特性を実現することができる。
- [0017] また、本発明の不可視包囲体は、内部に空洞部を備えた円筒状の中央包囲体と、前記中央包囲体の外部を取り囲むように配置された外郭体とからなり、前記空洞部に存在する物体および前記中央包囲体自体を電磁波に対してほぼ不可視とする不可視包囲体であって、前記中央包囲体は、透磁率の異なる複数種類の材料を半径方向に積層した円筒状の積層膜を中心線が共通となるように多数積層したものであり、さらに、前記中央包囲体は、前記中央包囲体の中心線からの距離すなわち半径に応じて前記積層膜の各層の透磁率と半径方向の厚さとを調整することにより、前記中央包囲体各部における透磁率テンソルの各成分の実効的な値を調整されたものである。
- [0018] また、上記の不可視包囲体において、前記透磁率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とし、最外周では前記外郭体の透磁率よりも小さい所定値となるようにし、前記透磁率テンソルの前記円周方向成分は、ほぼ一定の値とすることにより、不可視特性を実現することができる。
- [0019] また、上記の不可視包囲体において、前記積層膜は、2層からなる2重膜として、その2層のうちの1層の透磁率を一定値とすることができる。
- [0020] また、上記の不可視包囲体において、前記積層膜は、3層からなる3重膜

として、3層の透磁率を一定値とすることができる。そして、3層の厚さを調整することにより透磁率分布を実現する。

[0021] また、上記の不可視包囲体において、前記透磁率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とし、最外周では前記外郭体の透磁率よりも小さい所定値となるようにし、前記透磁率テンソルの前記円周方向成分は、最内周から最外周にわたり半径に応じて順次減少する値とすることにより、不可視特性を実現することができる。

[0022] また、上記の不可視包囲体において、前記外郭体は均質材料からなるものであることが好ましい。

発明の効果

[0023] 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。

[0024] 共振現象を利用した媒質や複雑な構造のメタマテリアルを使用せず、通常媒質材料による簡単な構造体によって不可視包囲体を構成することができる。このような不可視包囲体では、共振現象を利用していないため、従来よりも大幅に広い帯域において不可視特性を実現することができる。また、共振現象による損失もないので低損失とすることができ、広帯域および低損失の不可視包囲体を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1] 図1は、不可視包囲体1の構成を示す斜視図である。

[図2] 図2は、不可視包囲体1に必要な誘電率と透磁率の値を示す図である。

[図3] 図3は、本発明の不可視包囲体1aの構成を示す斜視図である。

[図4] 図4は、2種類の誘電体による2層構造の積層膜3の構成を示す図である。

[図5] 図5は、3種類の誘電体による3層構造の積層膜4の構成を示す図である。

[図6] 図6は、2層構造の積層膜により形成した単位円筒7を示す斜視図であ

る。

[図7] 図7は、単位円筒7を積層した中央包囲体11の構成を示す斜視図である。

[図8] 図8は、金属棒による電磁波の散乱状態を示す図である。

[図9] 図9は、不可視包囲体を配置した場合の電磁波の状態を示す図である。

[図10] 図10は、2種類の磁性体による2層構造の積層膜5の構成を示す図である。

[図11] 図11は、3種類の磁性体による3層構造の積層膜6の構成を示す図である。

[図12] 図12は、数2による媒質の誘電率と透磁率の分布を示す図である。

[図13] 図13は、数9による媒質の誘電率と透磁率の分布を示す図である。

発明を実施するための形態

[0026] まず、本発明の理論的根拠について説明する。動径 r 、偏角 θ 、 z 軸方向の位置 z による円筒座標系 (r, θ, z) において、 $0 \leq r \leq b$ なる領域を $a \leq r' \leq b$ なる環状の領域 (r', θ', z') に変換するには、次の数1による座標変換を行えばよい。

[数1]

$$r' = a + \frac{b-a}{b} r, \quad \theta' = \theta, \quad z' = z$$

[0027] この座標変換により、誘電率テンソルおよび透磁率テンソルの各要素は以下の数2のようになる。ただし、数式の表示を簡素化するために、座標系 (r', θ', z') を改めて座標系 (r, θ, z) と置き直した。なお、添字はその座標方向の要素を示しており、各要素は比誘電率および比透磁率で表されている。

[数2]

$$\epsilon_r = \mu_r = \frac{r-a}{r}, \quad \epsilon_\theta = \mu_\theta = \frac{r}{r-a}, \quad \epsilon_z = \mu_z = \left(\frac{b}{b-a} \right)^2 \frac{r-a}{r}$$

[0028] 上記の数2で表される媒質による環状領域は完全な不可視特性を有する。しかし、数2で表される媒質は、誘電率テンソルおよび透磁率テンソルの要素の中の半径 r に依存して変化する要素の数が多いため、それらの要素の値を実現するのが難しくなる。いま、簡単のため入射波の磁界の方向は z 軸方向とする。このとき、電磁波の伝搬には μ_z 、 ε_r および ε_θ だけが関係する。いま次の数3で表される分散性を持つ媒質を考える。

[0029] [数3]

$$\mu_z = \left(\frac{b}{b-a} \right)^2, \quad \varepsilon_r = \left(\frac{r-a}{r} \right)^2, \quad \varepsilon_\theta = 1$$

[0030] 数3の媒質は、数2の媒質と同じ分散特性を持つ。ただし、この数3の媒質への入射波は完全には無反射とはならず反射波を生じる。このことは、若干の反射を許せば、半径方向の誘電率テンソル成分 ε_r のみの制御で媒質に不可視特性を持たせることが可能であることを示している。すなわち、数3の媒質は、誘電率テンソル成分 ε_r のみを制御して、透過波の軌道を数2の媒質と同じにすることができる。

[0031] 図1に、環状領域の媒質としての不可視包囲体1を示す。不可視包囲体1は、内径 $2a$ と外径 $2b$ を有する円筒体であり、その中央部に空洞部10が有り、中心軸方向には無限に存在している。不可視包囲体1の中心軸を z 軸とし、半径方向を r 軸とすると、 $a \leq r \leq b$ の範囲に不可視包囲体1を構成する媒質が存在している。 $r < a$ の領域は空洞部10である。不可視包囲体1が完全な不可視特性を有していれば、 $r < a$ の空洞部10に存在する物体を完全に隠して不可視とすることができる。

[0032] 実例として、 $a : b = 1 : 3$ の場合の不可視包囲体1に必要な誘電率と透磁率を数3から計算した。図2が数3から求めた誘電率と透磁率の理論値である。図2の横軸は r/a の値であり、縦軸は比誘電率および比透磁率で表している。透磁率 μ_z と誘電率 ε_θ の値は、不可視包囲体1内部の位置によらず一定の値である。誘電率 ε_r の値は $a \leq r \leq b$ の範囲で $0 \sim 約0.45$ に変

化している。

- [0033] 数3から、不可視包囲体1の最内周 ($r = a$) では $\varepsilon_r = 0$ 、最外周 ($r = 3a$) では $\varepsilon_r = 4/9$ となることが分かる。このように誘電率 ε_r の値は、最内周では0、最外周では1より小さい所定値となる。なお、最外周での ε_r の値は、数3において $r = b$ とした場合の値であり、内径と外径との比によって定まるものである。
- [0034] そして、図2に示すような各誘電率・透磁率テンソル成分の値を設定できれば、不可視包囲体1に不可視特性を与えることができる。図2の値は数3に基づいて求めたものである。また、不可視包囲体1最内周の誘電率 ε_r の値は、完全に0としなくても十分に小さな値とすればかなり良い不可視特性が得られることが分かっている。
- [0035] ここで、不可視包囲体を通常の媒質によって実現するために、図3のような構造を考える。図3は、本発明の不可視包囲体1aの構成を示す図である。図1の不可視包囲体1に相当する中央包囲体11に対し、その外側に一様な均質材料からなる外郭体2を配置している。中央包囲体11の中央部は空洞部10として形成されている。なお、外郭体2は均質材料ということであるが、通過する電磁波の波長に比べて十分に小さい構造であれば、気泡、スリット等の微細構造が均一に分布していてもよい。
- [0036] 外郭体2として十分に大きな誘電率を持つ媒質を配置すると、中央包囲体11の内部の誘電率の分布もそれに比例した値とすることができる。すなわち、図2のような誘電率の分布は中央包囲体11の外界の誘電率に対する比であるとしてもよいので、外郭体2の誘電率を大きくすれば、それに比例して中央包囲体11の内部の誘電率も大きな値でよいことになる。外郭体2の比誘電率を ε_0 とすれば、中央包囲体11内部の誘電率 ε_r は、比 $\varepsilon_r / \varepsilon_0$ の値が図2の ε_r のような分布となればよいのである。外郭体2を配置することにより、中央包囲体11の内部の誘電率は通常の誘電体で実現することができるようになる。
- [0037] 図1の不可視包囲体1では、数3の透磁率 μ_z を実現するために磁性材料（

