

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第3978502号  
(P3978502)

(45) 発行日 平成19年9月19日(2007.9.19)

(24) 登録日 平成19年7月6日(2007.7.6)

(51) Int. Cl. F I  
H O 1 P 3/08 (2006.01) H O 1 P 3/08

請求項の数 3 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2006-220026 (P2006-220026)	(73) 特許権者	304020177
(22) 出願日	平成18年8月11日(2006.8.11)		国立大学法人山口大学
審査請求日	平成18年11月8日(2006.11.8)		山口県山口市吉田1677-1
(31) 優先権主張番号	特願2006-172404 (P2006-172404)	(72) 発明者	真田 篤志
(32) 優先日	平成18年6月22日(2006.6.22)		山口県宇部市常盤台2丁目16-1 国立
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		大学法人山口大学工学部内
早期審査対象出願		審査官	儀同 孝信

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ストリップ線路型左手系線路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

中間層の誘電体の中に配置される中間層導体は、金属パターンの周囲に誘電体を残して形成される単位セルの集合体により構成され、該中間層の両面を接地導体により囲んでなり、左手系領域で機能させることを特徴とするストリップ線路型の左手系線路。

【請求項2】

中間層の誘電体の中に配置される中間層導体は、金属パターンの周囲に誘電体を残して形成される単位セルの集合体により構成され、該中間層の両面を接地導体により囲んでなり、伝搬波の位相定数  $k$  を (  $k / \text{単位セルの周期 } a$  ) で規格化した値が  $-1.0 \sim 0$  の範囲で機能させることを特徴とするストリップ線路型左手系線路。

【請求項3】

前記単位セルはピアを用いない単位セル構造であることを特徴とする請求項1又は請求項2記載のストリップ線路構造の左手系線路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はメタマテリアルで構成されたストリップ線路構造の左手系線路に関する。

【背景技術】

【0002】

金属、誘電体、磁性体、超伝導体などの小片を、波長に対して十分短い間隔(波長の1

0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を超えるとい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、単位粒子の形状、材質およびそれらの配置により様々に変化するが、中でも、等価的な誘電率と透磁率 $\mu$ 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(Left-Handed Materials)」と名づけられた。これに対して、等価的な誘電率と透磁率 $\mu$ とが同時に正となる通常の媒質は「右手系媒質(Right-Handed Materials)」と呼ばれる。これら誘電率、透磁率 $\mu$ と媒質との関係領域は、図1に示すように、誘電率の正負及び透磁率 $\mu$ の正負に応じた第1象限～第4象限の媒質に分類できる。

#### 【0003】

特に、「左手系媒質(LHM)」は、バックワード波と呼ばれる、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、左手系媒質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とは公知である(例えば、非特許文献1、2参照。)

#### 【0004】

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搬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理論的に明らかになっている。従来、図2に示すようなマイクロストリップ線路構成において、左手系線路が作製され、このマイクロストリップ線路の左手系伝送特性が実験的に実証されている(例えば、非特許文献2参照。)

#### 【0005】

図2(A)はマイクロストリップ線路の左手系線路構造の部分構成を示す。該線路は、誘電体基板1の表面に金属パターン4を周囲に誘電体を残して単位セルを形成し、この単位セルの集合体により構成される誘電体基板の裏面(一方面)には全面に接地導体3を有して形成される。

#### 【0006】

このような構造のマイクロストリップ線路型の左手系線路では、電界、磁界の大部分は誘電体1の内部で伝送されるが、線路の半空間が開放されているため、一部は接地導体のない表面に放射される。即ち、伝送エネルギーの一部は外部に放射されて伝送線路に損失が生じることとなる。

【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.

