

(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2006-245926

(P2006-245926A)

(43) 公開日 平成18年9月14日(2006.9.14)

(51) Int. Cl.

H01P 3/00 (2006.01)

F I

H01P 3/00

テーマコード(参考)

5J014

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2005-57763(P2005-57763)

(22) 出願日 平成17年3月2日(2005.3.2)

(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 山口

大学工学部内

Fターム(参考) 5J014 AA03

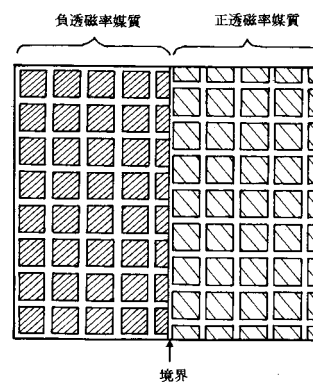
(54) 【発明の名称】 メタマテリアルでなる正負誘電率媒質あるいは正負透磁率媒質とそれらを用いた表面波を伝播する導波路

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】メタマテリアルでなる正負誘電率媒質あるいは正負透磁率媒質とそれらを用いた表面波を伝播する導波路を実現する。

【解決手段】負透磁率媒質を構成する単位セルは、誘電体基板の表面に金属パッチを周囲に誘電体を残して形成し、誘電体基板の裏面には全面に接地導体を持つ構造となっている。正透磁率媒質は既存のマイクロストリップ線路であり、単位セルは金属ストリップを四方に接続した二次元構造で、誘電体基板の裏面には全面にわたって接地導体が配置される。この負透磁率媒質と、正透磁率媒質とを左右に隣接・対向した構造とし、該両媒質の境界に表面波を伝播する導波路を形成する。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

誘電体基板の表面に方形の金属パッチを周囲に誘電体を残して形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体を有する構造の単位セルを形成し、該単位セルの集合体により構成されるメタマテリアルでなる負透磁率媒質。

【請求項 2】

方形の金属パッチまたは単位セル自体の縦と横の辺の長さの比を変化させることで異なる方向に対して異なる透磁率を持たせることにより、異方性をコントロール可能にしたことを特徴とする請求項 1 記載のメタマテリアルでなる負透磁率媒質。

【請求項 3】

六角形形状の誘電体基板の表面に六角形形状の金属パッチを周囲に誘電体を残して形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体を有する構造単位セルを形成し、該単位セルの集合体により構成されるメタマテリアルでなる負透磁率媒質。

10

【請求項 4】

誘電体基板の表面に金属ストリップを形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体を有する構造とし、該金属ストリップと、それを真ん中あるいは真ん中以外から誘電体基板裏側の接地導体に結ぶ金属のビアで構成される単位セルを形成し、該単位セルを集合して負透磁率媒質を構成する際、該基板表面の金属ストリップは隣接するセル間の金属ストリップと接続されることを特徴とするメタマテリアルでなる負透磁率媒質。

【請求項 5】

六角形形状の誘電体基板の表面に、六角形の辺の中間を結ぶ六角形形状の金属ストリップを形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体 5 を持つ構造とし、該誘電体基板の表面の金属ストリップと、それを真ん中あるいは真ん中以外から基板裏側の接地導体に結ぶ金属のビアで構成される単位セルを形成し、該単位セルを集合して負透磁率媒質を構成する際、該基板表面の金属ストリップは隣接するセル間の金属ストリップと接続されることを特徴とするメタマテリアルでなる負透磁率媒質。

20

【請求項 6】

金属ストリップの形状の対称性、単位セルの対称性、ビアの位置を変化させることで異なる方向に対して異なる透磁率を持たせることにより、異方性をコントロール可能にしたことを特徴とする請求項 4 または請求項 5 記載のメタマテリアルでなる負透磁率媒質。