透磁率 $\mu \neq 1$) を用いる必要がある。磁性材料の代わりに非磁性材料 (透磁率 $\mu = 1$) を用いると外部と不可視包囲体 1 との境界面での反射が増大してしまう。図 3 の不可視包囲体 1 a では、外郭体 2 の誘電率を調整することにより外郭体 2 と中央包囲体 1 1 の境界面での反射をなくし、磁性材料を不要とすることができる。具体的には、外郭体 2 の比誘電率 ϵ_0 を $\epsilon_\theta \cdot (1 - a/b)^2$ とすれば整合がとれ、外郭体 2 と中央包囲体 1 1 の境界面での反射がなくなる。すなわち、磁性材料を使用しなくとも、不可視包囲体 1 a の外郭体 2 と中央包囲体 1 1 の境界面での反射を、磁性材料を用いた図 1 の不可視包囲体 1 と同等とすることができる。

[0038] また、外郭体 2 を配置しない場合は、包囲体内部の誘電体として、図 2 に示すように比誘電率が 1 以下の媒質が必要となり、共振現象を利用したメタマテリアルなどが不可欠となる。本発明の不可視包囲体 1 a では、外郭体 2 を配置することにより、共振現象を利用したメタマテリアルなどが不要となる。共振現象を利用したメタマテリアルは微細な金属パターンやその他の共振構造が必要であり、メタマテリアルの構造が複雑となり製造コストも増加してしまう。本発明では、不可視包囲体を通常の媒質からなる比較的簡単な構造によって実現することができる。

[0039] 次に、中央包囲体 1 1 内部の誘電率分布を実現するための構成として、図 4 および図 5 に示すような、互いに異なる誘電率を持つ複数の層の積層構造を考える。図 4 は 2 種類の誘電体による 2 層構造の積層膜 3 であり、図 5 は 3 種類の誘電体による 3 層構造の積層膜 4 である。ここで、複数の層が積層されている方向を中央包囲体 1 1 の半径 r 方向とし、その半径 r 方向と直交する方向を偏角 θ 方向とすれば、図 4 の 2 層構造の積層膜 3 における r 方向の実効的な誘電率 $\epsilon_r(\text{eff})$ と θ 方向の実効的な誘電率 $\epsilon_\theta(\text{eff})$ は次の式によって計算できる。

$$[0040] \quad (d_1 + d_2) / \epsilon_r(\text{eff}) = d_1 / \epsilon_1 + d_2 / \epsilon_2$$

$$(d_1 + d_2) \epsilon_\theta(\text{eff}) = d_1 \epsilon_1 + d_2 \epsilon_2$$

[0041] ただし、積層膜 3 は、図示のように誘電率 ϵ_1 、厚さ d_1 の層と誘電率 ϵ_2

、厚さ d_2 の層が積層されたものである。これにより、誘電率 ε_1 、 ε_2 と厚さ d_1 、 d_2 を変更することにより、誘電率 $\varepsilon_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、誘電率 $\varepsilon_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。さらに、一方の誘電率（例えば、誘電率 ε_1 ）が一定値（例えば、空気の誘電率）であるとしても、誘電率 $\varepsilon_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、誘電率 $\varepsilon_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。厚さ d_1 、 d_2 に関しても、さらに条件が加わってもよく、例えば、積層膜 3 の全体の厚さが一定であるとしてもよい。

[0042] なお、積層膜 3 の誘電率 ε_1 、 ε_2 を変更するには、各層を微小な気泡を含む誘電体で構成し、その気泡の密度を変更することにより各層の実効的な誘電率を変更するというような方法が考えられる。気泡の代わりに微細スリットや微小孔としてもよい。また、積層膜 3 の 1 層の誘電率は一定値として、残る 1 層の誘電率だけを変更するようにしてもよい。

[0043] また、図 5 の 3 層構造の積層膜 4 における r 方向の実効的な誘電率 $\varepsilon_r(\text{eff})$ と θ 方向の実効的な誘電率 $\varepsilon_\theta(\text{eff})$ は以下の式によって計算できる。ただし、積層膜 4 は、図示のように誘電率 ε_1 、厚さ d_1 の層と誘電率 ε_2 、厚さ d_2 の層と誘電率 ε_3 、厚さ d_3 の層が積層されたものとする。

$$[0044] \quad (d_1 + d_2 + d_3) / \varepsilon_r(\text{eff}) = d_1 / \varepsilon_1 + d_2 / \varepsilon_2 + d_3 / \varepsilon_3$$

$$(d_1 + d_2 + d_3) \varepsilon_\theta(\text{eff}) = d_1 \varepsilon_1 + d_2 \varepsilon_2 + d_3 \varepsilon_3$$

[0045] これにより、誘電率 $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ と厚さ $d_1 \sim d_3$ を変更することにより、誘電率 $\varepsilon_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、誘電率 $\varepsilon_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。3 層構造の積層膜 4 の場合、さらに、全ての層の誘電率を変更せずに厚さ $d_1 \sim d_3$ のみを変更して、誘電率 $\varepsilon_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、誘電率 $\varepsilon_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。厚さ $d_1 \sim d_3$ に関しても、さらに条件が加わってもよく、例えば、積層膜 4 全体の厚さが一定であるとしてもよい。

[0046] この積層膜 4 の場合、各層の誘電率を変更せずに、各層の厚さだけを変更することにより、比較的簡単に必要な誘電率分布を実現することができる。各層の厚さだけの変更でよいので、それにより不可視包囲体 1 a の製造コス

トを低減させることができる。

- [0047] また、図4および図5に示す積層膜と同様に、さらに多層の積層膜でもそれぞれの層の誘電率と厚さを変更することにより、誘電率 ϵ_{θ} (eff)を一定値に保ちながら、誘電率 ϵ_r (eff)を変更することが可能である。これらの2層構造の積層膜3、3層構造の積層膜4またはさらに多層の積層膜を円筒状に形成して単位円筒とする。
- [0048] 図6は、2層構造の積層膜3により形成した単位円筒7を示す斜視図である。単位円筒7として直径および誘電率 ϵ_r (eff)の異なるものを多数作成し、これらの単位円筒7を中心線が一致するように半径方向に積層することにより、中央包囲体11を形成する。図7は、単位円筒7を積層して形成した中央包囲体11を示す斜視図である。このように中央包囲体11を構成すれば、中央包囲体11内部の誘電率として、誘電率 ϵ_{θ} を一定値に保ちながら、誘電率 ϵ_r を図2に相当するように変更調整することが可能である。
- [0049] なお、単位円筒7を同心に多数積層する際の、単位円筒7の積層数は少なくとも10以上であることが好ましい。1つの単位円筒7の厚さを薄くして積層数を増加するほど、図2で示すような誘電率 ϵ_r の分布を正確に近似することができる。単位円筒7の積層数が少なすぎると、誘電率 ϵ_r の分布の近似が不十分となり、不可視包囲体の不可視特性が悪化することになる。さらに、1つの単位円筒7の厚さは、不可視特性の対象とする電磁波の波長に比べて十分に小さいことが好ましく、実用的には波長の $1/10$ 以下であることが好ましい。
- [0050] 次に、このような不可視包囲体の不可視特性を数値シミュレーションにより確認してみた。数値シミュレーションは、有限要素法による電磁界シミュレーションを行うコンピュータ・ソフトウェアによって計算したものである。まず、図8に不可視包囲体を使用しない場合の金属棒による電磁波（平面波）の散乱状態を示す。中央の白い円形部分が金属棒であり、電磁波（平面波）は図の右側から左方向に入射している。図示のように、後方および前方への散乱波が見られ、それらの散乱波と入射波が干渉して複雑な散乱状態を

