

(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
2010 年 9 月 10 日(10.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/100801 A1

- (51) 国際特許分類:
H01P 5/18 (2006.01) H01P 1/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/070872
- (22) 国際出願日: 2009 年 12 月 15 日(15.12.2009)
- (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 2009-048152 2009 年 3 月 2 日(02.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社村田製作所(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 東條 淳(TOUJO, Atsushi) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 深見 久郎, 外(FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目 2 番 7

号 中之島セントラルタワー 2 2 階 深見特許事務所 Osaka (JP).

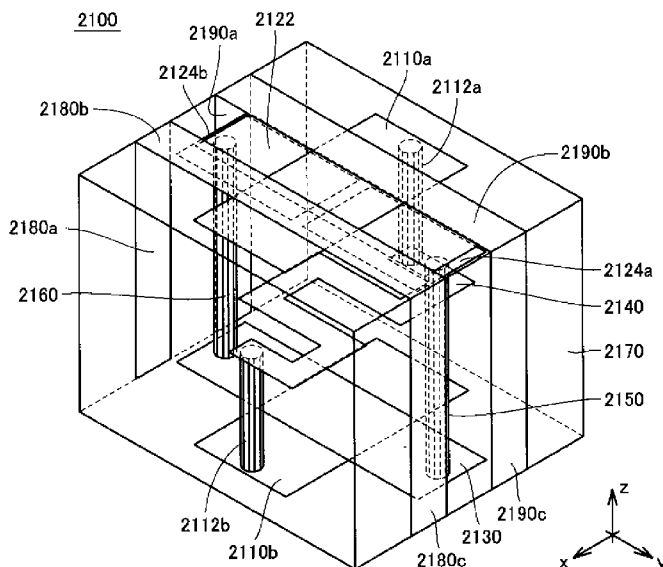
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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, 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, 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 (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ELECTRIC DEVICE AND PARTIAL STRUCTURE OF ELECTRIC CIRCUIT

(54) 発明の名称: 電気部品、および、電気回路の部分構造

[図38]



(57) Abstract: An electric device (2100) provided with a first transmission line (2180b) for carrying a first current, at least one second transmission line (2190b) parallel to the first transmission line and for carrying a second current, and metamaterials (2110a, 2112a, 2140, 2112b, 2110b, 2122, 2124a, 2150, 2130, 2160, 2124b) which exhibit negative permittivity and negative permeability with respect to the resonance wavelength component of an electromagnetic field. The metamaterials are arranged in predetermined positions and directions so that negative permittivity and negative permeability are exhibited with respect to the resonance wavelength component of the electromagnetic field produced by the first current, and so that the negative permittivity and negative permeability affect the second transmission line electromagnetically, thereby causing the second current to flow. Due to this, the electric device can have a small size and achieve strong coupling.

(57) 要約: 電気部品 (2100) は、第1の電流を通すための第1の伝送線路 (2180b) と、第1の伝送線路と並行する第2の電流を流すための少

なくとも1つの第2の伝送線路 (2190b) と、電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すメタマテリアル (2110a, 2112a, 2140, 2112b, 2110b, 2122, 2124a, 2150, 2130, 2160, 2124b) とを備え、メタマテリアルは、第1の電流による電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示し、かつ、当該負の誘電率および負の透磁率が第2の伝送線路に電磁気的な影響を与えることによって、第2の電流が流れるように位置および方向が定められて配置されている。これにより、小型で強結合を実現することができる。



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：電気部品、および、電気回路の部分構造

技術分野

[0001] 本発明は、電気部品、および、電気回路の部分構造に関し、特に、伝送路上を伝搬する電力の一部を別のポートに取出すのに適した電気部品、および、電気回路の部分構造に関する。

背景技術

[0002] 従来から、高周波信号の伝送線路上を所定の方向に伝搬する電力の一部を別のポートに取出すための電気部品である方向性結合器が用いられている。

[0003] このような方向性結合器であって中心周波数の波長を λ とするものにおいて、 $\lambda/4$ の長さの2本の並行する線路を結合部とするものがあつた（たとえば、特開平9-246818号公報（以下「特許文献1」という）参照）。この場合、たとえば、中心周波数が1GHzであれば、比誘電率=1とすると、 $\lambda/4=7.5\text{cm}$ となる。

[0004] また、線路を直線的に並行させた場合よりも小型化するため、蛇行させた並行する線路が形成された基板を積層させて、 $\lambda/4$ の長さの並行部分を確保するものがあつた（たとえば、特開平5-160614号公報（以下「特許文献2」という）参照）。

[0005] また、より短い並行線路長で強結合を得るために、2本の並行する線路を有する方向性結合器である結合線路形カプラにおいて、HPF（High-Pass Filter）型の左手系伝送線路を用いたものがあつた（たとえば、廣田明道、田原志浩、米田尚史、「右手／左手系複合線路を用いた結合線路形フォワードカプラ」（MW2008-28）、電子情報通信学会技術研究報告、社団法人電子情報通信学会、2008年5月、Vol.108、No.63、p.77-82（以下「非特許文献1」という）参照）。

[0006] なお、特開2008-147737号公報（以下「特許文献3」という）には、左手系伝送線路の応用例として、たとえば、段落0036に、強結合

バックワードカップラに用いることができる旨が記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開平9－246818号公報
特許文献2：特開平5－160614号公報
特許文献3：特開2008－147737号公報

非特許文献

- [0008] 非特許文献1：廣田明道、田原志浩、米田尚史、「右手／左手系複合線路を用いた結合線路形フォワードカップラ」（MW2008-28）、電子情報通信学会技術研究報告、社団法人電子情報通信学会、2008年5月、Vol.108、No.63、p.77-82

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 特許文献1および特許文献2に係る方向性結合器は、基本的に $\lambda/4$ の長さの結合線路を有するものである。 $\lambda/4$ よりも短くても結合するが、最も強い結合を得るためには、結合線路の長さを $\lambda/4$ にする必要がある。
- [0010] しかし、たとえ、結合線路の長さを $\lambda/4$ にしたとしても、並行線路では線路間の容量結合および磁気結合が強くないことから、電磁氣的な結合度を高くすることはできない。たとえば、特許文献1の方向性結合器の結合度は、40dB程度である。
- [0011] 結合度を高くするために、特許文献2のように、並行線路を蛇行させて磁気結合を高くしたり、線路を積層方向に隣接させて容量結合を高くしたりする必要がある。いずれにしても、結合線路の長さを $\lambda/4$ に近くする必要がある。方向性結合器のサイズが大きくなってしまいう問題が生じる。
- [0012] また、方向性結合器のサイズを小型化するために線路幅を細くすると、損失が増えてしまいう問題が生じる。
- [0013] 結合線路の長さを $\lambda/4$ にすることによらない強い結合を得るためには、

上述した非特許文献 1 のように左手系伝送線路を用いることが考えられる。しかし、伝送線路型の方向性結合器は、シリーズにコンデンサ、シャントにインダクタを必要とする。そして、小型化するためには、インダクタのピッチを短くしていかなければならない。

[0014] しかし、インダクタのピッチを短くすると、結合によって、シリーズに等価的なインダクタが入ってしまう。このため、そのインダクタが右手系成分となるため、左手系の動作を抑えてしまうといった問題が生じる。

[0015] また、単位長さ当たりの自己インダクタンス L および静電容量 C を一定にする必要があるので、小型化するほど、 L 、 C を大きくする必要がある。このため、左手系伝送線路は、小型化が困難な構造である。

[0016] 左手系メタマテリアルには共振型があるが、大型のものばかりである。このため、ストリップラインに利用できるものがなく、小型の方向性結合器への応用は提案されていなかった。

[0017] この発明は上述の問題点を解決するためになされたもので、この発明の目的の 1 つは、小型で強結合を実現することが可能な電気部品、および、電気回路の部分構造を提供することである。

課題を解決するための手段

[0018] 上述の目的を達成するために、この発明のある局面によれば、電気部品は、第 1 の電流を通すための第 1 の伝送線路と、第 1 の伝送線路と並行する第 2 の電流を流すための少なくとも 1 つの第 2 の伝送線路と、電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すメタマテリアルとを備え、メタマテリアルは、第 1 の電流による電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示し、かつ、当該負の誘電率および負の透磁率が第 2 の伝送線路に電磁氣的な影響を与えることによって、第 2 の電流が流れるように位置および方向が定められて配置されている。

[0019] 好ましくは、メタマテリアルは、共振波長の電磁波に対して負の誘電率を示す第 1 の共振器を備え、第 1 の共振器は、共振波長の略 $1/2$ の長さの半波長線路を含み、メタマテリアルは、さらに、共振波長の電磁波に対して負