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0007】

従来のマイクロストリップ線路型右手/左手系線路は、図2(A)のような構造と図2(B)の伝送モードをもち、線路の片側の半空間が開放されている、所謂、オープンタイプであるため、このような構造のマイクロストリップ線路型の左手系線路では、電界、磁界の大部分は誘電体1の内部で伝送されるが、線路の半空間が開放されているため、一部は接地導体のない表面に放射される。即ち、伝送エネルギーの一部は外部に放射されて伝送線路に損失が生じ非効率的であった。そこで、本発明は、伝搬波の位相定数が真空中の波数よりも小さくなる、開放系の線路では、所謂、放射領域となる領域でも放射せず、放射なく信号伝送を行うことができるストリップ線路型左手系線路を提供することを目的とする。

10

20

30

40

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

上記目的を達成するために、この発明の請求項1に係るストリップ線路型左手系線路は、中間層の誘電体の中に配置される中間層導体は、金属パターンの周囲に誘電体を残して形成される単位セルの集合体により構成され、該中間層の両面を接地導体により囲んでなり、左手系領域で機能させる構成とした。

## 【0009】

この発明の請求項2に係るストリップ線路型左手系線路は、中間層の誘電体の中に配置される中間層導体は、金属パターンの周囲に誘電体を残して形成される単位セルの集合体により構成され、該中間層の両面を接地導体により囲んでなり、伝搬波の位相定数を ( $\beta$  / 単位セルの周期  $a$ ) で規格化した値が  $-1.0 \sim 0$  の範囲で機能させる構成とした。

10

## 【0010】

これにより、本発明のストリップ線路型左手系線路は、基板の表裏両面を接地導体で囲んでいるため、伝搬波の位相定数が真空中の波数よりも小さくなる開放系の線路でも、所謂、放射線領域となる領域でも放射せず、放射なく信号伝送を行うことができ、伝送エネルギーを伝送線路において損失することなく効率良く伝送できる。

## 【0011】

この発明の請求項3に係るストリップ線路型左手系線路は、前記単位セルはビアを用いない単位セル構造とし、該中間層の両面を接地導体により囲んで構成とした。

## 【0012】

これにより、本発明のストリップ線路構造の左手系線路は、単位セルとして、本発明者が既に提案している、ビアを用いない単位構造を利用することにより、作成工程が少なく低廉化を達成することができる。

20

## 【発明の効果】

## 【0013】

以上のように、本発明のストリップ線路型左手系線路は、基板の表裏両面を接地導体で囲んでいるため、伝搬波の位相定数が真空中の波数よりも小さくなる開放系の線路でも、所謂、放射線領域となる領域でも放射せず、放射なく信号伝送を行うことができ、伝送エネルギーを伝送線路において損失することなく効率良く伝送できる。また、単位セルとして、本発明者が既に提案している、ビアを用いない単位セル構造を利用することにより、作製工程が少なく低廉化を達成することができる。

30

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0014】

本発明のストリップ線路型左手系線路は、図3(A)のように、内部に中間層導体4を有する中間層1の両面を接地導体2、3により囲まれたストリップ線路構造からなる。このストリップ線路構造のより具体的な構成は、図4(A)(B)に示すように、中間層の誘電体1の中に配置される中間層導体4は、誘電体基板の表面に金属パターンを、周囲に誘電体を残して単位セルを形成し、この単位セルの集合体により構成される。図5に、この単位セルの中間層導体の金属パターンを拡大したものを示す。

## 【0015】

図5の単位セルの中間層導体の金属パターンは、隣り合うセルと直列ギャップ容量を持たせるための電極となる金属ストリップA、それらを接続する金属ストリップB、金属ストリップBの途中横方向に延びた並列インダクタンスを持たせるための金属ストリップC、及び金属ストリップCの端に接続され接地導体との容量を持たせることで、ビアで接地導体と接続しなくとも金属ストリップCの一端が接地されたと同等の効果を得る仮想接地の役割を果たす金属ストリップDから構成される。

40

## 【0016】

また、図6(A)に単位セルの等価回路と、図6(B)に簡略化された等価回路を示す。この線路は中間層の金属パターン4に電界が集中するストリップ線路型の伝送モードを基本モードに持つものである。このように形成されたストリップ線路の伝送モードの電磁