30

【請求項 7】

誘電体基板の表面に金属ストリップを四方に接続した二次元構造とし、誘電体基板の裏面には全面にわたって接地導体が配置される単位セルを構成し、該単位セルの複数個を集合体として構成してなることを特徴とするメタマテリアルでなる正透磁率および正誘電率をもつ媒質。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 3 に記載のいずれかのメタマテリアルでなる負透磁率媒質と、請求項 7 に記載のメタマテリアルでなる正透磁率媒質とを隣接・対向した構造とし、該両媒質の境界に表面波を伝播可能にした導波路。

【請求項 9】

請求項 4 乃至請求項 6 に記載のいずれかのメタマテリアルでなる負透磁率媒質と、請求項 7 に記載のメタマテリアルでなる正透磁率媒質とを隣接・対向した構造とし、該両媒質の境界に表面波を伝播可能にした導波路。

40

【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なる正負透磁率媒質あるいは正負透磁率媒質と、それらを用いた表面波を伝播する導波路に関する。

【背景技術】

50

【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20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ろ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 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」（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 μ 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 μ と媒質との関係領域は、図1に示すように、誘電率の正負及び透磁率 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。

10

【0003】

特に、「左手系媒質」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。

【0004】

メタマテリアルではない媒質（自然連続媒質）であるが、誘電率の符号が負の媒質（負誘電率媒質）と、誘電率の符号が正の媒質（正誘電率媒質）との境界面においては表面波が伝播することが知られている。例えば、光の領域における金属の誘電率は負となり、これと誘電率が正である空気や誘電体との境界面では表面プラズモンと呼ばれる表面波が存在することは知られている（例えば、非特許文献1参照。）。

20

【0005】

これと対称的に、透磁率 μ の符号が負の媒質（負透磁率媒質）と透磁率 μ の符号が正の媒質（正透磁率媒質）との境界面においても表面波は存在する。例えば、磁化されたフェライトの等価透磁率は高周波域において負となり、これと透磁率が正なる空気や誘電体との境界において表面波は伝播することも知られている（例えば、非特許文献2参照。）。

【0006】

このように、誘電率または透磁率 μ のどちらか一方が負である媒質と、誘電率および透磁率 μ が共に正である媒質との境界には表面波が伝播する。特に、透磁率 μ が負である媒質と、透磁率 μ が正である媒質との境界に表面波が伝播する状態を図2に示している。

30

【非特許文献1】H. Raether, "Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings," Springer-Verlag, 1988.

【非特許文献2】B. Lax and K J Button, "Microwave Ferrite and Ferrimagnetics," McGraw-Hill, 1962.

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

光の領域における金属の負誘電率特性や、磁化されたフェライトの負透磁率特性は、自然に存在する材料そのものの持つ性質であり、誘電率や透磁率 μ の値を自由に設計することはできない。従って、その値で決まる表面波伝播周波数帯域を自由に決定あるいは設計することはできない。例えば、金属の負誘電率による表面プラズモンは光の領域の現象であり、また、フェライトの表面波静磁波の伝送帯域は、印加する直流磁界の方向や大きさによって決定されるが、現実的な数T（テスラ）の直流磁界を加えてもマイクロ波領域が上限となる。また、これらの表面プラズモンや表面静磁波を励振する方法も容易ではなかった。そこで、本発明は、金属、誘電体、磁性体、超伝導体、半導体等を、使用す

50

る波長に比べて短い間隔で並べることで実効的に必要な性質を持つ媒質を構成するというメタマテリアルの概念を用いて、正負誘電体媒質あるいは正負透磁率媒質を構成し、その表面波を伝送する導波路を構成することを目的とする。

【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に係るメタマテリアルでなる負透磁率媒質は、誘電体基板の表面に方形の金属パッチを周囲に誘電体を残して形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体を有する構造の単位セルを形成し、該単位セルの集合体により構成した。

【0009】

これにより、メタマテリアルでなる負透磁率媒質であるので、透磁率 μ の値を自由に設計することはできるので、導波路に適用した場合、その値で決まる表面波伝播周波数帯域を自由に決定あるいは設計することができる。