の透磁率を示す第2の共振器と、第1の共振器および第2の共振器の位置を固定する支持部材とを備え、支持部材は、第1の共振器の共振による電界が集中する領域と異なる領域に、第2の共振器の共振による磁界が集中するように、第1の共振器および第2の共振器の位置を固定する。

[0020] 好ましくは、支持部材は、半波長線路の両端が第2の共振器の外部に位置するように、第1の共振器および第2の共振器の位置を固定する。

[0021] 好ましくは、支持部材は、共振により第1の共振器および第2の共振器に発生する同極性の電荷が、互いに干渉であるように、第1の共振器および第2の共振器の位置を固定する。

[0022] さらに好ましくは、支持部材は、半波長線路の両端の第1の伝送線路および第2の伝送線路からの距離が異なるように第1の共振器を固定する。

[0023] さらに好ましくは、第2の共振器は、LC共振器であって、支持部材は、第1の電流により生じる磁界がLC共振器の共振ループを通過するようにLC共振器の位置を固定する。

[0024] さらに好ましくは、支持部材は、半波長線路の第1の端を、第2の共振器と第1の伝送線路および第2の伝送線路を含む面との間に固定する。

[0025] さらに好ましくは、第2の共振器は、第1の最外電極と、第1の最外電極と極性の異なる第2の最外電極とを含み、支持部材は、半波長線路の第1の端を第1の最外電極と第1の伝送線路および第2の伝送線路を含む面との間に固定する。

[0026] さらに好ましくは、支持部材は、第1の電流により生じる、半波長線路の両端における電位が異なるように第1の共振器を固定する。

[0027] さらに好ましくは、支持部材は、第2の共振器が第1の電流により生じる磁界と磁気結合するように第2の共振器の位置を固定する。

[0028] さらに好ましくは、第2の共振器は、第1の電極と、第1の電極に対向する第2の電極とを備え、支持部材は、第1の電極および第2の電極で形成される共振ループが第1の電流により生じる電界方向と略平行になるように、第1の電極および第2の電極を固定する。

[0029] 好ましくは、メタマテリアルは、共振波長の電磁波に対して負の誘電率を示す第1の共振器を備え、第1の共振器は、共振波長の略 $1/2$ の長さの半波長線路を含み、メタマテリアルは、さらに、共振波長の電磁波に対して負の透磁率を示す第2の共振器を備え、第2の共振器は、複数の板状電極を含み、板状電極は、複数の第1板状電極と、各第1板状電極と対向して各々配置された複数の第2板状電極とからなり、第2の共振器は、さらに、複数の第1板状電極を電氣的に接続する第1の接続部と、複数の第2板状電極を電氣的に接続する第2の接続部とを含み、複数の板状電極のうち最外部に配置された第1の最外電極および第2の最外電極は、それぞれ、第1板状電極および第2板状電極であり、メタマテリアルは、さらに、第1の共振器および第2の共振器の位置を固定する支持部材を備え、支持部材は、第1の最外電極が半波長線路の第1の端部に近接し、かつ、第2の最外電極が半波長線路の第2の端部に近接するように、第1の共振器および第2の共振器の位置を固定する。

[0030] さらに好ましくは、第1の共振器は、さらに、第1の端部に接続された第1の導電板と、第2の端部に接続された第2の導電板とを含み、支持部材は、第2の共振器の外部であって第1の最外電極と対向する位置に第1の導電板を固定し、第2の共振器の外部であって第2の最外電極と対向する位置に第2の導電板を固定する。

[0031] この発明の他の局面によれば、電気部品は、電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すメタマテリアルを備え、メタマテリアルは、基板に取付けられたときに基板上の第1の伝送線路を流れる第1の電流による電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示し、かつ、当該負の誘電率および負の透磁率が基板に取付けられたときに基板上の第2の伝送線路に電磁氣的な影響を与えることによって、第2の伝送線路に第2の電流が流れるように位置および方向が定められて配置されている。

[0032] 好ましくは、電気部品は、基板に取付けられたときに、メタマテリアルを

挟んで第1の伝送線路および第2の伝送線路を含む面と反対側になるように配置されるグランド面をさらに備え、グランド面は、基板に取付けられたときに基板上のグランド線路と電氣的に接続させるためのグランド接続部を有する。

- [0033] この発明のさらに他の局面によれば、電気回路の部分構造は、第1の電流を通すための第1の伝送線路と、第1の伝送線路と並行する第2の電流を通すための少なくとも1つの第2の伝送線路と、電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すメタマテリアルとを備え、メタマテリアルは、第1の電流による電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示し、かつ、当該負の誘電率および負の透磁率が第2の伝送線路に電磁氣的な影響を与えることによって、第2の電流が流れるように位置および方向が定められて配置されている。

発明の効果

- [0034] 本発明に係る電気部品および電気回路の部分構造に含まれるメタマテリアルは、共振波長において負の誘電率を示す、共振波長の略 $1/2$ の長さの線路を有する第1の共振器と、当該共振波長において負の透磁率を示す第2の共振器とを含む。これらの共振器は、第1の共振器の共振による電界が集中する領域と異なる領域に、第2の共振器の共振による磁界が集中するように、配置される。
- [0035] また、本発明のある局面によれば、一方の最外電極が、 $\lambda/2$ 長の金属線の一方の端に近接し、他方の最外電極が金属線の他方の端に近接するように配置されたコンデンサ型共振器を、負の透磁率の発現のために用いる。ここで、コンデンサ型共振器としては、2つの最外電極にたまる電荷の符号は逆であるものを用いる。以上の構成により、本発明によれば、 $\lambda/2$ 長の金属線を用い、かつ、負の誘電率および負の透磁率を同時に発現するメタマテリアルを実現できる。このため、小型で強結合を実現することが可能な、左手系メタマテリアルを備えた電気部品、および、電気回路の部分構造を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0036] [図1] コンデンサ型共振器 300 の概略の外観図である。
- [図2] 図 1 に示す I I - I I 線断面図である。
- [図3] 共振周波数においてコンデンサ型共振器 300 で形成される共振回路を説明するための図である。
- [図4] コンデンサ型共振器 300 で生じる比透磁率の周波数特性の一例を示す図である。
- [図5] コイル型共振器 100 を用いた負の誘電率を持つメタマテリアルを示す図である。
- [図6] 図 5 に示すメタマテリアルの比透磁率を示す図である。
- [図7] 図 5 に示すメタマテリアルの比誘電率を示す図である。
- [図8] コイル型共振器 100 を用いた負の透磁率を持つメタマテリアルを示す図である。
- [図9] 図 8 に示すメタマテリアルの比透磁率を示す図である。
- [図10] 図 8 に示すメタマテリアルの比誘電率を示す図である。
- [図11] 最外部の内部電極が直接接続されているコンデンサ型共振器とコイル型共振器とを示す図である。
- [図12] 図 11 に示す共振器群の比誘電率を示す図である。
- [図13] 図 11 に示す共振器群の比透磁率を示す図である。
- [図14] 第 1 の実施の形態に係るメタマテリアルを示す図である。
- [図15] 図 14 に示す共振器群の比誘電率を示す図である。
- [図16] 図 14 に示す共振器群の比透磁率を示す図である。
- [図17] 第 2 の実施の形態のメタマテリアルにおいて、コンデンサ型共振器の構成を変えた構成を示す図である。
- [図18] 第 2 の実施の形態メタマテリアルの概略図である。
- [図19] 第 2 の実施の形態に係るメタマテリアルの構成を示す図である。
- [図20] ユニット 600 の斜視図である。
- [図21] ユニット 600 を y 方向から見た側面図である。

[図22] ユニット700の斜視図である。

[図23] ユニット700の側面図である。

[図24] ユニット800の斜視図である。

[図25] ユニット800の側面図である。

[図26] ユニット800の上面図である。

[図27] ユニット900の斜視図である。

[図28] ユニット900の正面図である。

[図29] ユニット900の側面図である。

[図30] 第5の実施の形態に係るユニット900の作成方法を説明するための図である。

[図31] 第6の実施の形態に係るユニット1000の構造を示す図である。

[図32] スプリットリング型共振器1210および半波長共振器1220を組み合わせたメタマテリアルと、信号線路200と、グランド220との位置関係を模式的に示した図である。