50

界は、図3(B)のようになり、このままでは線路の表裏両面が接地導体2、3に囲まれているため本質的に放射を生じない。

【0017】

次に、線路の表裏両面が接地導体2、3に囲まれている構成のストリップ線路が、本発明のストリップ線路型左手系線路となる理由を説明する。

【0018】

ストリップ線路型左手系線路とストリップ線路型右手系線路とを複合的にした線路では分散性(位相定数と角周波数の関係)をうまく設計することでバンドギャップをなくし、狭い周波数範囲でを負(左手系)から正(右手系)の値に急激に変化させることができる。(尚、波の波数は、伝送線路上の伝搬波のようにある決まった方向に伝搬する波に対しては「位相定数」と称されることが多いので、本明細書ではそのように記す。)

10

【0019】

このことを理論的に説明する。図6(B)に示す単位セルの簡略化された等価回路に基づいて、位相定数を、単位セルの周期をaとすると、この周期構造線路の分散関係を計算すれば、

$$= 1 / a \cdot \cos^{-1} [ 1 + Z(\omega) Y(\omega) ] \quad (1)$$

となる。

【0020】

ここで、

$$Z(\omega) = 1 / 2 [ 1 / j \omega C_L + j \omega L_R ]$$

$$Y(\omega) = 1 / [ j \omega L_L + 1 / j \omega C_g ] + j \omega C_R$$

20

である。

【0021】

この位相定数に対する周波数 $f$ ( $= \omega / 2\pi$ )を、図7において、本発明の構造の単位セルに対して周期境界条件を与えて得られた本周期構造線路の分散特性を、三次元有限要素法による電磁界シミュレーション計算結果としてプロットすると、緩やかな傾きをもち、縦軸と交差する。ここで、横軸は伝搬波の位相定数を $(\beta / a)$ で規格化した値を示し、縦軸は周波数を示す。

30

【0022】

ここで、図7の分散特性は図5で示される単位セルの諸元が次の例である。

【0023】

$p_w = 1.5 \text{ mm}$ ,  $p_h = 2.4 \text{ mm}$ ,  $c_w = 0.5 \text{ mm}$ ,  $c_1 = 6.0 \text{ mm}$ ,  $l_{11} = 2.8 \text{ mm}$ ,  $l_{w1} = 1.0 \text{ mm}$ ,  $l_{12} = 1.8 \text{ mm}$ ,  $l_{w2} = 0.5 \text{ mm}$ , 単位セルの周期  $a = 4.0 \text{ mm}$ , 厚さ  $s = 1.016 \text{ mm}$ ,  $\epsilon_r = 2.17$

【0024】

一方、真空中の波数 $k_0$ は光速を $c_0$ とすると、

$$k_0 = \pm \omega / c_0 \quad (2)$$

40

であり、 $\beta$ と比例関係にある。これをやはり図7の分散関係にプロットすると図中の直線(Air line)となる。

【0025】

図7で、 $-\beta < 0$ である $9.5 \text{ GHz}$ から $10.2 \text{ GHz}$ の周波数範囲において、位相速度( $= \omega / \beta$ )は負、分散曲線の傾きで表わされる群速度( $= d\omega / d\beta$ )は正、とこれらの符号が逆転しており、これはバックワード波の存在を示している。即ち、これはこの媒質が左手系特性を示す媒質であることの証拠である。また、 $0 < \beta < \beta_0 + 1$ である $10.2 \text{ GHz}$ から $11.8 \text{ GHz}$ の周波数範囲では、位相速度( $= \omega / \beta > 0$ )と群速度( $= d\omega / d\beta > 0$ )が共に正で同符号であり右手系特性を示す。同図では左手系と右手系の伝送周波数帯が $10.2 \text{ GHz}$ においてつながっており、それらの間にバンドギャップ

50

が存在しないこともわかる。

【0026】

このように、本発明のストリップ線路型左手系線路は、中間層1の誘電体の中に配置される中間層導体4が、金属パターンを周囲に誘電体を残して形成される単位セルの集合体により構成され、該中間層4の両面を接地導体2、3により囲んだ構造とし、伝搬波の位相定数を $(\beta/a)$ で規格化した値が $-1.0 \sim 0$ の範囲で機能させることにより実現することができる。