呈している。

- [0051] 次に、図9に金属棒の周囲に不可視包囲体を配置した場合の電磁波の状態を示す。中央の白い円形部分が金属棒であり、金属棒の周囲の多層の環状部分が中央包囲体である。中央包囲体の外側は全て外郭体となっている。図示のように、不可視包囲体を配置した場合には、入射した電磁波（平面波）にはほとんど乱れがなく、金属棒を通過した後にまた平面波に戻っている。すなわち、この電磁波では金属棒が不可視になっていることを示している。
- [0052] 以上に説明した不可視包囲体において、数3および図2に示すような誘電率と透磁率の分布は、入射電磁波の磁界の方向が z 軸方向であるという条件があった。すなわち、以上に説明した不可視包囲体は、磁界の方向が z 軸方向の入射波に適用でき、その場合に不可視特性を示すものである。
- [0053] ただし、入射波の電界の方向が z 軸方向である場合にも、以上に説明した不可視包囲体と同様な手法により、不可視包囲体を構成することができる。入射波の電界の方向が z 軸方向である場合は、電磁波の伝搬には ϵ_z 、 μ_r および μ_θ だけが関係する。また、誘電率および透磁率の分布は、数3および図2に示すような分布に対して誘電率 ϵ と透磁率 μ を交換した分布とすればよい。すなわち、中央包囲体内部の z 軸方向の誘電率 ϵ_z と θ 方向の透磁率 μ_θ は一定とし、 r 方向の透磁率 μ_r は内周側から外周側に増加するような分布とすればよい。
- [0054] さらに、図4および図5と同様の、図10および図11のような透磁率に注目した積層膜を考える。図10は透磁率の異なる2種類の磁性体材料による2層構造の積層膜5であり、図11は透磁率の異なる3種類の磁性体材料による3層構造の積層膜6である。ここで、複数の層が積層されている方向を中央包囲体11の半径 r 方向とし、その半径 r 方向と直交する方向を偏角 θ 方向とする。
- [0055] 図10の積層膜5は、図示のように透磁率 μ_1 、厚さ d_1 の層と透磁率 μ_2 、厚さ d_2 の層が積層されたものである。この積層膜5における r 方向の実効的な透磁率 $\mu_r(\text{eff})$ と θ 方向の実効的な透磁率 $\mu_\theta(\text{eff})$ は次の式によって計算

できる。

$$[0056] \quad (d_1 + d_2) / \mu_r(\text{eff}) = d_1 / \mu_1 + d_2 / \mu_2$$

$$(d_1 + d_2) \mu_\theta(\text{eff}) = d_1 \mu_1 + d_2 \mu_2$$

[0057] このような積層膜5の透磁率 μ_1 、 μ_2 と厚さ d_1 、 d_2 を変更することにより、透磁率 $\mu_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、透磁率 $\mu_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。さらに、一方の透磁率（例えば、透磁率 μ_1 ）が一定値（例えば、空気の透磁率）であるとしても、透磁率 $\mu_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、透磁率 $\mu_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。厚さ d_1 、 d_2 に関しても、さらに条件が加わってもよく、例えば、積層膜3の全体の厚さが一定であるとしてもよい。

[0058] 図11の積層膜6は、透磁率 μ_1 、厚さ d_1 の層と、透磁率 μ_2 、厚さ d_2 の層と、透磁率 μ_3 、厚さ d_3 の層が積層されたものである。このような積層膜6の透磁率 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 と厚さ d_1 、 d_2 、 d_3 を変更することにより、透磁率 μ_θ を一定値に保ちながら、透磁率 μ_r を変更することが可能である。

[0059] 図11の積層膜6は、図示のように透磁率 μ_1 、厚さ d_1 の層と、透磁率 μ_2 、厚さ d_2 の層と、透磁率 μ_3 、厚さ d_3 の層が積層されたものである。このような3層構造の積層膜6におけるr方向の実効的な透磁率 $\mu_r(\text{eff})$ と θ 方向の実効的な透磁率 $\mu_\theta(\text{eff})$ は以下の式によって計算できる。

$$[0060] \quad (d_1 + d_2 + d_3) / \mu_r(\text{eff}) = d_1 / \mu_1 + d_2 / \mu_2 + d_3 / \mu_3$$

$$(d_1 + d_2 + d_3) \mu_\theta(\text{eff}) = d_1 \mu_1 + d_2 \mu_2 + d_3 \mu_3$$

[0061] 積層膜6の透磁率 $\mu_1 \sim \mu_3$ と厚さ $d_1 \sim d_3$ を変更することにより、透磁率 $\mu_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、透磁率 $\mu_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。さらに、全ての層の透磁率を変更せずに厚さ $d_1 \sim d_3$ のみを変更して、透磁率 $\mu_\theta(\text{eff})$ を一定値に保ちながら、透磁率 $\mu_r(\text{eff})$ を変更することが可能である。厚さ $d_1 \sim d_3$ に関しても、さらに条件が加わってもよく、例えば、積層膜6全体の厚さが一定であるとしてもよい。

[0062] この積層膜6の場合、各層の透磁率を変更せずに、各層の厚さだけを変更することにより、比較的簡単に必要な透磁率分布を実現することができる。

各層の厚さだけの変更でよいので、それにより不可視包囲体 1 a の製造コストを低減させることができる。

[0063] また、図 10 および図 11 に示す積層膜と同様に、さらに多層の積層膜でもそれぞれの層の透磁率と厚さを変更することにより、透磁率 μ_θ (eff) を一定値に保ちながら、透磁率 μ_r (eff) を変更することが可能である。これらの 2 層構造の積層膜 5、3 層構造の積層膜 6 またはさらに多層の積層膜を円筒状に形成して単位円筒とする。

[0064] さらに、透磁率 μ_r (eff) を変更調整した多数の単位円筒から中央包囲体 1 1 を形成すれば、中央包囲体 1 1 内部の透磁率として、透磁率 μ_θ を一定値に保ちながら、透磁率 μ_r を変更調整することが可能である。このような中央包囲体 1 1 を使用すれば、入射波の電界の方向が z 軸方向である場合の不可視包囲体を構成することができる。

[0065] 次に、本発明の他の実施の形態について説明する。動径 r、偏角 θ 、z 軸方向の位置 z による円筒座標系 (r, θ , z) において、 $0 \leq r \leq b$ なる領域を $a \leq r' \leq b$ なる環状の領域 (r', θ' , z') に変換するには、前述の数 1 による座標変換 (1 次変換) 以外にも、種々の座標変換が考えられる。例えば、次の数 4 による座標変換 (2 次変換) が可能である。

[数4]

$$r' = a + \frac{b-a}{b^2} r^2, \quad \theta' = \theta, \quad z' = z$$

[0066] 数 4 による座標変換により、誘電率テンソルおよび透磁率テンソルの各要素は以下の数 5 のようになる。ただし、数式の表示を簡素化するために、座標系 (r', θ' , z') を改めて座標系 (r, θ , z) と置き直した。なお、添字はその座標方向の要素を示しており、各要素は比誘電率および比透磁率で表されている。

[数5]

$$\epsilon_r = \mu_r = \frac{2(r-a)}{r}, \quad \epsilon_\theta = \mu_\theta = \frac{r}{2(r-a)}, \quad \epsilon_z = \mu_z = \frac{b^2}{2r(b-a)}$$

[0067] 円筒座標系 (r, θ, z) において、 $0 \leq r \leq b$ なる領域を $a \leq r' \leq b$ なる環状の領域 (r', θ', z') に変換するには、次の数6による座標変換（1/2次変換）も可能である。