[図33] 図32に示すメタマテリアルが、負の誘電率を示すときの、電荷および電界の様子を模式的に示す図である。

[図34] 図32に示すメタマテリアルが、負の透磁率を示すときの、磁界の様子を模式的に示す図である。

[図35] 図34のメタマテリアルとは共振器の配置が異なるメタマテリアルと、信号線路200と、グランド220との位置関係を模式的に示した図である。

[図36] 図35に示すメタマテリアルが、負の誘電率を示すときの電界の集中する領域を説明するための図である。

[図37] 図35に示すメタマテリアルが、負の透磁率を示すときの磁界の集中する領域を説明するための図である。

[図38] 方向性結合器2100の斜視図である。

[図39] 方向性結合器2100の正面図である。

[図40] 方向性結合器2100の側面図である。

[図41]方向性結合器 2 1 0 0 の平面図である。

[図42]方向性結合器 2 2 0 0 の斜視図である。

[図43]複層基板の方向性結合器部の斜視図である。

[図44]メタマテリアルを用いた方向性結合器部の特性の測定結果を示すグラフである。

[図45]比較測定に用いる複層基板の方向性結合器部の斜視図である。

[図46]メタマテリアルを用いていない方向性結合器部の特性の測定結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0037] [左手系メタマテリアルを実現する上での課題]

近年、メタマテリアル (metamaterial) と称されるデバイスが注目されている。このメタマテリアルとは、自然界に存在する物質が有さないような電磁気的あるいは光学的な特性をもつ人工物質である。このようなメタマテリアルの代表的な特性として、負の透磁率 ($\mu < 0$)、負の誘電率 ($\varepsilon < 0$)、あるいは負の屈折率 (透磁率および誘電率がいずれも負の場合) が挙げられる。なお、 $\mu < 0$ かつ $\varepsilon > 0$ の領域、または $\mu > 0$ かつ $\varepsilon < 0$ の領域は「エバネッセント解領域」とも称され、 $\mu < 0$ かつ $\varepsilon < 0$ の領域は「左手系領域」とも称される。

[0038] $\mu < 0$ かつ $\varepsilon < 0$ である左手系メタマテリアルは、負の誘電率と負の透磁率を同時に実現するため、負の誘電率を持つ素子と、負の透磁率を持つ素子とを周期配置して作られる。

[0039] 左手系メタマテリアルには、大きく分けて、回路系と共振系とがある。共振系において、負の μ を実現する手段としては、例えば、スプリットリング共振器 (SRR: Split Ring Resonator) がある (例えば、「左手系メタマテリアル」(日経エレクトロニクス 1 月 2 日号、日経 BP 社、2006 年 1 月 2 日、p. 75-81) 参照)。

[0040] 一方、負の ε を実現する手段としては、電磁波の波長に対して十分長い金属細線がある。この金属細線によれば、プラズマ周波数が下がり、負の ε が

実現される。“Low Frequency Plasmons in thin-wire structures” (J B Pendry他, J. Phys.: Condens. Matter Vol.10 (1998) 4785-4809) には、金属細線のアレイにより負の ε を実現できることが記載されている。また、特表2008-507733号公報には、周期格子のワイヤが負の誘電率となるとの記述がある。

[0041] また、電磁波の波長 λ の半分の長さの金属細線が、電磁波との共振によって負の誘電率を発生することも知られている。

[0042] 負の ε の実現のために電磁波の波長に対して十分長い金属細線を用いる方法では、メタマテリアルを小型化できない。そこで、電磁波の波長 λ の半分の長さの金属線を用いることが考えられる。

[0043] しかしながら、 $\lambda/2$ 長の金属線を負の μ を実現するための共振器と組み合わせて左手系メタマテリアルを実現しようとした場合、 $\lambda/2$ 長の金属線は、一種の共振器であるので、負の μ を実現するための共振器との間で干渉を起こすおそれがある。そして、その結果、金属線と共振器との組み合わせは、負の ε および負の μ を同時に発現しないおそれがある。

[0044] 上述した課題を解決するための、負の誘電率および負の透磁率を同時に発現することが可能なメタマテリアルの実施の形態を以下に記載する。

[0045] [共振器について]

本発明に係る左手系メタマテリアルは、共振器を組み合わせた共振系のものである。そこで、まず、本発明の左手系メタマテリアルを構成する共振器について説明する。

[0046] (多層コンデンサ型共振器)

本実施の形態において用いられる共振器の1つに、複数の電極を含む多層コンデンサ型共振器がある。この共振器には、当該電極間に生じる静電容量(キャパシタンス)を主体とした共振回路が形成される。この共振回路は、共振器の周辺に配置された信号線路に交流電流が流れることで発生する電磁波の特定の周波数成分に感受性をもち、この周波数成分の電磁波を受けて電氣的な共振現象を生じ得る。この共振現象によって、負の透磁率が発現する

。

[0047] ここで、メタマテリアルとしての機能である透磁率の共振を生じさせるためには、各共振器の電流の伝搬方向における長さが、対象とすべき周波数における電磁波の波長 λ に対して、少なくとも $\lambda/4$ より短い必要がある。さらに、各共振器の電流の伝搬方向における長さは、 $\lambda/2$ 以下であることが好ましい。

[0048] 共振器としては、複数の平板電極を絶縁物（誘電体）を積層して形成された積層コンデンサなどを用いることができる。以下では、積層コンデンサを用いて共振器を実現する構成について例示する。この構成によれば、市販されている積層セラミックコンデンサなどの積層コンデンサを用いて、容易に共振器を構成できる。ただし、本発明に係る共振器を構成するための専用に設計された電極部材を用いてもよい。

[0049] 図1は、コンデンサ型共振器300の概略の外観図である。図1を参照して、コンデンサ型共振器300は、非磁性体である外装部10により覆われている。なお、外装部10としては、テフロン（登録商標）などの樹脂材料が適している。このコンデンサ型共振器300は、所定の周波数成分を含む電流が流れる信号線路200に近接して配置されることで、当該電流が発生する電磁波の特定の周波数成分（共振周波数）を受けて共振を生じる。また、コンデンサ型共振器300の信号線路200に接する面とは反対側の面には、グランド220が配置される。

[0050] コンデンサ型共振器300内での共振によって、コンデンサ型共振器300に磁束が発生し、負の透磁率が発現する。

[0051] なお、コンデンサ型共振器300が負の透磁率を発現する、すなわちメタマテリアルとしての機能である負の透磁率を発揮するためには、コンデンサ型共振器300の信号線路200における電流の伝搬方向における長さ l' が、共振周波数における電磁波の波長 λ に対して、少なくとも $\lambda/4$ より短い必要がある。さらに、コンデンサ型共振器300の長さ l は、 $\lambda/2$ 以下であることが好ましい。

[0052] 以下では、コンデンサ型共振器 300 の一例として、長さ $l' = 1.6 \text{ mm}$ 、幅 $W = 0.8 \text{ mm}$ 、高さ $H = 1.2 \text{ mm}$ の 8 層の内部電極を有する積層コンデンサを用いる場合について例示する。なお、信号線路 200 と積層コンデンサとの距離 $h = 0.2 \text{ mm}$ 、積層コンデンサとグラウンドの距離 $h' = 0.2 \text{ mm}$ とする。

[0053] ここで、 $\lambda/4 = \text{長さ } l' = 1.6 \text{ mm}$ とすると、 $\lambda = 6.4 \text{ mm}$ となり、これは、空気中では周波数 $f_{\text{max}} = 46.875 \text{ GHz}$ に相当する。従って、このコンデンサ型共振器 300 を $\lambda/4$ 以下のピッチで並べると、ギガヘルツ帯においてメタマテリアルとして用いることができる。当然のことながら、適用すべき周波数領域に応じて、共振器の長さ l を適宜設計することができる。

[0054] 次に、図 1 および図 2 を参照して、コンデンサ型共振器 300 の構造について説明する。図 2 は、図 1 に示す I I - I I 線断面図である。

[0055] 図 1 を参照して、信号線路 200 に電流が流れることによって、信号線路 200 を中心とした円周方向に交流の磁界が発生する。すなわち、磁界の磁力線は、信号線路 200 を中心とする同心円となる。また、信号線路 200 には電流が流れる際に電位が発生するので、信号線路 200 とグラウンド 220 との間には交流の電界が発生する。

[0056] 図 2 を参照して、コンデンサ型共振器 300 は、各々が比誘電率の高い絶縁物であるスペーサ 6 を介して互いに対向する第 1 内部電極 4 および第 2 内部電極 5 をそれぞれ複数含む。複数の第 1 内部電極 4 は、第 1 外部電極 2 と電氣的に接続されており、複数の第 2 内部電極 5 は、第 2 外部電極 3 と電氣的に接続されている。このように、コンデンサ型共振器 300 では、平板状の複数の内部電極 4、5 が積層されており、隣接する第 1 内部電極 4 と第 2 内部電極 5 との間には、その電極の面積、電極間の距離、スペーサ 6 の比誘電率などによってその値が定まる静電容量（キャパシタンス）が生じる。

[0057] コンデンサ型共振器 300 を構成する第 1 内部電極 4 および第 2 内部電極 5 の各電極面は、磁界の磁力線に対して実質的に平行となるように配置され