【0010】

この発明の請求項2に係るメタマテリアルでなる負透磁率媒質は、誘電体基板の表面に方形の金属パッチを周囲に誘電体を残して形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体を有する構造の単位セルを形成し、該単位セルの集合体により構成した負透磁率媒質において、方形の金属パッチまたは単位セル自体の縦と横の辺の長さの比を変化させることで異なる方向に対して異なる透磁率を持たせることにより、異方性をコントロール可能にした。

【0011】

これにより、単位セルを設計することで異方性のコントロールも可能となる。異方性のコントロールにより、異なる方向に対して異なる透磁率を持たせることが可能となり、この媒質を使ったより自由度の高いデバイス設計が可能となる。

【0012】

この発明の請求項3に係るメタマテリアルでなる負透磁率媒質は、六角形形状の誘電体基板の表面に六角形形状の金属パッチを周囲に誘電体を残して形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体を有する構造単位セルを形成し、該単位セルの集合体により構成した。

【0013】

これにより、異方性の小さいメタマテリアルでなる負透磁率媒質を得ることができ、透磁率 μ の値を自由に設計することはできるので、導波路に適用した場合、その値で決まる表面波伝播周波数帯域を自由に決定あるいは設計することができる。

【0014】

この発明の請求項4に係るメタマテリアルでなる負誘電率媒質は、誘電体基板の表面に金属ストリップを形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体を有する構造とし、該金属ストリップと、それを真ん中あるいは真ん中以外から誘電体基板裏側の接地導体に結ぶ金属のビアで構成される単位セルを形成し、該単位セルを集合して負誘電率媒質を構成する際、該基板表面の金属ストリップは隣接するセル間の金属ストリップと接続して構成した。

【0015】

これにより、メタマテリアルでなる負誘電率媒質であるので、誘電率の値を自由に設計することはできるので、導波路に適用した場合、その値で決まる表面波伝播周波数帯域を自由に決定あるいは設計することができる。

【0016】

この発明の請求項5に係るメタマテリアルでなる負誘電率媒質は、六角形形状の誘電体基板の表面に、六角形の辺の中間を結ぶ六角形形状の金属ストリップを形成し、該誘電体基板の裏面には全面に接地導体5を持つ構造とし、該誘電体基板の表面の金属ストリップと、それを真ん中あるいは真ん中以外から基板裏側の接地導体に結ぶ金属のビアで構成される単位セルを形成し、該単位セルを集合して負誘電率媒質を構成する際、該基板表面の

10

20

30

40

50

金属ストリップは隣接するセル間の金属ストリップと接続して構成した。

【0017】

これにより、正方形のものに比して異方性の小さいメタマテリアルでなる負誘電率媒質を得ることができ、誘電率の値を自由に設計することはできるので、導波路に適用した場合、その値で決まる表面波伝播周波数帯域を自由に決定あるいは設計することができる。

【0018】

この発明の請求項6に係るメタマテリアルでなる負誘電率媒質は、上記請求項4または請求項5記載のメタマテリアルでなる負誘電率媒質において、金属ストリップの形状の対称性、単位セルの対称性、ビアの位置を変化させることで異なる方向に対して異なる誘電率を持たせることにより、異方性をコントロール可能に構成した。

10

【0019】

これにより、単位セルを設計することで異方性のコントロールも可能となる。異方性のコントロールにより、異なる方向に対して異なる誘電率を持たせることが可能となり、この媒質を使ったより自由度の高いデバイス設計が可能となる。

【0020】

この発明の請求項7に係るメタマテリアルでなる正透磁率および正誘電率をもつ媒質は、誘電体基板の表面に金属ストリップを四方に接続した二次元構造とし、誘電体基板の裏面には全面にわたって接地導体が配置される単位セルを構成し、該単位セルの複数個を集合体として構成した。