[数6]

$$r' = a + \frac{b-a}{b^{1/2}} r^{1/2}, \quad \theta' = \theta, \quad z' = z$$

[0068] 数6による座標変換により、誘電率テンソルおよび透磁率テンソルの各要素は以下の数7のようになる。ただし、数式の表示を簡素化するために、座標系 (r', θ', z') を改めて座標系 (r, θ, z) と置き直した。なお、添字はその座標方向の要素を示しており、各要素は比誘電率および比透磁率で表されている。

[数7]

$$\varepsilon_r = \mu_r = \frac{r-a}{2r}, \quad \varepsilon_\theta = \mu_\theta = \frac{2r}{r-a}, \quad \varepsilon_z = \mu_z = 2b^2 \frac{(r-a)^3}{(b-a)^4}$$

[0069] そして、円筒座標系 (r, θ, z) において、 $0 \leq r \leq b$ なる領域を $a \leq r' \leq b$ なる環状の領域 (r', θ', z') に変換するには、次の数8による座標変換（双曲線変換）も可能である。

[数8]

$$r' = \sqrt{a^2 + \frac{b^2 - a^2}{b^2} r^2}, \quad \theta' = \theta, \quad z' = z$$

[0070] 数8による座標変換により、誘電率テンソルおよび透磁率テンソルの各要素は以下の数9のようになる。ただし、数式の表示を簡素化するために、座標系 (r', θ', z') を改めて座標系 (r, θ, z) と置き直した。なお、添字はその座標方向の要素を示しており、各要素は比誘電率および比透磁率で表されている。

[数9]

$$\varepsilon_r = \mu_r = \frac{r^2 - a^2}{r^2}, \quad \varepsilon_\theta = \mu_\theta = \frac{r^2}{r^2 - a^2}, \quad \varepsilon_z = \mu_z = \frac{b^2}{b^2 - a^2}$$

- [0071] 前述の数2で表される媒質による環状領域が完全な不可視特性を有すると同様に、上記の数5、数7、数9で表される媒質による環状領域も完全な不可視特性を有する。しかし、数2、数5、数7で表される媒質は、誘電率テンソルおよび透磁率テンソルの要素の中の半径 r に依存して変化する要素の数が多いため、それらの要素の値を実現するのが難しくなる。ここで注目すべきは、数9で表される媒質である。数9の媒質では、誘電率 ε_z および透磁率 μ_z が半径 r の値によらず一定値になっている。
- [0072] 数9の媒質の誘電率 ε_r 、誘電率 ε_θ および透磁率 μ_z の分布をグラフにより、他の媒質と比較する。例えば、数2による媒質では、誘電率 ε_r 、誘電率 ε_θ および透磁率 μ_z が図12に示すような分布となる。これに対して、数9による媒質では、誘電率 ε_r 、誘電率 ε_θ および透磁率 μ_z が図13に示すような分布となる。図12および図13は、内径：外径 = $a : b = 1 : 3$ の場合である。横軸は r/a の値であり、縦軸は比誘電率および比透磁率で表している。図13では透磁率 μ_z が半径 r の値によらず一定値になっている。
- [0073] すなわち、数9の媒質では、入射電磁波の磁界の方向が z 軸方向である場合、誘電率 ε_r と誘電率 ε_θ を図13に示すような分布となるように半径 r に応じて調整すれば、不可視特性を実現できる。中央包囲体内部の z 軸方向の透磁率 μ_z は一定とし、 θ 方向の誘電率 ε_θ は内周側から外周側に減少させ、 r 方向の誘電率 ε_r は内周側から外周側に増加させるような分布とすればよい。数9の媒質を実現するためには、図4、図5に示すような積層膜を利用できる。
- [0074] 図4、図5に示す積層膜やさらに多層の積層膜を使用して、それぞれの層の誘電率と厚さを変更することにより、誘電率 ε_θ (eff) および誘電率 ε_r (eff) を変更することが可能である。これら積層膜を円筒状に形成して単位円筒とし、多数の単位円筒を積層することにより中央包囲体11を構成する。この

ようにして、中央包囲体 11 内部の誘電率 ϵ_θ および誘電率 ϵ_r を図 13 に相当するように変更調整し、不可視特性を実現することができる。

[0075] 数 9 の媒質において、入射電磁波の電界の方向が z 軸方向である場合、電磁波の伝搬には ϵ_z 、 μ_r および μ_θ だけが関係する。誘電率および透磁率の分布は、図 13 に示すような分布に対して誘電率 ϵ と透磁率 μ を交換した分布とすれば不可視特性を実現することができる。すなわち、中央包囲体内部の z 軸方向の誘電率 ϵ_z は一定とし、 θ 方向の透磁率 μ_θ は内周側から外周側に減少させ、 r 方向の透磁率 μ_r は内周側から外周側に増加させるような分布とすればよい。この場合、図 10、図 11 に示すような積層膜を利用できる。

[0076] 以上のように、本発明の不可視包囲体では、共振現象を利用した媒質や複雑な構造のメタマテリアルを使用せず、通常媒質材料による簡単な構造体によって不可視包囲体を構成することができる。また、そのような構成による不可視特性も電磁界シミュレーションによって確認されている。本発明の不可視包囲体では、共振現象を利用していないため、従来よりも大幅に広い帯域において不可視特性を実現することができる。本発明により、広帯域および低損失の不可視包囲体を提供することができる。そして、このような不可視包囲体によって建築物などを覆うことにより電波障害を防止したり、何らかの構造物を覆うことによりその構造物による電磁波の散乱を防止することができる。

[0077] なお、本発明の不可視包囲体では、外郭体を設けたことにより外界と外郭体の境界面で電磁波の反射が生じることが考えられる。その場合、外郭体の境界面に多層コーティングのような反射防止処理を施すようにしてもよい。また、液体中や固体中での不可視包囲体の実現には、その液体や固体自体を外郭体とすることもできる。

産業上の利用可能性

[0078] 本発明により、通常媒質材料による簡単な構造体によって不可視包囲体を実現することができ、広帯域および低損失の不可視包囲体を提供することが

できる。このような不可視包囲体によって建築物などを覆うことにより電波障害を防止したり、何らかの構造物を覆うことによりその構造物による電磁波の散乱を防止することができる。

符号の説明

- [0079] 1, 1 a 不可視包囲体
2 外郭体
3, 4, 5, 6 積層膜
7 単位円筒
10 空洞部
11 中央包囲体

請求の範囲

- [請求項1] 内部に空洞部（10）を備えた円筒状の中央包囲体（11）と、前記中央包囲体（11）の外部を取り囲むように配置された外郭体（2）とからなり、
- 前記空洞部（10）に存在する物体および前記中央包囲体（11）自体を電磁波に対してほぼ不可視とする不可視包囲体であって、
- 前記中央包囲体（11）は、誘電率の異なる複数種類の材料を半径方向に積層した円筒状の積層膜を中心線が共通となるように多数積層したものであり、
- さらに、前記中央包囲体（11）は、前記中央包囲体（11）の中心線からの距離すなわち半径に応じて前記積層膜の各層の誘電率と半径方向の厚さとを調整することにより、前記中央包囲体（11）各部における誘電率テンソルの各成分の実効的な値を調整されたものである不可視包囲体。
- [請求項2] 請求項1に記載した不可視包囲体であって、
- 前記誘電率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体（11）の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とされ、最外周では前記外郭体（2）の誘電率よりも小さい所定値となるようにされており、
- 前記誘電率テンソルの前記円周方向成分は、ほぼ一定の値となるようにされたものである不可視包囲体。
- [請求項3] 請求項2に記載した不可視包囲体であって、
- 前記積層膜は、2層からなる2重膜であり、その2層のうちの1層の誘電率を一定値としたものである不可視包囲体。
- [請求項4] 請求項2に記載した不可視包囲体であって、
- 前記積層膜は、3層からなる3重膜であり、3層の誘電率を一定値として、3層の厚さを調整するようにしたものである不可視包囲体。
- [請求項5] 請求項1に記載した不可視包囲体であって、

前記誘電率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体（１１）の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とされ、最外周では前記外郭体（２）の誘電率よりも小さい所定値となるようにされており、

前記誘電率テンソルの前記円周方向成分は、最内周から最外周にわたり半径に応じて順次減少する値とされたものである不可視包囲体。

[請求項6]