る。それとともに、第 1 外部電極 2 および第 2 外部電極 3 の各電極面が、第 1 外部電極 2 および第 2 外部電極 3 の各電極面とは異なる面において、磁界の磁力線に対して実質的に平行となるように配置される。すなわち、図 2 に示すように、信号線路 200 を流れる電流によって生じる磁界の磁力線が紙面前後方向に発生している場合において、コンデンサ型共振器 300 は、第 1 内部電極 4 および第 2 内部電極 5 の電極断面長手方向が紙面左右方向と一致し、かつ第 1 外部電極 2 および第 2 外部電極 3 の電極断面長手方向が紙面上下方向と一致するように配置される。

[0058] コンデンサ型共振器 300 が図 2 に示すような位置関係を保って配置されることで、所定の周波数成分に対して図 3 に示すような共振回路が形成され、この共振回路によって、負の透磁率が発現する。

[0059] 図 3 は、共振周波数においてコンデンサ型共振器 300 で形成される共振回路を説明するための図である。

[0060] 図 3 を参照して、その電極面が磁界の磁力線に対して実質的に平行となるように配置される第 1 内部電極 4 および第 2 内部電極 5、ならびに第 1 外部電極 2 および第 2 外部電極 3 は、その経路長さに応じたコイル（インダクタ）として作用する。

[0061] コンデンサ型共振器 300 では、第 1 内部電極のうち最上層の電極 4 a と、第 1 外部電極 2 と、第 1 内部電極のうち最下層の電極 4 b とは互いに電氣的に接続されており、これらを含む電流経路が形成される。同様に、第 2 内部電極のうち最上層の電極 5 a と、第 2 外部電極 3 と、第 2 内部電極のうち最下層の電極 5 b とは互いに電氣的に接続されており、これらを含む電流経路が形成される。ここで、電極 4 a と電極 5 a との間の静電容量（キャパシタンス C_1 ）と、電極 4 b と電極 5 b との間の静電容量（キャパシタンス C_2 ）とを介して、両電流経路は互いに電氣的に接続され、キャパシタンス C_1 、 C_2 と各電極によって生じるインダクタンス $L_1 \sim L_6$ とを含む共振回路が形成される。したがって、本実施の形態に従うコンデンサ型共振器 300 は、キャパシタンス（ $C_1 + C_2$ ）と、インダクタンス（ $L_1 + L_2 + L$

3 + L 4 + L 5 + L 6) とによって定まる共振周波数を持ち、この共振周波数の電磁波が入射することで、透磁率共振が発現する。

[0062] なお、コンデンサ型共振器 300 では、隣接する内部電極の間の各々で静電容量が発生するが、最上位の静電容量および最下位の静電容量を除いた他の静電容量は、この共振回路の形成への影響は小さい。これは、共振を起こす循環経路の最外層に電流が集中するためである。

[0063] 図 4 は、コンデンサ型共振器 300 で生じる比透磁率の周波数特性の一例を示す図である。なお、図 4 に示す変化特性は、シミュレーションによって算出されたものである。ここで、比透磁率とは、真空の透磁率に対する透磁率の比を表す。

[0064] 図 4 を参照して、コンデンサ型共振器 300 は、その 1 つの共振周波数として約 4.9 GHz をもち、その前後で比透磁率が大きく変動し、負の透磁率が生じることが分かる。

[0065] 上述の説明では、第 1 内部電極 4 および第 2 内部電極 5、ならびに第 1 外部電極 2 および第 2 外部電極 3 の各電極面が磁界の磁力線に対して実質的に平行となるように配置されることで、メタマテリアルとしての機能である負の透磁率を発現させることができることについて述べた。ここで、「実質的に平行」とは、各電極面が磁界の磁力線と直交する状態を除外する意味であり、各電極面が磁界の磁力線とまったく平行である状態以外にも、磁力線に対して所定角度をもつ状態をも含む。実用上は、コンデンサ型共振器 300 で発現する負の透磁率の大きさが適用アプリケーションなどの要求を満足できる値であれば、「実質的に平行」とみなすことができる。

[0066] (コイル型共振器)

次に、本実施の形態のメタマテリアルに用いられるもう 1 つの種類の共振器である、コイル型共振器について説明する。コンデンサ型共振器が負の透磁率を発現するものであったのに対し、コイル型共振器は、中心軸が電界方向に対して平行（磁界に対して直角）になるように配置されたとき、負の誘電率を実現できる。また、中心軸が電界方向に対し直角（磁界方向に対して

平行)になるように配置されたコイル型共振器は、負の透磁率を実現できる。

[0067] まず、コイル型共振器を用いて負の誘電率を発現するメタマテリアルの構成を図5を参照して説明する。図5は、コイル型共振器を用いて負の誘電率を発現するメタマテリアルの構成を説明するための図である。

[0068] 図5を参照して、メタマテリアルは、コイル型共振器100と外装部10とを備える。コイル型共振器100は、非磁性体である外装部10により覆われている。コイル型共振器100は、信号線路200と、グランド220との間に配置されている。グランド220は、コイル型共振器100の信号線路200に接する面とは反対側の面にある外装部10の面に配置される。

[0069] 信号線路200には、所定の周波数成分を含む電流が流れる。本実施の形態においては、信号線路200は、ストリップラインであるとする。ただし、信号線路200は、電流を流す導体の一例であって、導体の形態はこれに限られるものではない。

[0070] コイル型共振器100は、金属線を周回したものである。コイル型共振器100の全長(金属線の全長)は、信号線路200を流れる電流の波長の半分程度である。ここでは、信号線路200を流れる電流の周波数はGHz帯であり、コイル型共振器100の長さは、28mmである。

[0071] 図5では、コイル型共振器100として、中心軸110を中心に巻かれている、すなわち、ばね形状を有するものを示した。ただし、コイル型共振器100の形状は、図5に示した、円筒面に沿うように巻かれたものに限られない。例えば、コイル型共振器100は、四角柱に沿って巻かれたような形状であってもよい。あるいは、コイル型共振器100は、球面に沿って巻かれたような形状であってもよい。

[0072] コイル型共振器100は、上述のような長さおよび形状を有していればよい。コイル型共振器100としては、金属線を巻いたコイルなどを利用できる。コイル型共振器100としては、既成のもの(例えば、既成のコイル)を用いてもよいし、専用に作成したものを用いてもよい。

- [0073] 外装部 10 は、コイル型共振器 100 の位置を固定する。外装部 10 としては、テフロン（登録商標）などの樹脂材料が適している。ただし、外装部 10 は、コイル型共振器 100 の位置を固定する支持部材の一例であり、コイル型共振器 100 は、他の部材により固定されていてもよい。
- [0074] コイル型共振器 100 の中心軸 110 は、信号線路 200 を流れる電流が作る電界、より詳しくは、信号線路 200 とグランド 220 との間に生じる電界に対して平行である。すなわち、外装部 10 は、中心軸 110 が電界に平行になるように、コイル型共振器 100 を固定する。言い換えると、コイル型共振器 100 は、電界の勾配に沿って、コイルの両端の電位に差があるように、配置される。
- [0075] 図 5 に示す例では、中心軸 110 を、信号線路 200 からグランド 220 に向かう方向にとっている。すなわち、中心軸 110 は、グランド 220 面に直交し、かつ、信号線路 200 を貫通する。この配置により、中心軸 110 は、信号線路 200 を流れる電流が作る電界に平行（信号線路 200 を流れる電流が作る磁界に垂直）になっている。
- [0076] 信号線路 200 に対して、コイル型共振器 100 は、信号線路 200 を流れる電流が発生する電場の特定の周波数（共振周波数）成分を受けて、共振を生じる。
- [0077] コイル型共振器 100 の電磁的性質を図 6 および図 7 に示す。図 5 に示すメタマテリアルが示す比透磁率および比誘電率をそれぞれ図 6、図 7 に示す。ここで、比誘電率とは真空の誘電率に対する誘電率の比を表し、比透磁率とは真空の透磁率に対する透磁率の比を表わす。図 7 に示すように、図 5 のメタマテリアルは、2.6 GHz 付近で負の誘電率を示す。一方、比透磁率は、図 6 に示すように、常に正である。
- [0078] 以上のとおり、波長の $1/2$ の長さのコイル状の金属線によって、負の誘電率が発現することが分かる。このようにコイル状の金属線を用いたメタマテリアルは、直線状の金属線を用いて負の誘電率を実現するメタマテリアルに比べ、小型にできる。

[0079] 次に、ばね状の金属線を用いて負の透磁率 (μ) を持つメタマテリアルを実現する例について説明する。負の μ を持つメタマテリアルは、図 5 に示したコイル型共振器 100 と同様の長さおよび形状のコイル型共振器 100 を、その中心軸 110 が磁界に平行になるように置くことで実現される。このように配置されたコイル型共振器 100 が、負の透磁率を示すことを、図 8 から図 10 を参照して、以下、説明する。