20

【0021】

これにより、メタマテリアルでなる正透磁率媒質あるいは正誘電率媒質であるので、透磁率 μ 、誘電率の値を自由に設計することができるので、導波路に適用した場合、その値で決まる表面波伝播周波数帯域を自由に決定あるいは設計することができる。

【0022】

この発明の請求項8に係る導波路は、上記請求項1乃至請求項3に記載のいずれかのメタマテリアルでなる負透磁率媒質と、上記請求項7に記載のメタマテリアルでなる正透磁率媒質とを隣接・対向した構造とし、該両媒質の境界に表面波を伝播可能に構成した。

【0023】

この発明の請求項9に係る導波路は、上記請求項4乃至請求項6に記載のいずれかのメタマテリアルでなる負誘電率媒質と、上記請求項7に記載のメタマテリアルでなる正誘電率媒質とを隣接・対向した構造とし、該両媒質の境界に表面波を伝播可能に構成した。

30

【0024】

これにより、導波路中の波長はこれらの媒質の等価的な誘電率および透磁率によって決まるが、これらの値を設計することで導波路中の波長を真空中の波長に比べて小さくすることができる。この波長短縮効果を利用して、小型共振器や小型遅延線を作製することが可能である。また、単位セルを設計することで異方性のコントロールも可能となる。異方性のコントロールにより、この媒質を使ったより自由度の高いデバイス設計が可能となる。

【発明の効果】

40

【0025】

以上のように、本発明により、理論的に直流に近い低周波からTHz以上の様々な周波数においても動作する表面波を伝送する導波路を作ることができる。この導波路中の波長はこれらの媒質の等価的な誘電率および透磁率によって決まるが、これらの値を設計することで導波路中の波長を真空中の波長に比べて小さくすることができる。この波長短縮効果を利用して、小型共振器や小型遅延線を作製することが可能である。また、単位セルを設計することで異方性のコントロールも可能となる。異方性のコントロールにより、この媒質を使ったより自由度の高いデバイス設計が可能となる。

【0026】

一方、光領域の表面プラズモンの励振は、誘電体プリズムやグレーティングを用いて波

50

数の大きな励振波を作り出さなければならない。また、表面静磁波の励振にもトランスデューサ等のマイクロ波帯の電磁波から静磁波への変換デバイスが必要であるが、本発明の媒質の表面波モードは、平面回路との親和性がよく、マイクロストリップ線路等の通常の平面回路から簡単に励振できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

本発明の基本構成は、図3の2次元伝送線路モデルに示すように、負透磁率媒質を対象例とするもので、負透磁率媒質(μ -負媒質)と正透磁率媒質(μ -正媒質)との組合せの境界に表面波が伝播するものである。各媒質の単位セルの等価回路は右方に示し、この等価回路の回路要素は表のような回路構成となる。以下に、負透磁率媒質、負誘電率媒質のそれぞれについて実施形態を説明する。

10

【実施例1】

【0028】

図4は本発明の第1の実施例であり、透磁率媒質(メタマテリアル)を対象とし、負の透磁率をもつ媒質(μ -負媒質)でなる周期構造負透磁率媒質1の概略図である。

【0029】

図5(A)は図4の負透磁率媒質1を構成する単位セル2である。これは、誘電体基板3の表面に方形の金属パッチ4を周囲に誘電体を残して形成し、基板3の裏面には全面に接地導体5を持つ構造となっている。

【0030】

図5(B)はこの単位セル2の等価回路である。この単位セル2は、隣り合う金属パッチ4に対して直列の容量Cを持ち、同時に誘電体基板3の裏面にある接地面に対して並列の容量Cを有する。厳密には直列には寄生インダクタンスLも考慮しなければならないが、通常これは小さく無視できる。直列のインダクタンスLが無視できる範囲でこの様な直列容量Cと並列容量Cとを持つ媒質は、等価的に負の透磁率を持つ媒質となることが証明されている。