内部に空洞部（１０）を備えた円筒状の中央包囲体（１１）と、前記中央包囲体（１１）の外部を取り囲むように配置された外郭体（２）とからなり、

前記空洞部（１０）に存在する物体および前記中央包囲体（１１）自体を電磁波に対してほぼ不可視とする不可視包囲体であって、

前記中央包囲体（１１）は、透磁率の異なる複数種類の材料を半径方向に積層した円筒状の積層膜を中心線が共通となるように多数積層したものであり、

さらに、前記中央包囲体（１１）は、前記中央包囲体（１１）の中心線からの距離すなわち半径に応じて前記積層膜の各層の透磁率と半径方向の厚さとを調整することにより、前記中央包囲体（１１）各部における透磁率テンソルの各成分の実効的な値を調整されたものである不可視包囲体。

[請求項7]

請求項6に記載した不可視包囲体であって、

前記透磁率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体（１１）の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とされ、最外周では前記外郭体（２）の透磁率よりも小さい所定値となるようにされており、

前記透磁率テンソルの前記円周方向成分は、ほぼ一定の値となるようにされたものである不可視包囲体。

[請求項8]

請求項7に記載した不可視包囲体であって、

前記積層膜は、２層からなる２重膜であり、その２層のうちの１層

の透磁率を一定値としたものである不可視包囲体。

[請求項9]

請求項7に記載した不可視包囲体であって、

前記積層膜は、3層からなる3重膜であり、3層の透磁率を一定値として、3層の厚さを調整するようにしたものである不可視包囲体。

[請求項10]

請求項6に記載した不可視包囲体であって、

前記透磁率テンソルの半径方向成分は、前記中央包囲体(11)の最内周から最外周にわたり半径に応じて順次増加する値とされ、最外周では前記外郭体(2)の透磁率よりも小さい所定値となるようにされており、

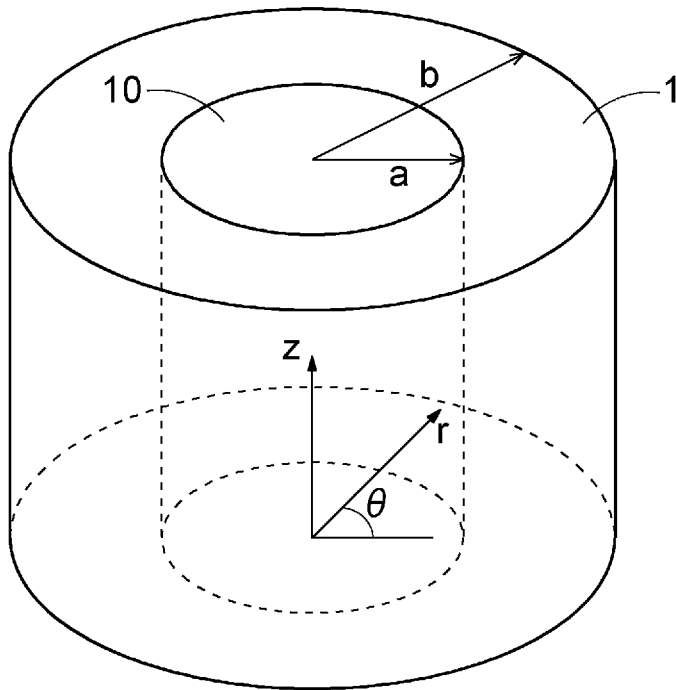
前記透磁率テンソルの前記円周方向成分は、最内周から最外周にわたり半径に応じて順次減少する値となるようにされたものである不可視包囲体。

[請求項11]

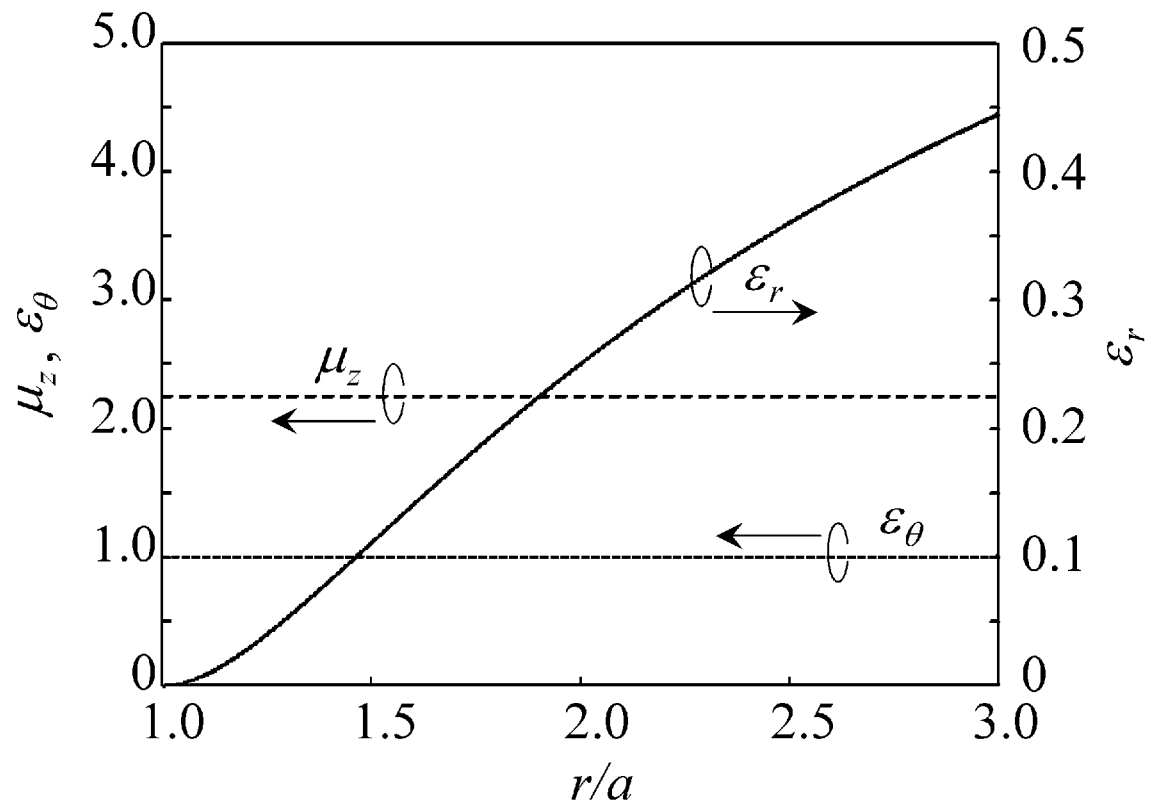
請求項1～10のいずれか1項に記載した不可視包囲体であって、

前記外郭体(2)は均質材料からなるものである不可視包囲体。

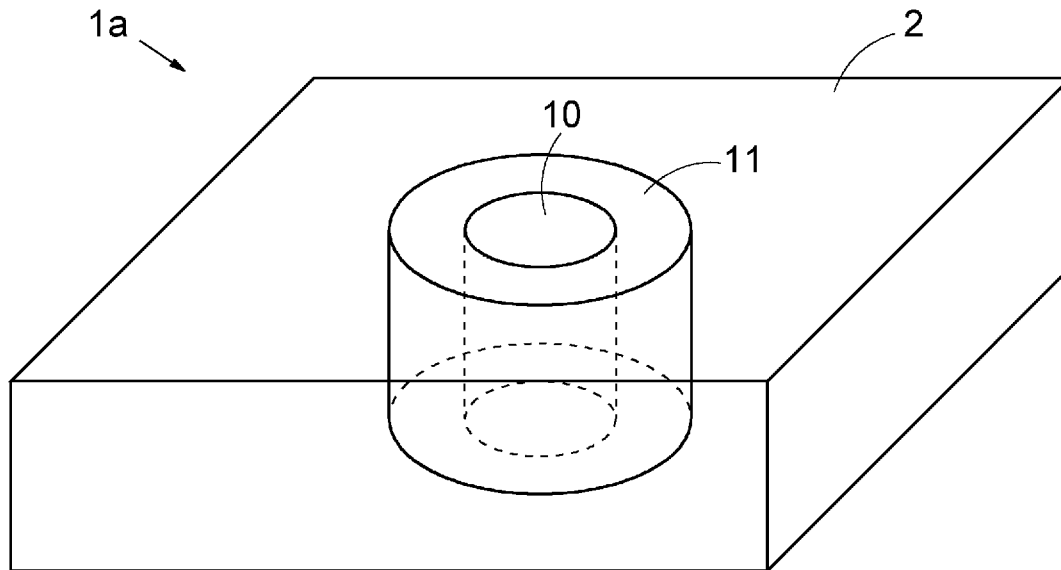
[図1]