[0080] 図 8 は、コイル型共振器を用いて負の誘電率を発現するメタマテリアルの構成を説明するための図である。図 8 に示すメタマテリアルは、図 6 に示すコイル型共振器 100 を Y 軸周りに 90 度回転して、コイル型共振器 100 の中心軸が、信号線路 200 を流れる電流により生じる磁界と平行（信号線路 200 を流れる電流が作る電界に垂直）になるように配置したものである。

[0081] 図 8 に示すメタマテリアルが示す比透磁率および比誘電率をそれぞれ図 9、図 10 に示す。図 9 に示すように、図 8 のメタマテリアルは、2.6 GHz 付近で負の透磁率を示す。一方、図 10 に示すように、比誘電率は常に正である。

[0082] このように中心軸方向を変えることにより、同じ構造のコイル型共振器 100 が、負の誘電率を示す場合も、負の透磁率を示す場合もあることが分かる。なお、中心軸方向が磁界方向および電界方向に対して非直交になるように配置されたコイル型共振器 100 は、負の誘電率および透磁率を同時に示す。

[0083] [第 1 の実施の形態]

本発明の第 1 の実施の形態に係るメタマテリアルとして、コイル型共振器と、コンデンサ型共振器とを並べて配置したものを説明する。

[0084] これらの共振器の組み合わせが、左手系メタマテリアルとなる、すなわち、負の透磁率および負の誘電率を同時に発現するためには、各共振器の配置および構造が重要となる。まず、コイル型共振器が負の誘電率を発現し、コンデンサ型共振器が負の透磁率を発現するよう、各共振器を配置しなければ

ならない。さらに、共振器同士が不適切な干渉を起こさないように、共振器の構造にも配慮する必要がある。

[0085] コイル型共振器が負の誘電率を発現するためには、コイル型共振器を、その軸が電界方向（ z 方向とする）に平行となるように配置すればよい。一方、コンデンサ型共振器については、コンデンサ型共振器が負の透磁率を発現するように、その内部極板が、磁界方向に平行、すなわち、 z 方向を法線とする平面（ $x-y$ 平面）に平行となるように配置すればよい。

[0086] 以上の配置の条件に加えて、コンデンサ型共振器は、最外部の 2 枚の内部電極が逆相、すなわち、それぞれの内部電極に蓄えられる電荷の符号が逆、という条件を満たすことが好ましい。これは、コンデンサ型共振器とコイル型共振器とが干渉することを避けるためである。以下、図 1 1 から図 1 6 を参照して、このことについて、さらに詳しく説明する。

[0087] 図 1 1 は、最外部の内部電極が直接接続されているコンデンサ型共振器とコイル型共振器とを示す図である。これらの共振器は、近接して配置されている。ただし、コイル型共振器およびコンデンサ型共振器はお互いに電氣的に接触していない。コイル型共振器は、電界中に置かれているので、両端に異なる符号の電荷が現れる。図 1 1 においては、上端に正の電荷（図 1 1 の $+$ ）を、下端に負の電荷（図 1 1 の $-$ ）が現れている状況を示している。反共振の周波数では、両端の電荷の符号が反転し、逆向きの電界ベクトルが発生し、負の誘電率が発現する。

[0088] 一方、コンデンサ型共振器の図 1 1 における最上面の電極と最下面の電極とは、外部電極によって最上面の電極により電氣的に直接接続されているので、同符号の電荷を蓄えることになる。図 1 1 では、最上面の電極および最下面の電極が、負の電荷を帯びている場合を示している。

[0089] 図 1 1 に示した状況では、近接する最下面の電極とコイル型共振器の下端とに蓄えられた負の電荷同士が干渉する。そのため、負の誘電率と負の透磁率とが、同時に発生しない。すなわち、負の誘電率の反共振周波数と、負の透磁率の反共振周波数とが、一致することがない。

- [0090] このことを図 1 2 および図 1 3 を用いて具体的に説明する。図 1 2 は、図 1 1 に示す共振器群の比誘電率を示す図である。図 1 3 は、図 1 1 に示す共振器群の比透磁率を示す図である。
- [0091] 図 1 2 には、コイル型共振器の形状（長さなど）を変化させたときの、共振器群全体の比誘電率特性を示している。コイル型共振器の形状変化にしたがい、誘電率の共振周波数が変化し、したがって、負の誘電率が生じる周波数が変化する。
- [0092] 図 1 3 には、コイル型共振器の形状（長さなど）を変化させたときの、共振器群全体の比透磁率特性を示している。コイル型共振器の形状変化にしたがい、透磁率の共振周波数が変化し、したがって、負の透磁率が生じる周波数が変化する。コンデンサ型共振器の形状を変化させていないのにもかかわらず透磁率の共振周波数が変化するのとは、各共振器の端部の電荷の干渉によるものである。
- [0093] このようにコイル型共振器の形状を変化させると、負の誘電率が生じる帯域と、負の透磁率が生じる帯域との双方が変化する。そのために、負の誘電率および負の透磁率を同じ周波数で発現させることができない。負の誘電率（透磁率）を示す周波数を増加させていくと、負の透磁率（誘電率）を示す周波数も増加してしまう。逆に、負の誘電率（透磁率）を示す周波数を減少させていくと、負の透磁率（誘電率）を示す周波数も減少してしまう。このように、透磁率（誘電率）の共振周波数が、誘電率（透磁率）の共振周波数から離れてしまう現象が生じるので、負の誘電率および負の透磁率を同じ周波数で発現するように共振器を設計することが難しい。
- [0094] そこで、本実施の形態に係るメタマテリアルにおいては、図 1 4 のように 2 種類の共振器を配置する。本実施の形態に係るメタマテリアルは、コイル型共振器 1 0 0 とコンデンサ型共振器 3 0 0 と外装部 1 0（図 1 4 には図示せず）とを備える。図 1 1 に示す場合と同様、外装部 1 0 は、コンデンサ型共振器とコイル型共振器とを、近接する位置に固定する。なお、先の説明と同様、外装部 1 0 のかわりに他の支持部材を用いてもかまわない。

- [0095] コイル型共振器は、図 1 1 の場合と同様、電界中に置かれているので、両端に異なる符号の電荷が現れる。図 1 4 においても、図 1 1 と同様、上端に正の電荷（図 1 4 の＋）を、下端に負の電荷（図 1 4 の－）が現れている状況を示している。反共振の周波数では、両端の電荷の符号が反転し、逆向きの電界ベクトルが発生し、負の誘電率が発現する。
- [0096] 一方、コンデンサ型共振器は、図 1 1 に示すものと異なる。コンデンサ型共振器の図 1 4 における最上面の電極と最下面の電極とは、外部電極によって電氣的に直接接続されておらず、電気容量を介して接続されている。そのため、最上面の電極と最下面の電極とは、逆相になる（逆符号の電荷を蓄える）。図 1 4 では、最上面の電極が負の電荷を、最下面の電極が正の電荷を帯びている場合を示している。
- [0097] 図 1 4 に示した状況では、図 1 1 に示した状況と異なり、近接する最下面（あるいは最上面）の電極とコイル型共振器の下端（あるいは上端）とに蓄えられた電荷の干渉を抑えることができる。したがって、負の誘電率と負の透磁率とを、同時に発生することができる。すなわち、負の誘電率の反共振周波数と、負の透磁率の反共振周波数とを一致させることができる。
- [0098] このことを図 1 5 および図 1 6 を参照して説明する。図 1 5 には、コイル型共振器の形状を変化させたときの、共振器群全体の比誘電率特性を示している。コイル型共振器の形状変化にしたがい、誘電率の共振周波数が変化し、したがって、負の誘電率が生じる周波数が変化する。
- [0099] 図 1 6 には、コイル型共振器の形状を変化させたときの、共振器群全体の比透磁率特性を示している。コイル型共振器の形状を変化させても、透磁率の共振周波数はほぼ変化しない。これは、各共振器の端部の電荷の干渉が抑えられており、コンデンサ型共振器の共振特性が変化しないためである。
- [0100] 以上のように、本実施の形態に係るメタマテリアルは、負の誘電率と負の透磁率とを同時に発生でき、左手系となる。
- [0101] なお、図 1 4 では、1 つのコイル型共振器と 1 つのコンデンサ型共振器とのセットを示したが、メタマテリアルは、このセットを複数備えていてもよ

い。この場合、例えば、セットを 1 次元のあるいは 2 次元的に連続する位置に、支持部材で固定する。

[0102] [第 2 の実施の形態]

第 1 の実施の形態では、負の ε をもつ共振器としてコイル型共振器を用いる例を示した。しかしながら、本発明においては、負の ε をもつ共振器として、コイル型共振器に限られず、電磁波に共振する略 $\lambda/2$ の長さの線路を含む共振器を用いることができる。