【0027】

以上のように、本発明のストリップ線路型左手系線路は、基板の表裏両面を接地導体で囲んでいるため、伝搬波の位相定数が真空中の波数よりも小さくなる開放系の線路でも、所謂、放射領域となる領域でも放射せず、放射なく信号伝送を行うことができ、伝送エネルギーを伝送線路において損失することなく効率良く伝送できる。また、単位セルとして本発明者が既に特許出願(特願2005-58443)して提案している、ビアを用いない単位セル構造を利用することにより、作製工程が少なく低廉化を達成することができる。

10

【産業上の利用可能性】

【0028】

本発明のストリップ線路型左手系線路は、マイクロ波のアンテナはもとより伝送線路、結合器、共振器、分配器等に応用できる。

【図面の簡単な説明】

20

【0029】

【図1】誘電率 $\epsilon$ 、透磁率 $\mu$ と媒質との関係領域図。

【図2】従来のマイクロストリップ線路図。

【図3】本発明に用いるストリップ線路図。

【図4】本発明に用いるストリップ線路の構造図。

【図5】線路の単位セルの中間層の金属パターン。

【図6】線路の単位セルの等価回路図。

【図7】分散特性の数値シミュレーション計算例。

【符号の説明】

【0030】

30

- |   |               |
|---|---------------|
| 1 | 中間層           |
| 2 | 上面接地導体        |
| 3 | 下面接地導体        |
| 4 | 中間層導体(金属パターン) |

【要約】

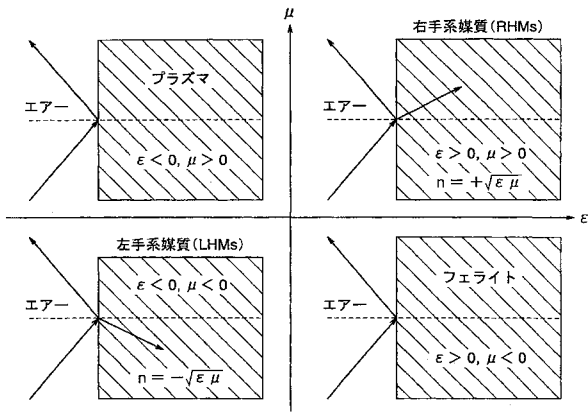
【課題】放射領域となる領域でも放射せず、放射なく信号伝送を行うことができるストリップ線路構造の左手系線路を実現する。

【解決手段】中間層1の両面を接地導体2、3により囲まれたストリップ線路構造からなる。中間層の誘電体1の中に配置される中間層導体4は、誘電体基板の表面に金属パターンを周囲に誘電体を残して単位セルを形成し、この単位セルの集合体により構成され、左手系領域で機能させ、この線路は中間層の金属パターン4に電界が集中するストリップ線路型の伝送モードを基本モードにもつ。