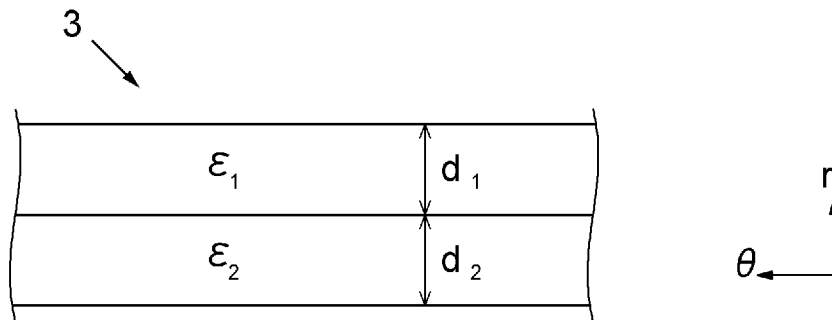
[図2]



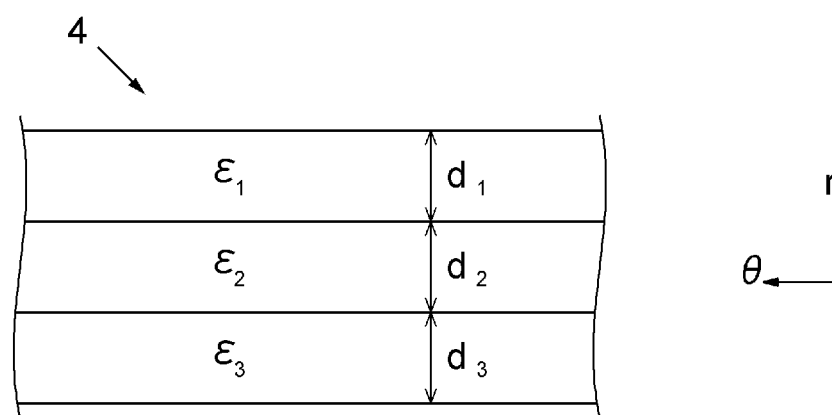
[図3]



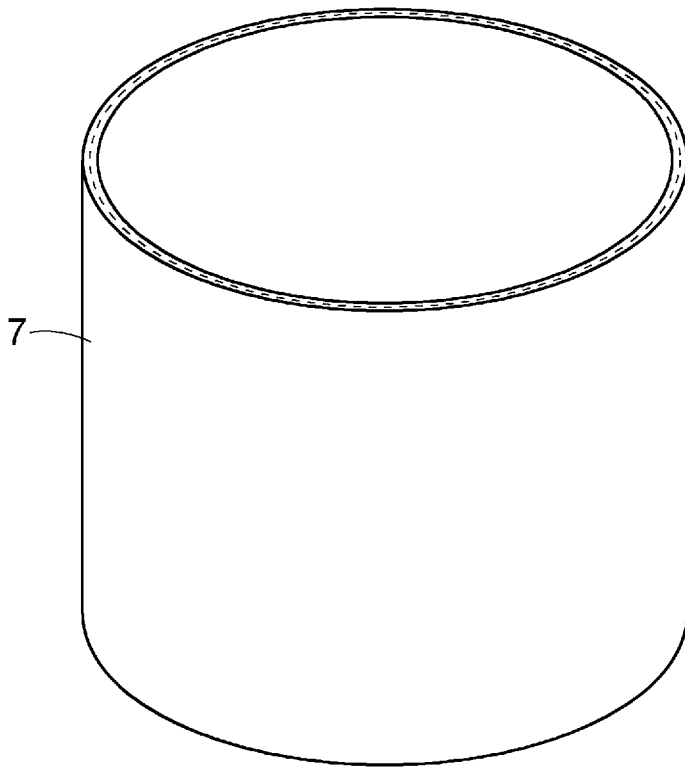
[図4]



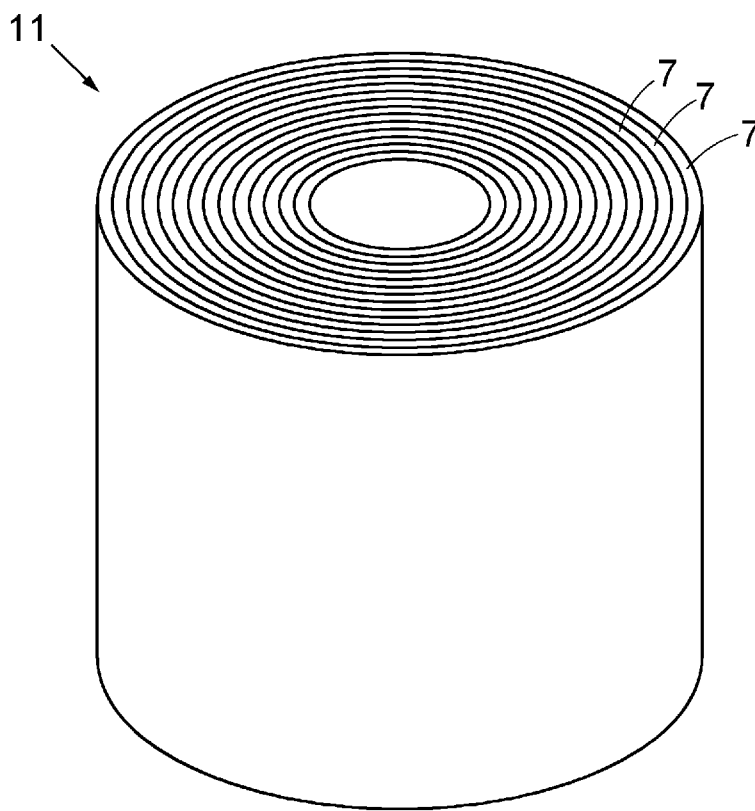
[図5]