[0103] また、負の ε をもつ共振器と負の μ を持つ共振器（第 1 の実施の形態ではコンデンサ型共振器）は、第 1 の実施の形態で説明したように、必ずしも横に並べる必要はない。

[0104] 第 2 の実施の形態では、負の ε をもつ共振器として、 $\lambda/2$ 長の線路と線路の両端に接続した 2 枚の導電板とを含む共振器を用い、負の ε を持つ共振器と、負の μ をもつコンデンサ型共振器とを共通の空間に組み合わせる構成について説明する。

[0105] 第 2 の実施の形態に係るメタマテリアルの構成の概略を図 17 および図 18 を用いて説明する。図 18 が、第 2 の実施の形態のメタマテリアルの概略図である。図 17 は、第 2 の実施の形態のメタマテリアルにおいて、コンデンサ型共振器の構成を変えたものである。

[0106] 図 17、図 18 のいずれにおいても、コンデンサ型共振器の 2 つの最外電極の外部に、それぞれの最外電極と対向するように、2 つの導電板が配置される。また、導電板は、巻かれた線路で接続されている。線路は、その長さが共振波長の略 $\lambda/2$ になるように設計される。

[0107] 線路は、巻かれているため、小型のスペースでその長さを確保することができる。ただし、共振波長によっては、あるいは、小型化が必要ない場合には、線路は巻かれていなくてもよい。また、図 17、図 18 では、コイル状に巻かれた線路を示したが、小型化は、線路を巻く方法に限られず、線路を屈曲させることにより実現される。例えば、ミアンダ線路などを用いてもよい。

- [0108] 各導電板は、線路との間の容量を大きくし、共振周波数における負の誘電率の絶対値を大きくする。また、容量による波長短縮効果により、実質的な $\lambda/2$ の長さを短かくできる。なお、求められる負の誘電率の値によっては、各導電板は設置しなくてもよい。また、設計上の理由等により、線路の一方の端部のみに導電板を接続してもよい。
- [0109] 図17と図18の差異は、図17では、コンデンサ型共振器の2つの最外電極が直接接続されているのに対し、図18では、2つの最外電極が直接接続されず、逆相である点にある。図18に示す本実施の形態に係るメタマテリアルは、第1の実施の形態に係るメタマテリアルと同様、電荷の干渉を抑えられるので、負の誘電率と負の透磁率とを同時に発現することができる。図17に示す構造では、負の誘電率と負の透磁率とを同時に発現することが困難である。
- [0110] 図18で概略を示した本実施の形態に係るメタマテリアルの具体的な構成を図19に示す。図19を参照して、本実施の形態に係るメタマテリアルは、負の誘電率用の共振器および負の透磁率用の共振器を基板材料内に作りこんだユニット600を複数備える。このユニットは、多層基板のような技術を使って、1チップ内に、負の誘電率用の共振器および負の透磁率用の共振器を作りこんだものである。この構成では、基板材料が支持部材に相当する。
- [0111] 各ユニット600は、信号線路200の直下に、かつ、信号線路200とグラウンド220との間に配置されている。また、各ユニット600は、空間的に連続的に配置される。図19では、4つのユニット600を、信号線路200に沿った方向で配置した例を示しているが、ユニット600の配置はこれに限られるものではない。1次元状に配置された共振器を、同一平面内に並べて、平面状のメタマテリアルを構成することも可能である。さらに、平面状のメタマテリアルを重ねて、立体的なメタマテリアルを構成することも可能である。
- [0112] ユニット600の構造を図20および図21を参照して説明する。図20

は、ユニット600の斜視図である。図21は、ユニット600をy方向から見た側面図である。

[0113] 図20に示すように、ユニット600は、最上部電極610aと、最下部電極610bと、第1の内部電極622と、第2の内部電極624と、第3の内部電極632と、第4の内部電極634と、線路640とを備える。また、図21に示すように、ユニット600は、さらに、第1の外部電極650と、第2の外部電極660とを備える。

[0114] 最上部電極610aは、第1の内部電極622、第2の内部電極624、第3の内部電極632、第4の内部電極634よりも上に（z座標が大きな位置に）配置される。最下部電極610bは、第1の内部電極622、第2の内部電極624、第3の内部電極632、第4の内部電極634よりも下に（z座標が小さな位置に）配置される。最上部電極610aは、-z方向に伸びた側面部分を有する。最下部電極610bは、+z方向に伸びた側面部分を有する。また、最上部電極610aは、信号線路200の真下に配置される。

[0115] 線路640は、最上部電極610aの-z方向に伸びた側面部分と、最下部電極610bの+z方向に伸びた側面部分とを接続する。線路640は、最上部電極610aおよび最下部電極610bと、各側面部分とをつなぐことで、負の誘電率を実現する $\lambda/2$ 線路の一部として機能する。

[0116] 線路640と各側面部分により構成される線路の長さは、共振周波数に応じて設計される。ここでは、 $\lambda/2$ の長さをとるため、線路640を、中央層に引いたミアンダ線路としている。ただし、線路640の形状はこれに限られるわけではなく、例えば、ヘリカルでもスパイラルでも構わない。

[0117] なお、最上部電極610aおよび最下部電極610bは、負の誘電率の絶対値を大きくするとともに、共振波長を短縮するために備えられているものである。共振波長が短縮されるのは、最上部電極610aと信号線路との容量による波長短縮効果による。最上部電極610aおよび最下部電極610bは、要求される負の誘電率や共振波長により省略することも可能である。

[0118] 第1の内部電極622および第2の内部電極624は、近接して対向して配置される。また、第3の内部電極632および第4の内部電極634は、近接して対向して配置される。第1の内部電極622および第2の内部電極624の対（上部電極対とよぶ）は、最上部電極610aの側に配置される。第3の内部電極632および第4の内部電極634の対（下部電極対とよぶ）は、最下部電極610bの側に配置される。各々の内部電極面は、信号線路200を流れる電流により生じる磁界方向と平行（電界方向と垂直）に配置される。

[0119] 第1の外部電極650は、図21に示すとおり、第1の内部電極622と第3の内部電極632とを接続する。第2の外部電極660は、図21に示すとおり、第2の内部電極624と第4の内部電極634とを接続する。各々の外部電極面は、信号線路200を流れる電流により生じる磁界方向と平行（電界方向と垂直）に配置される。

[0120] 上述の線路640と最上部電極610aと最下部電極610bとは、負の誘電率を実現する。第1～第4の内部電極622、624、632、634、ならびに第1の外部電極650および第2の外部電極660は、上下2枚ずつの電極をもつコンデンサ型共振器を形成し、負の透磁率を実現する。負の誘電率を実現する $\lambda/2$ 線路および負の透磁率を実現するコンデンサ型共振器は、当然ながら、互いに電氣的に直接接続されていない。また、 $\lambda/2$ 線路およびコンデンサ型共振器は、信号線路200、グラウンド220に対しても電氣的に接続されておらず、浮いた状態となっている。また、各ユニット600も、お互いに接触していない。

[0121] 以上説明したようなユニット600を空間的に連続に配置することにより、本実施の形態に係るメタマテリアルは、左手系メタマテリアルとして機能する。なお、ユニット600の配置の仕方は、上述のものに限られない。例えば、平面内に2次元状に配置してもよい。

[0122] 本実施の形態に係るメタマテリアルは、負の誘電率用の共振器および負の透磁率用の共振器をユニット内に作りこむことで作成されるため、工業的な

製造が容易である。

[0123] [第3の実施の形態]

第3の実施の形態では、第2の実施の形態におけるコンデンサ型共振器のかわりにスプリットリング型の共振器を用いたメタマテリアルについて説明する。

[0124] 第3の実施の形態に係るメタマテリアルの1つのユニット700の構造を図22および図23に示す。図22は、ユニット700の斜視図である。図23は、ユニット700の側面図である。

[0125] 図22を参照して、ユニット700は、最上部電極710aと、最下部電極710bと、第1の内部電極722と、第2の内部電極724aと、第3の内部電極724bと、第4の内部電極730と、線路740を備える。図23を参照して、ユニット700は、さらに、第1の外部電極750および第2の外部電極760を備える。

[0126] 最上部電極710aおよび最下部電極710bは、第2の実施の形態に係る最上部電極610aおよび最下部電極610bと同様の構造をもち、各内部電極よりも外部に配置される。

[0127] 線路740は、最上部電極710aおよび最下部電極710bを接続する。線路740は、第2の実施の形態の線路640と同様、 $\lambda/2$ 線路の一部として機能し、負の誘電率を実現する。なお、本実施の形態では、線路740として、水平面内を1周半するヘリカル構造のものをを用いている。