20

【0031】

図6は、これに対し正の透磁率および正の誘電率を合わせもつ媒質(μ -正媒質、 ϵ -正媒質)の単位セル6の構成を示す。これは既存のマイクロストリップ線路であり、誘電体基板3の表面に金属ストリップ7を四方に接続した二次元構造とする。図5と同様、基板3の裏面には全面にわたって接地導体5が配置される。これら単位セル6の複数個を集合体として構成することにより、図示していないが、正透磁率媒質あるいは正誘電率媒質を得ることができる。

30

【0032】

図7は、上記図4の負透磁率媒質1と、図6の単位セル6からなる正透磁率媒質7とを左右に隣接して組合せた媒質の境界を表す概念図である。簡単のため、負透磁率媒質1および正透磁率媒質7の周期は等しいとすれば、この境界自体も周期構造となる。

【0033】

図8は、図7の1周期分の周期構造の境界に対して有限要素法に基づく三次元電磁界シミュレーションを行って求めた、この境界を伝播する表面波の分散関係の計算結果である。横軸は、この表面波の波数 k を $k_0 a$ で規格化した値(a は単位セルの1辺の長さ、 k_0 は円周率)であり、縦軸は伝播表面波の周波数である。この構造の場合、周波数が3.2 GHzに近づくに従って、 $k_0 a$ が1に近くなる分散特性をもった伝播波が存在することがわかる。

40

【0034】

図9は、図7の周期構造の8周期分の境界に対して、両端に金属壁を置き短絡して構成した両端短絡型表面波モード共振器の基板表面上の電界分布の三次元有限要素法電磁界シミュレーション結果である。図にはモード番号について、 $n=1, 2$, および3の各共振モードに対する電磁界分布を示している。いずれの場合も、電界が境界に集中する表面波が存在することがわかる。また、この様にして求めた $n=1\sim 7$ までの共振モードに対す

50

る波数と周波数の関係を図8のグラフ上にプロットすると図中の点の様になる。各共振に対応する点が表面波モードの分散関係と一致することから、確かにこれが表面波モードの共振であることが確認できる。

【0035】

表面パッチは正方形である必要はなく、直列の容量が付きさえすればどのような形状であっても構わない。パッチ形状の対称性が崩れれば崩れるほど異方性が強くなる。例えば、長方形パッチの場合、縦と横の辺の長さの比が大きくなればなるほど、縦方向の波の透磁率と横方向の透磁率とがより大きく異なることになる。また、単位セル自体も同様に正方形である必要はない。単位セル形状の対称性が崩れれば崩れるほど異方性が強くなる。このようにして異方性をコントロールすることもできる。

10

【実施例2】

【0036】

次に他の実施例につき説明する。図10は本発明の第2の実施例の負透磁率媒質概略図を示している。図10(A)は六角形形状の負透磁率媒質の単位セル2の構造例である。これは、六角形形状の誘電体基板5の表面に六角形形状の金属パッチ4を周囲に誘電体を残して形成し、基板3の裏面には全面に接地導体5を持つ構造となっている。図10(B)は図10(A)の六角形形状の単位セル2を集合して構成された負透磁率媒質1である。このような構成とすることにより、単位セル2と負透磁率媒質1のそれぞれの異方性を小さくすることができる。

【0037】

こうして得られた図10(A)の負透磁率媒質1と、形状は六角形形状であるが、図6と同じ構成の単位セル6からなる正透磁率媒質7とを、図7のように左右に隣接して組合せた媒質により、該両媒質の境界に表面波を伝播する導波路を得ることができる。

20

【0038】

上記実施例では負透磁率媒質の構成と負透磁率媒質と正透磁率媒質との組合せについて説明したが、同様にして、負誘電率媒質と正誘電率媒質との組合せ構成とすることによっても、両媒質により、該両媒質の境界に表面波を伝播する導波路を得ることができる。そこで、次に負誘電率媒質と正誘電率媒質との組合せによる実施例につき説明する。