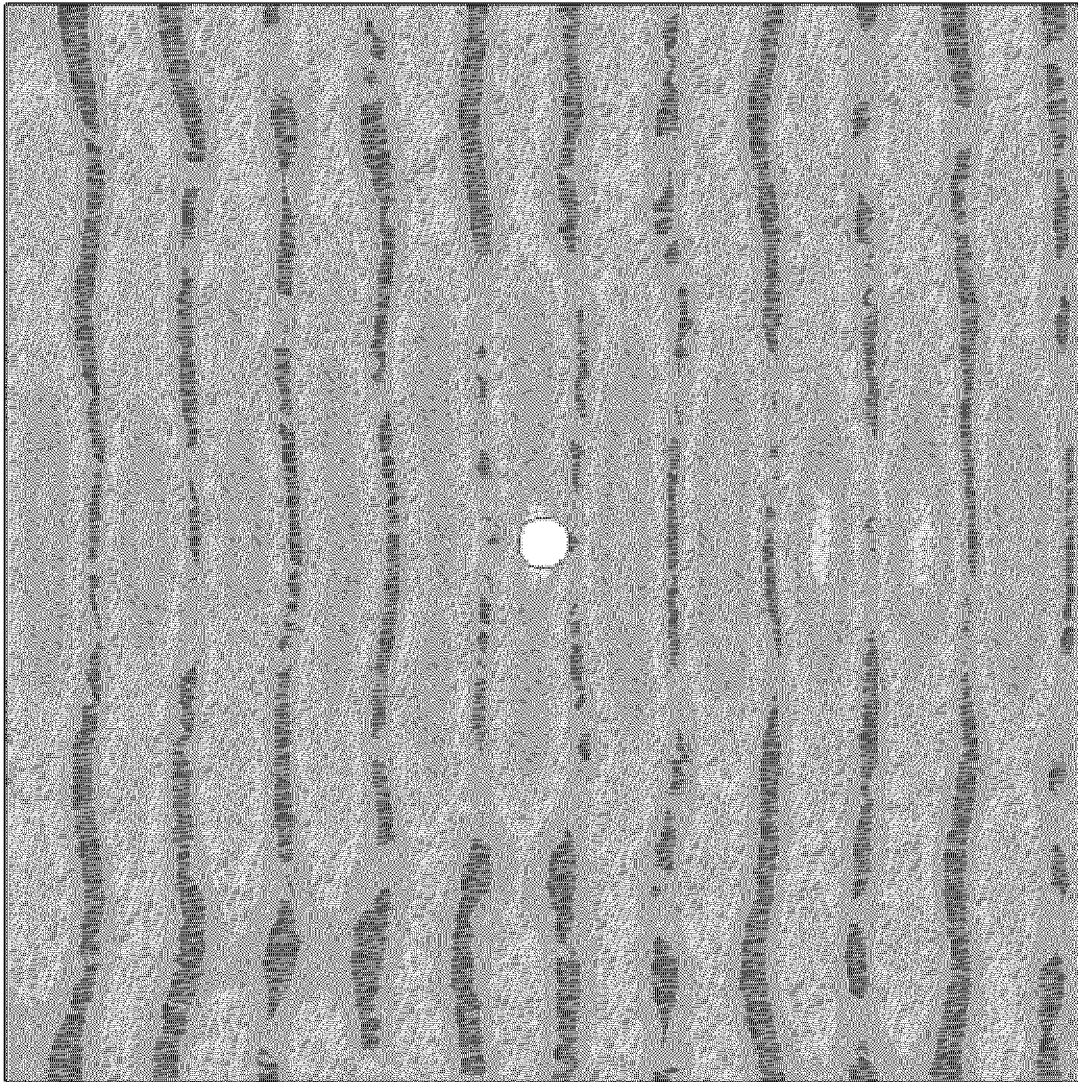
[図6]



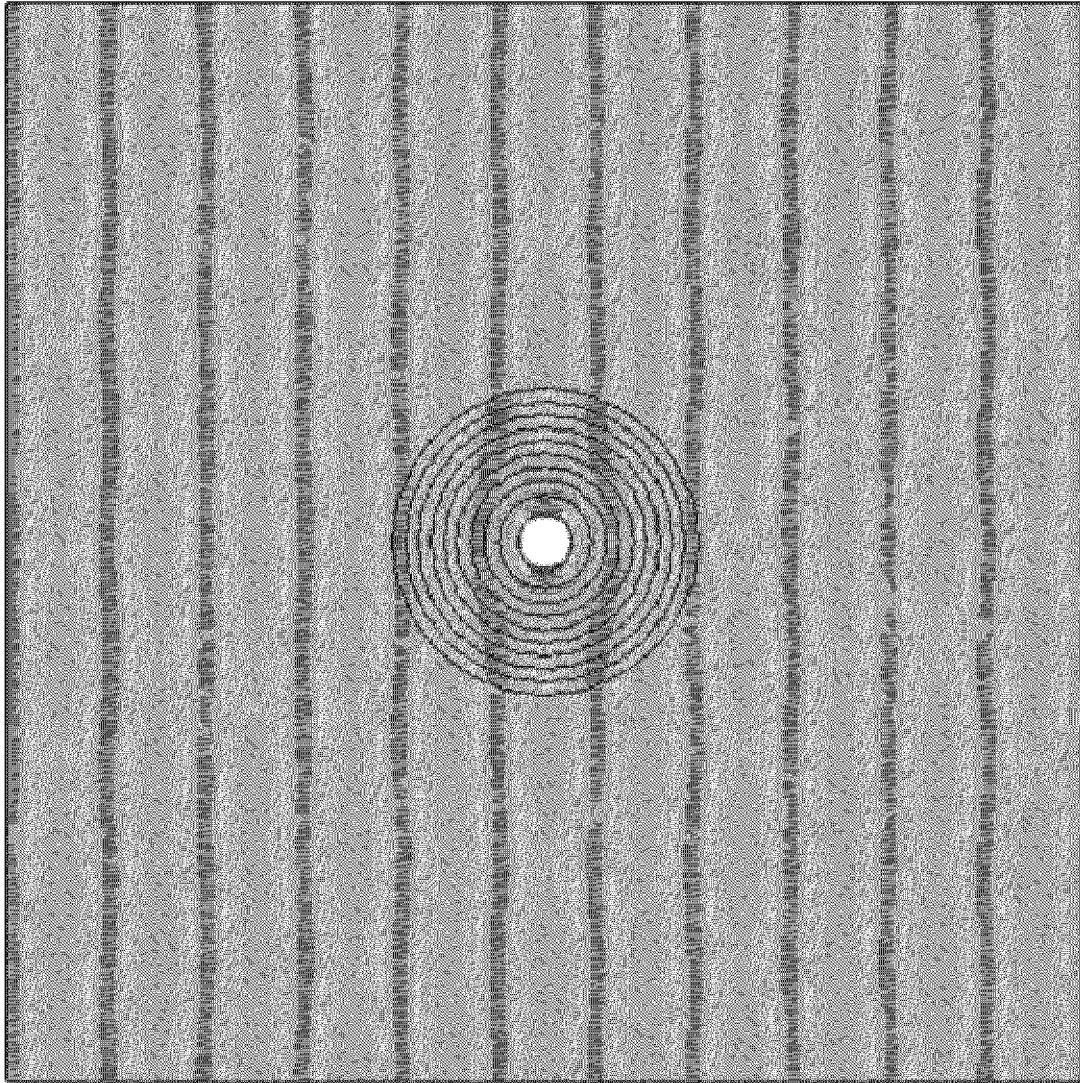
[図7]



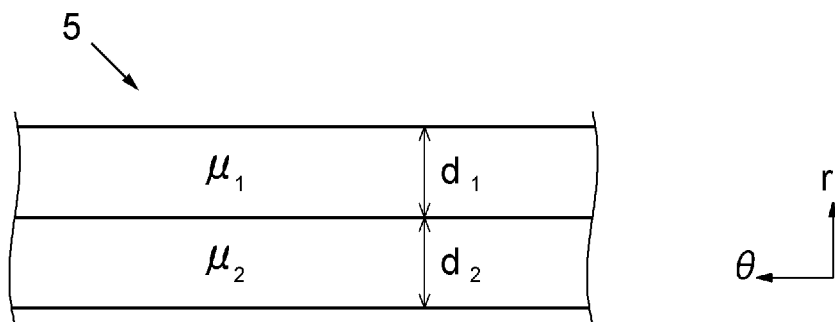
[図8]



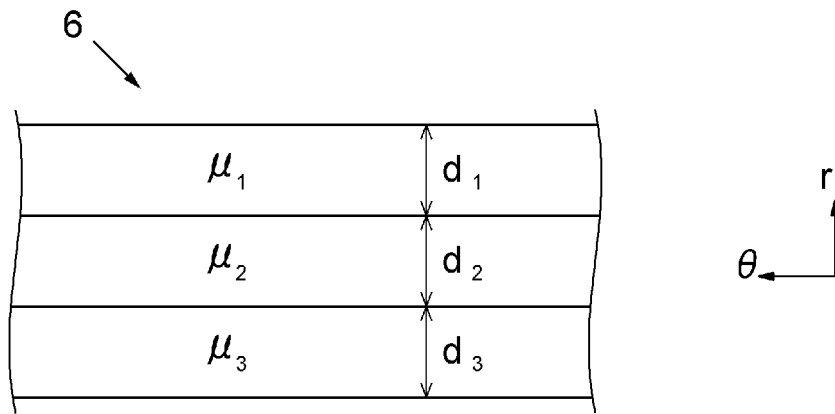
[図9]