[0128] 第2の内部電極724aおよび第3の内部電極724bは、同一面内で、離して配置される。第1の外部電極750は、第2の内部電極724aと第4の内部電極730とを接続する。第2の外部電極760は、第3の内部電極724bと第4の内部電極730とを接続する。つまり、第2の内部電極724a、第1の外部電極750、第3の内部電極724b、第2の外部電極760、第3の内部電極730は、スプリットリング型の共振器と同様の構造を有する。したがって、これらの電極は、負の透磁率を発現する。

[0129] 第1の内部電極722は、第2の内部電極724aおよび第3の内部電極

7 2 4 b と対向して、第 2 の内部電極 7 2 4 a および第 3 の内部電極 7 2 4 b とは電氣的に接触しないように配置される。第 1 の内部電極 7 2 2 は、第 2 の内部電極 7 2 4 a と第 3 の内部電極 7 2 4 b との間の切れ目部分の静電容量を補い、共振周波数を下げる役割を果たす。

[0130] [第 4 の実施の形態]

1 チップ内に、負の誘電率用の共振器および負の透磁率用の共振器を作りこむメタマテリアルの他の例として、周辺に配置したコイルの中に負の透磁率用の共振器を配置したものを作ることにもできる。第 4 の実施の形態では、そのようなメタマテリアルの一例を示す。

[0131] 第 4 の実施の形態に係るメタマテリアルの 1 つのユニット 8 0 0 の構造を図 2 4、図 2 5、図 2 6 を参照しつつ説明する。図 2 4 は、ユニット 8 0 0 の斜視図である。図 2 5 は、ユニット 8 0 0 の側面図である。図 2 6 は、ユニット 8 0 0 の上面図である。

[0132] ユニット 8 0 0 は、コイル状導体 8 1 0 と、第 1 の電極 8 2 2 と、第 2 の電極 8 2 4 と、第 3 の電極 8 3 2 と、第 4 の電極 8 3 4 と、第 1 のビア 8 4 2 と、第 2 のビア 8 4 4 とを備える。

[0133] コイル状導体 8 1 0 は、ユニット 8 0 0 の表面に近い領域を複数（ここに示す例では、8 回）周回する。コイル状導体 8 1 0 は、第 1 の電極 8 2 2、第 2 の電極 8 2 4、第 3 の電極 8 3 2、第 4 の電極 8 3 4、第 1 のビア 8 4 2、第 2 のビア 8 4 4 を囲むように配置される。

[0134] 第 1 の電極 8 2 2 および第 2 の電極 8 2 4 は、近接して対向して配置される。また、第 1 の電極 8 2 2 および第 2 の電極 8 2 4 は、それぞれの水平面内の位置を互いにずらして配置される。

[0135] 第 3 の電極 8 3 2 および第 4 の電極 8 3 4 は、近接して対向して配置される。また、第 3 の電極 8 3 2 および第 4 の電極 8 3 4 は、それぞれの水平面内の位置を互いにずらして配置される。

[0136] 第 1 の電極 8 2 2 と第 2 の電極 8 2 4 の対は、ユニット 8 0 0 内の上部に形成される。第 3 の電極 8 3 2 と第 4 の電極 8 3 4 の対は、ユニット 8 0 0

内の下部に形成される。なお、ここでの上部、下部とは、図 2 4 および図 2 5 に即したものである。

[0137] 第 1 のビア 8 4 2 は、第 1 の電極 8 2 2 と第 3 の電極 8 3 2 とを接続する。また、第 2 のビア 8 4 4 は、第 2 の電極 8 2 4 と第 4 の電極 8 3 4 とを接続する。

[0138] 以上の構造により、第 1 ～第 4 の電極 8 2 2, 8 2 4, 8 3 2, 8 3 4 ならびに第 1 のビア 8 4 2 および第 2 のビア 8 4 4 は、コンデンサ型の共振器として機能し、負の透磁率を発現する。

[0139] 本実施の形態の構成によれば、第 2 および第 3 の実施の形態に比べ、ユニットの大きさを保ちつつ、線路（コイル）の長さを長く取れる。そのため、低い共振周波数を得ることができる。

[0140] [第 5 の実施の形態]

第 3 の実施の形態や、第 4 の実施の形態に係るメタマテリアルを作成するためのユニット（メタマテリアルユニット）では、負の透磁率用の共振器は、内部電極を接続するための外部電極を有していた。これに対し、本実施の形態に係る負の透磁率用の共振器では、内部電極を接続するための導電部が、ビアにより実現される。

[0141] 第 5 の実施の形態に係るメタマテリアルの 1 つのユニット 9 0 0 の構造を図 2 7 から図 2 9 に示す。図 2 7 は、ユニット 9 0 0 の斜視図である。図 2 8 は、ユニット 9 0 0 の正面図である。図 2 9 は、ユニット 9 0 0 の側面図である。

[0142] 図 2 7 から図 2 9 を参照して、ユニット 9 0 0 は、最上部電極 9 1 0 a と、第 1 のビア 9 1 2 a と、第 2 のビア 9 1 2 b と、最下部電極 9 1 0 b と、第 1 の内部電極 9 2 2 と、第 2 の内部電極 9 2 4 a と、第 3 の内部電極 9 2 4 b と、第 4 の内部電極 9 3 0 と、線路 9 4 0 と、第 3 のビア 9 5 0 と、第 4 のビア 9 6 0 とを備える。

[0143] 第 1 のビア 9 1 2 a、線路 9 4 0 および第 2 のビア 9 1 2 b は、最上部電極 9 1 0 a および最下部電極 9 1 0 b を接続する。

- [0144] 第1のビア912a、線路940および第2のビア912bの全長は、共振波長の略 $1/2$ の長さである。第1のビア912a、線路940および第2のビア912bは、 $\lambda/2$ 線路の一部として機能し、負の誘電率を実現する。なお、線路940の形状は、図示したミアンダ線路に限られず、例えば、ヘリカルでもスパイラルでも構わない。
- [0145] 最上部電極910aおよび最下部電極910bは、図21に示す最上部電極610aおよび最下部電極610bと同様に、負の誘電率の絶対値を大きくするとともに、共振波長を短縮する機能を発揮する。ただし、最上部電極910aおよび最下部電極910bは、省略することも可能である。
- [0146] なお、第1のビア912aの外部端部（線路940に接続されていないほうの端部）および第2のビア912bの外部端部（線路940に接続されていないほうの端部）は、最上部電極910aおよび最下部電極910bの有無にかかわらず、 $\lambda/2$ 線路の両端に電荷がたまるように、負の透磁率用の共振器の外部にあることが好ましい。
- [0147] 第3のビア950は、第2の内部電極924aと第3の内部電極930とを接続する。第4のビア960は、第3の内部電極924bと第3の内部電極930とを接続する。第2の内部電極924a、第3のビア950、第3の内部電極924b、第4のビア960、第3の内部電極930は、スプリットリング型の共振器と同様の構造を有し、負の透磁率を発現する共振器として機能する。第1の内部電極922は、第4の実施の形態の第1の内部電極722と同様、第2の内部電極924aと第3の内部電極924bとの間の切れ目部分の静電容量を補い、共振周波数を下げる役割を果たす。
- [0148] 本実施の形態に係るユニット900は、外部電極を必要としない。したがって、このユニットは、製造が容易である。外部電極を備えるユニットを作成する場合、通常、外部電極以外の部分を積層形成したあと、外部電極を積層形成した部品に貼り付ける。一方、本実施の形態に係るユニット900は、積層形成のみで、作成することができる。
- [0149] また、ユニット900は、複数のユニットを並べたメタマテリアルの作成

に好適である。外部電極をもつユニット同士が接触してしまうと、一方のユニットの外部電極に流れる電流が、他方のユニットの外部電極にも流れることになり、適切に電磁波の共振が起きなくなる。したがって、ユニット同士を離して配置する、あるいは、外部電極を絶縁体で覆うなどのユニット加工を行なう必要があった。本実施の形態に係るユニット 900 は、互いに隣接させて配置できるので、メタマテリアルをさらに小さくできる。また、加工が不要なため、ユニット 900 を用いたメタマテリアルの作成は、容易である。

[0150] ユニット 900 の作成方法を、図 30 を参照して説明しておく。図 30 は、第 6 の実施の形態に係るユニット 900 の作成方法を説明するための図である。

[0151] 図 30 を参照して、ユニット 900 は、複数の層を順次重ねて作成される。図 30 には、ユニット 900 の主要な構成要素を含む層 L1～L6 を示している。各層の材料（基板材料）は、樹脂などの絶縁性材料である。いくつかの層の基板材料上には金属部品が形成されている。また、いくつかの層の基板材料には、基板材料を貫通するようにビアが形成されている。なお、図 30 に示しているのは、層 L1～L6 の一部である。実際には、層 L1～L6 は、図 30 における横方向にさらにのびている。