【実施例3】

【0039】

図11は本発明の第3の実施例で、負誘電率媒質11の概略図を示し、負誘電率媒質11は複数の単位セル12の集合により構成される。図12(A)は、図11の負誘電率媒質11を構成する方形の単位セル12である。誘電体基板13の表面に金属ストリップ16を形成し、誘電体基板13の裏面には全面に接地導体5を持つ構成とする。この金属ストリップ16と、それを真ん中あるいは真ん中以外から基板裏側の接地導体15に結ぶ金属のピア(スルーホール)14で構成される。負誘電率媒質を構成する際、基板表面の金属ストリップ16は隣接するセル間の金属ストリップと接続される。

30

【0040】

図12(B)はこの単位セル12の等価回路である。表面の金属ストリップ16は直列のインダクタンスLを持ち、同時にピア14により接地導体15に対して並列のインダクタンスLを持っている。更に並列には接地導体15に対して寄生のキャパシタンスCが存在するが、通常これは小さく無視してよい。並列キャパシタンスCが小さい範囲でこのような直列インダクタンスLと並列インダクタンスLとを持つ媒質は、等価的に負の誘電率を持つ媒質となることが証明できることも知られている。

40

【0041】

この構成においても、金属ストリップ16の形状の対称性、単位セル12の対称性、ピア14の位置を変化させることで異方性をコントロールすることができる。即ち、異なる方向に対して異なる誘電率を持たせることが可能である。

【0042】

こうして得られた図11の負誘電率媒質11と、図6と同じ構成の単位セル6からなる

50

正誘電率媒質 7 とを、図 7 のように左右に隣接して組合せた媒質により、該両媒質の境界に表面波を伝播する導波路を得ることができる。

【実施例 4】

【0043】

次に負誘電率媒質についての他の実施例につき説明する。図 13 は本発明の第 4 の実施例である負誘電率媒質 11 の概略図を示している。図 13 (A) は、六角形形状の負誘電率媒質の単位セル 12 の構造の例である。

【0044】

これは、六角形形状の誘電体基板 13 の表面に、六角形の辺の中間を結ぶ六角形形状の金属ストリップ 16 を形成し、基板 13 の裏面には全面に接地導体 5 を持つ構造となっている。誘電体基板 13 の表面の金属ストリップ 16 と、それを真ん中あるいは真ん中以外から基板裏側の接地導体 15 に結ぶ金属のビア (スルーホール) 14 で構成される。負誘電率媒質を構成する際、基板表面の金属ストリップ 16 は隣接するセル間の金属ストリップと接続される。

10

【0045】

図 13 (B) は図 13 (A) の六角形形状の単位セル 12 を集合して構成された負誘電率媒質 11 である。このような構成とすることにより、単位セル 12 と負誘電率媒質 11 のそれぞれの異方性を正方形のものに比べて小さくすることができる。

【0046】

この構成においても、金属ストリップ 16 の形状の対称性、単位セル 12 の対称性、ビア 14 の位置を変化させることで異方性をコントロールすることができる。即ち、異なる方向に対して異なる誘電率を持たせることが可能である。

20

【0047】

こうして得られた図 13 の負誘電率媒質 11 と、形状は六角形形状であるが、図 6 と同じ構成の単位セル 6 からなる正誘電率媒質 7 とを、図 7 のように左右に隣接して組合せた媒質により、該両媒質の境界に表面波を伝播する導波路を得ることができる。

【産業上の利用可能性】

【0048】

本発明はメタマテリアルでなる負誘電率媒体あるいは負透磁率媒体の特性を必要とする回路要素として広く利用できると共に、それらを用いた表面波を伝播する導波路を形成でき、超小型通信用の共振器、フィルタ、発振器等のデバイスの構成要素として広く適用できる。

30

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図 1】誘電率、透磁率 μ と媒質との関係領域図である。