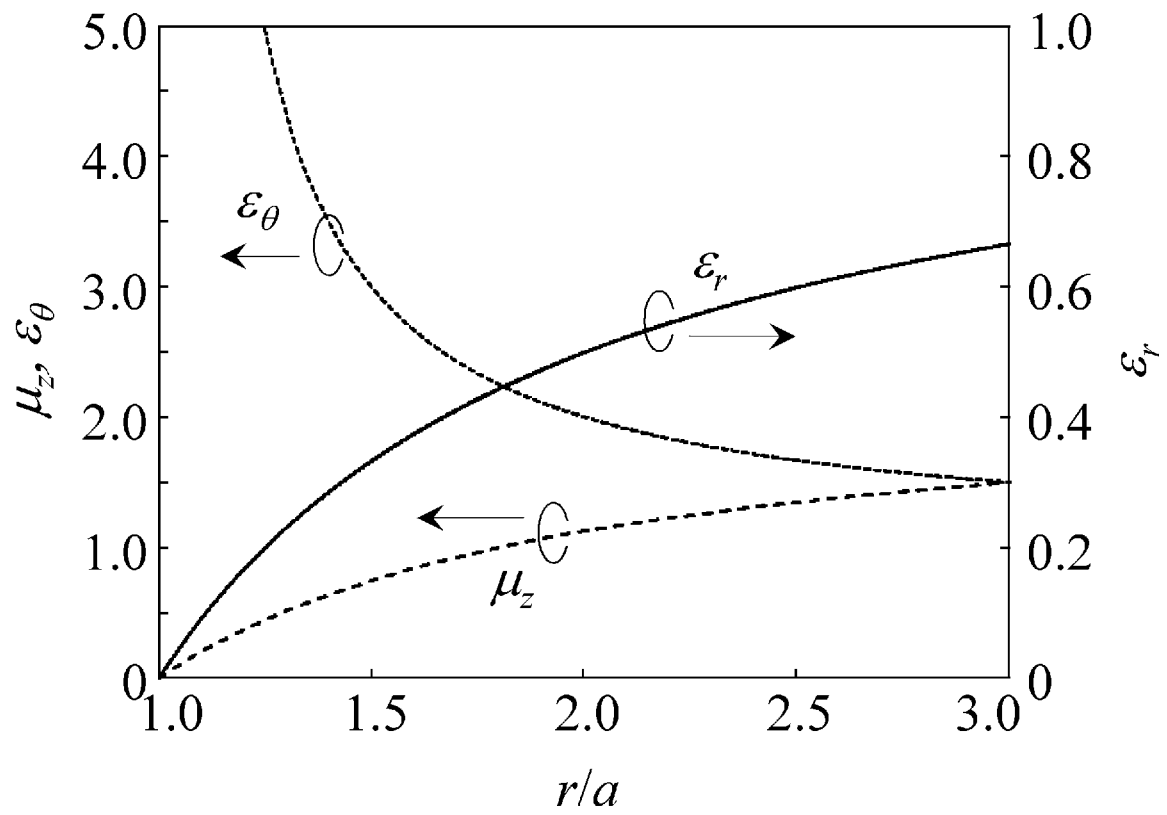
[図10]



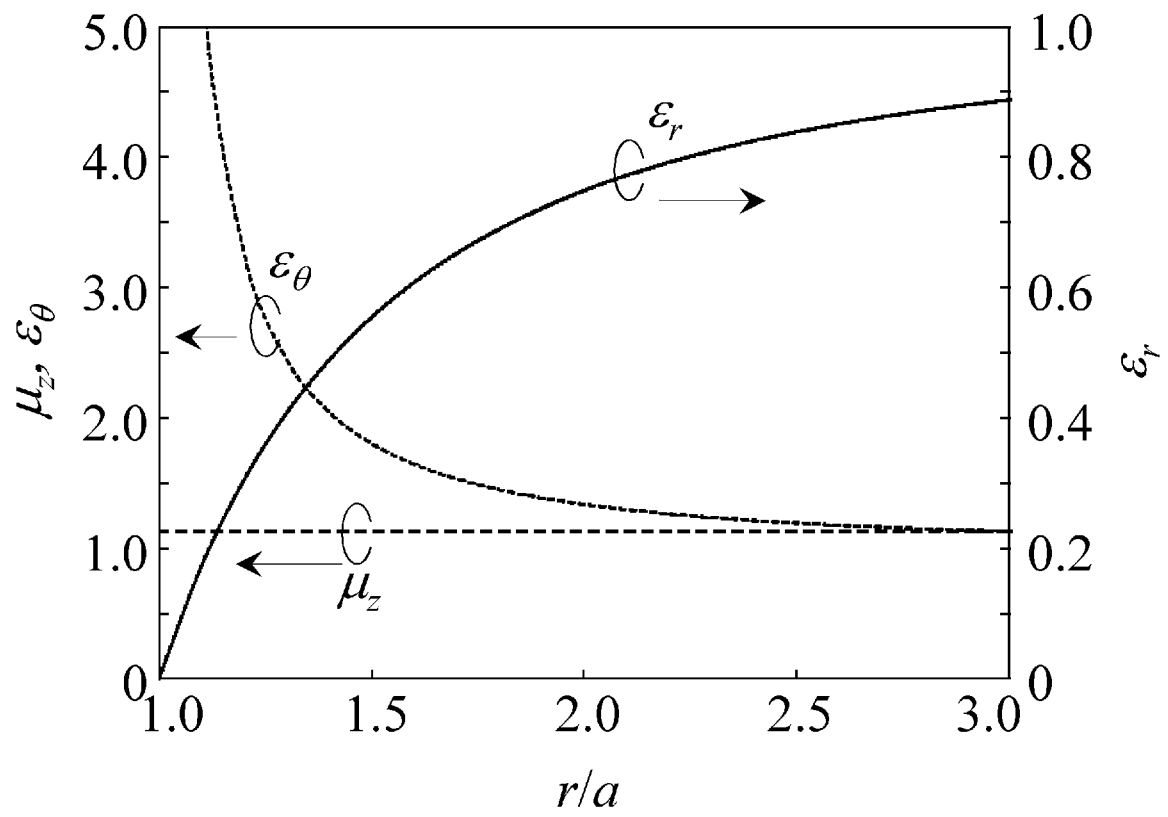
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/057188

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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)

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Hai-Ying Yao, Cheng-Wei Qiu, Le-Wei Li, Scattering Characteristics from Conducting Cylinder with Reconstructing Electromagnetic Cloaking Layers, Microwave Conference, 2009. APMC 2009. Asia Pacific, 2009.12.10, p.960-963	1-11
A	JP 2008-023517 A (Imperial Innovations Ltd.), 07 February 2008 (07.02.2008), entire text; all drawings & US 2008/0024792 A1 & CA 2590307 A & CA 2590307 A1	1-11

Further documents are listed in the continuation of Box C.

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
08 June, 2011 (08.06.11)

Date of mailing of the international search report
21 June, 2011 (21.06.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/057188

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 03-119807 A (Hughes Aircraft Co.), 22 May 1991 (22.05.1991), entire text; all drawings & US 5017939 A & EP 420137 A2 & CA 2024118 A & KR 10-1993-0008832 B & CA 2024118 A1	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. 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. 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	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011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)

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 請求項の番号
A	Hai-Ying Yao, Cheng-Wei Qiu, Le-Wei Li, Scattering Characteristics from Conducting Cylinder with Reconstructing Electromagnetic Cloaking Layers, Microwave Conference, 2009. APMC 2009. Asia Pacific, 2009. 12. 10, p. 960-963	1-11
A	JP 2008-023517 A (インペリアル イノベーションズ リミテッド) 2008. 02. 07, 全文、全図 & US 2008/0024792 A1 & CA 2590307 A & CA 2590307 A1	1-11

C欄の続きにも文献が列挙されている。

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

「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
 「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
 「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)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「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
 「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
 「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
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.06.2011

国際調査報告の発送日

21.06.2011

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)

吉村 美香

電話番号 03-3581-1101 内線 3568

5T

4684

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 請求項の番号
A	JP 03-119807 A (ヒューズ・エアクラフト・カンパニー) 1991.05.22, 全文、全図 & US 5017939 A & EP 420137 A2 & CA 2024118 A & KR 10-1993-0008832 B & CA 2024118 A1	1 - 1 1