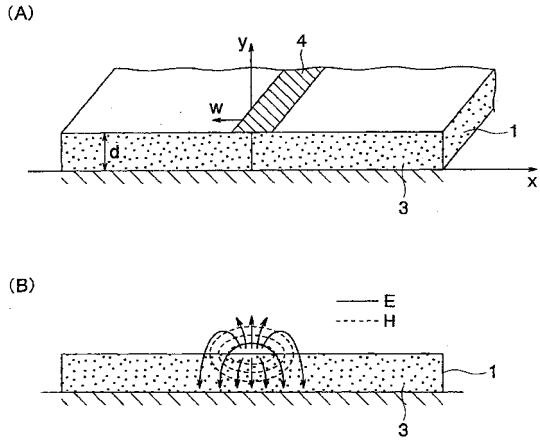
40

【選択図】 図3

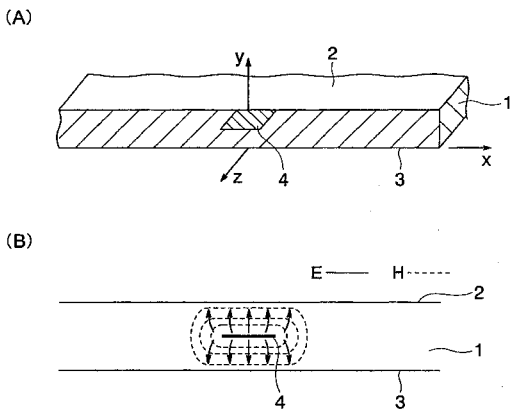
【 図 1 】



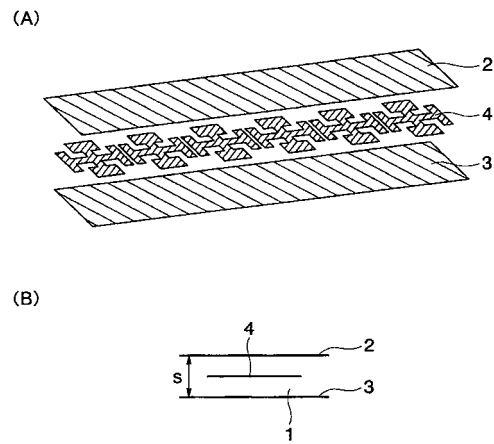
【 図 2 】



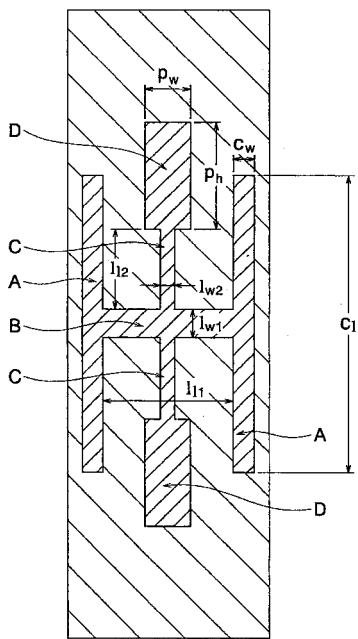
【 図 3 】



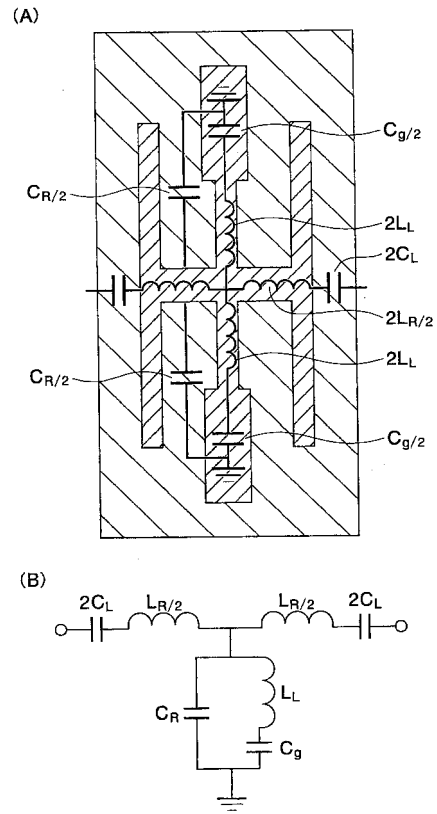
【 図 4 】



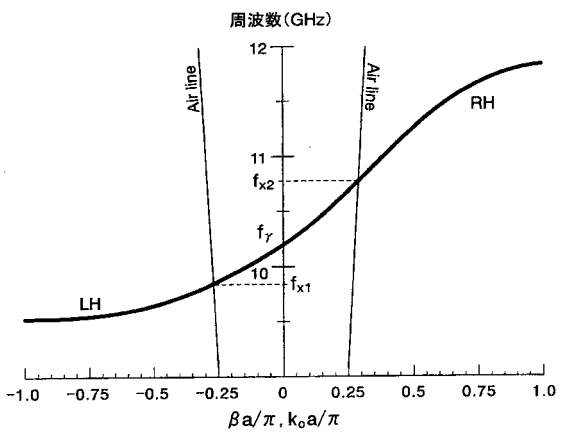
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-158416(JP,A)  
特開2001-217608(JP,A)  
特開2001-094340(JP,A)  
特開2000-036711(JP,A)  
特開2004-032779(JP,A)  
特開2004-032777(JP,A)  
特表2002-534883(JP,A)  
特表2003-526423(JP,A)  
国際公開第2004/025783(WO,A1)  
米国特許第05728346(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01P 1/20 - 1/219、 3/00 - 7/10、  
H01Q 13/00 - 13/28