【図 2】表面波の伝播状態図である。

【図 3】2次元伝送線路モデル図である。

【図 4】本発明の周期構造負透磁率媒質の概略図である。

【図 5】本発明の負透磁率媒質を構成する単位セルと等価回路である。

【図 6】正の誘電率と透磁率を持つ媒質の単位セルである。

40

【図 7】本発明の負透磁率媒質と正透磁率媒質の境界を表す概念図である。

【図 8】本発明の媒質の表面波モードの分散関係図である。

【図 9】両端短絡表面波モード共振器の基板表面上の電界強度分布図である。

【図 10】六角形形状負透磁率媒質単位セルとその媒質構成図である。

【図 11】負誘電率媒質の概略図である。

【図 12】負誘電率媒質単位セルとその等価回路である。

【図 13】六角形形状負透磁率媒質単位セルとそれによる負透磁率媒質構成図である。

【符号の説明】

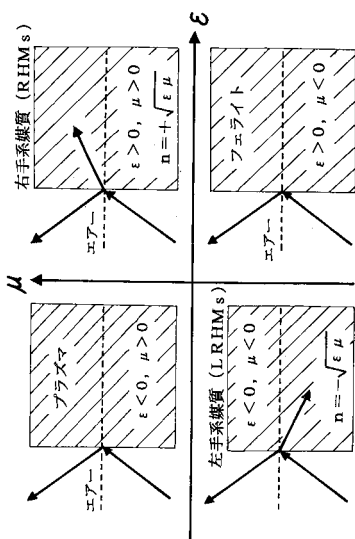
【0050】

1 負透磁率媒質

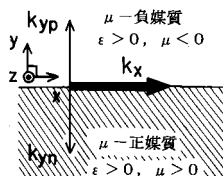
50

- 2 負透磁率媒質の単位セル
- 3, 1 3 誘電体基板
- 4 金属方形パッチ
- 5, 1 5 接地導体(裏面)
- 6 正透磁率および正誘電率の媒質の単位セル
- 7, 1 6 金属ストリップ
- 1 1 負誘電率媒質
- 1 2 負誘電率媒質の単位セル
- 1 4 金属のビア(スルーホール)

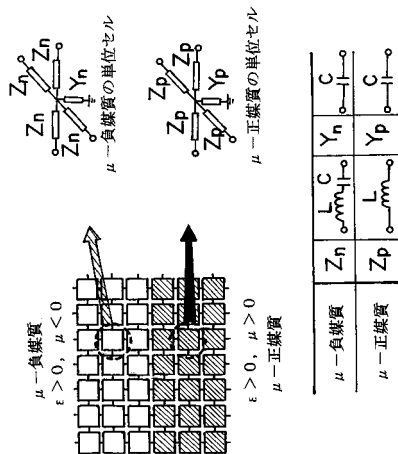
【図1】



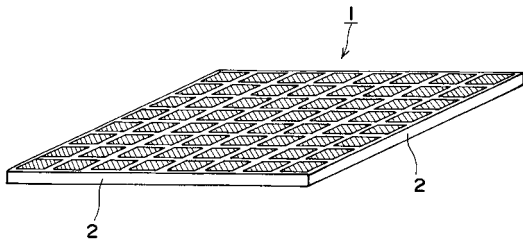
【図2】



【図3】

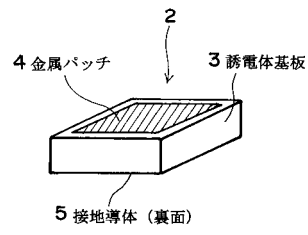


【 図 4 】

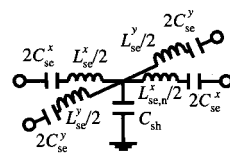


【 図 5 】

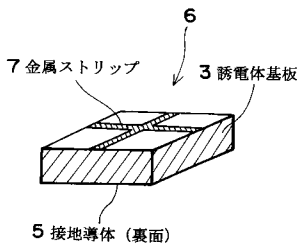
(A)



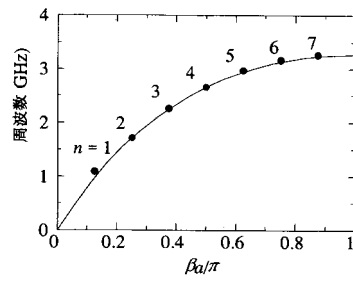
(B)



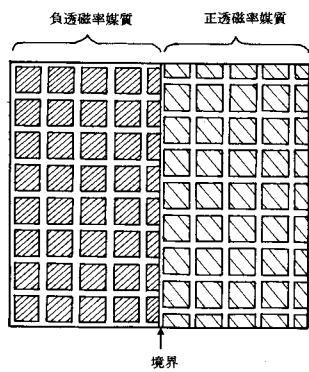
【 図 6 】



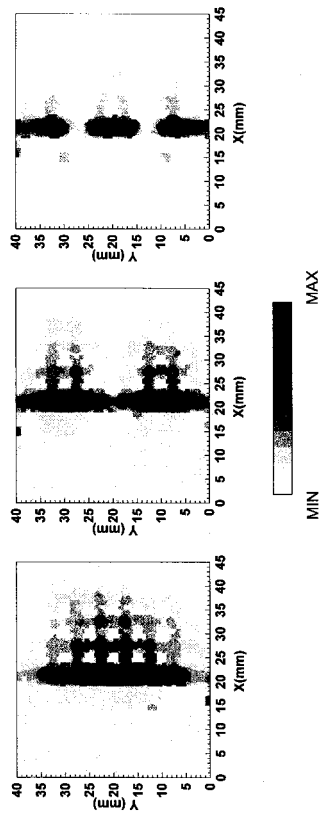
【 図 8 】



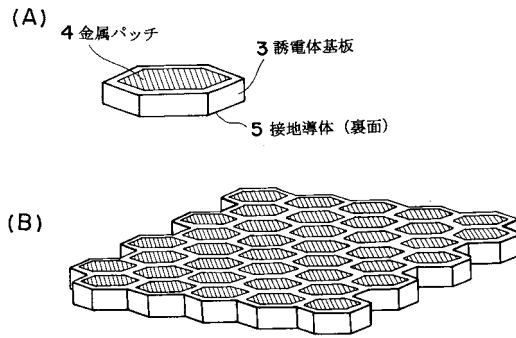
【 図 7 】



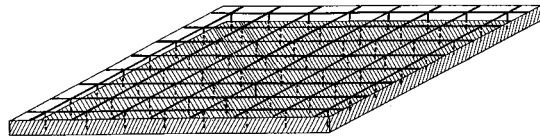
【 図 9 】



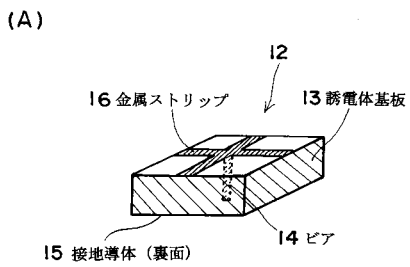
【 図 1 0 】



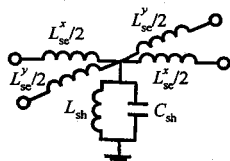
【 図 1 1 】



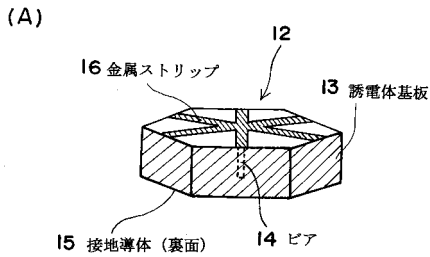
【 図 1 2 】



(B)



【 図 1 3 】



(B)