[0152] 層 L1～L6 には、それぞれ、周期的に配置された複数の（図 30 では 3×3 の）ユニットの構成部品が配置されている。層 L1 は、複数の最下部電極 910b を含む。層 L2 は、複数の第 4 の内部電極 930 を含む。層 L3 は、複数の線路 940 を含む。層 L4 は、第 2 の内部電極 924a と第 3 の内部電極 924b との対を複数含む。層 L5 は、複数の第 1 の内部電極 922 を含む。層 L6 は、複数の最上部電極 910a を含む。

[0153] また、各層のうち、第 1 のビア 912a、第 2 のビア 912b、第 3 のビア 950、および、第 4 のビア 960 に相当する領域には、ビアが形成されている。図 27 中では、ビアを垂直方向の細線にて示している。

[0154] 各層を積み重ねて積層体を作った後、積層体を切断して、ユニット 900

を作成する。図30に示す部分からは、9つのユニット900ができる。なお、積層体を1つ1つのユニット900にばらすのではなく、いくつかのユニット900をひとまとまりにして積層体から切り出してもよい。

[0155] なお、本実施の形態では、第3の実施の形態で示したスプリット型共振器の導電部をビアとする構造を示したが、他のタイプの共振器の導電部をビアとすることもできる。例えば、第2の実施の形態で示した多層コンデンサ型共振器の外部電極をビアにしてもよい。

[0156] [第6の実施の形態]

第2、第3、第5の実施の形態に係るメタマテリアルユニットでは、負の誘電率を発現するための線路を、LC共振器（具体的には、多層コンデンサ型共振器およびスプリット型共振器）の中に形成していた。しかしながら、線路は、必ずしも、LC共振器の内部になくてもよい。第6の実施の形態では、 $\lambda/2$ 線路を、LC共振器の外部に配置したユニット1000について説明する。

[0157] 第6の実施の形態に係るユニット1000の構造を図31に示す。図31は、第6の実施の形態に係るユニット1000の構造を示す図である。

[0158] 図31を参照して、ユニット1000は、最上部電極1010aと、第1のビア1012と、最下部電極1010bと、第1の内部電極1022と、第2の内部電極1024aと、第3の内部電極1024bと、第4の内部電極1030と、第2のビア1050と、第3のビア1060とを備える。

[0159] 第1のビア1012は、最上部電極1010aおよび最下部電極1010bを接続する。第1のビア1012の長さは、共振波長の略 $1/2$ である。したがって、第1のビア1012は、共振波長の電磁波に対して負の誘電率を発現する。

[0160] なお、本実施の形態では、最上部電極1010aおよび最下部電極1010bが、直線の第1のビア1012で接続されている。しかしながら、図27に示す構造のように、複数のビアと、水平面内の線路とを組み合わせ、 $\lambda/2$ 線路を実現してもよい。ユニットの小型化のためには、この場合の線

路は、他の実施の形態で説明したように、ミアンダ線路など屈曲したものであることが好ましい。

[0161] 最上部電極 1010a および最下部電極 1010b は、第 5 の実施の形態における最上部電極 910a および最下部電極 910b と同様に、負の誘電率の絶対値を大きくするとともに共振周波数を短縮する機能を発揮する。

[0162] 第 2 の内部電極 1024a、第 1 のビア 1050、第 3 の内部電極 1024b、第 3 の内部電極 1030、第 2 のビア 1060、および、第 3 の内部電極 1024b は、スプリットリング型の共振器と同様の構造を有し、負の透磁率を発現する共振器として機能する。第 1 の内部電極 1022 は、第 4 の実施の形態の第 1 の内部電極 722 と同様、第 2 の内部電極 1024a と第 3 の内部電極 1024b との間の切れ目部分の静電容量を補い、共振周波数を下げる役割を果たす。

[0163] 第 1 の内部電極 1022、第 2 の内部電極 1024a、第 1 のビア 1050、第 3 の内部電極 1024b、第 2 のビア 1060、および、第 3 の内部電極 1030 は、最上部電極 1010a および最下部電極 1010b に挟まれる空間内に配置される。つまり、本実施の形態に係るユニットでは、負の誘電率を発現する共振器の中に、負の透磁率を発現する共振器が形成されている。

[0164] 本実施の形態に係るユニット 1000 は、第 5 の実施の形態に係るユニット 900 と同様に、ビアによって、内部電極を接続しているため、容易に作成できる。また、ユニット 1000 は、ユニットの表面に電極を有さないため、メタマテリアルの作成に好適である。

[0165] [補足]

メタマテリアルが、ある共振周波数において、負の誘電率と負の透磁率とを同時に発現するための、共振器の位置関係について、まとめておく。ここでは、第 5 の実施の形態で説明したような、スプリットリング型共振器と、半波長共振器とを組み合わせたメタマテリアル（あるいはメタマテリアルユニット）を例にとって、説明する。

[0166] 図32は、スプリットリング型共振器1210および半波長共振器1220を組み合わせたメタマテリアルと、信号線路200と、グランド220との位置関係を模式的に示した図である。このメタマテリアルは、第5の実施の形態で説明したとおり、負の透磁率と負の誘電率とを同時に発現する。これは、メタマテリアルが電磁界に共振する際に電界が集中する領域と、磁界が集中する領域とが重複しないためである。

[0167] 電界が集中する領域について図33を参照して説明する。図33は、図32に示すメタマテリアルが、負の誘電率を示すときの、電荷および電界の様子を模式的に示す図である。図33を参照して、半波長共振器1220は、第1の最外電極1222と、第2の最外電極1224と、線路1226とを含む。第1の最外電極1222は、信号線路200側に配置されている。第2の最外電極1224は、グランド220側に配置されている。

[0168] 図33には、信号線路200に電流が流れ、信号線路200からグランド220に向かう電界が発生している状況を示している。共振周波数をもつ電流が流れると、第1の最外電極1222には負電荷がたまり、第2の最外電極1224には、正電荷がたまる。そして、第1の最外電極1222と信号線路200との間の領域1230、ならびに、第2の最外電極1224とグランド220との間の領域1240に大きな電界が発生する。

[0169] つまり、半波長共振により電荷がたまる半波長共振器1220の端部と、信号線路200あるいはグランド220とに挟まれる領域が、共振による電界が集中する領域である。なお、ここでは、半波長線路の両端に接続された電極が、半波長共振器1220の端部に相当する。しかし、半波長共振器1220が電極を含まない場合、半波長線路の両端が半波長共振器1220の端部に相当する。

[0170] 磁界が集中する領域について図34を参照して説明する。図34は、図32に示すメタマテリアルが、負の透磁率を示すときの、磁界の様子を模式的に示す図である。図34を参照して、スプリットリング型共振器1210は、第1の導体1212と、第2の導体1214とを含む。

- [0171] 図34には、信号線路200に電流が流れ、スプリットリング型共振器1210から磁界が発生している状況を示している。共振周波数をもつ電流が流れると、電流とスプリットリング型共振器1210がLC共振し、第2の導体1214の内部の領域1250に、信号線路200を流れる電流により発生する磁界を打ち消す、大きな磁界が発生する。発生する磁界は、主に紙面に直交する。
- [0172] つまり、LC共振の生じるループの内部領域が、共振による磁界が集中する領域である。言い換えると、キャパシタンスを形成する電極対と、インダクタンスを形成する導電部とに囲まれた空間が、共振による磁界が集中する領域である。
- [0173] 図33と図34とを比較して、電界が集中する領域（領域1230および領域1240）と、磁界が集中する領域（領域1250）とは互いに離れている。そのため、半波長共振器1220の共振により発生する電界は、スプリットリング型共振器1210の共振に影響をほぼ及ぼさない。逆もまた同様である。したがって、図32に示したメタマテリアルは、負の誘電率と負の透磁率とを同時に発現することができる。図32に示す構造をもつメタマテリアルは、誘電率共振により発生する電界が集中する領域とは異なる領域に、透磁率共振により発生する磁界が集中する。
- [0174] 比較のため、スプリットリング型共振器と、半波長共振器との位置関係を変更したメタマテリアルについて、図35から図37を参照して説明する。
- [0175] 図35は、図34のメタマテリアルとは共振器の配置が異なるメタマテリアルと、信号線路200と、グランド220との位置関係を模式的に示した図である。
- [0176] 図35に示すメタマテリアルは、スプリットリング型共振器1310および半波長共振器1320を備える。スプリットリング型の共振器1310は、第1の導体1312および第2の導体1314を含む。半波長共振器1320は、全体が、第2の導体1314の中に配置されている。
- [0177] このメタマテリアルでは、メタマテリアルが電磁界に共振する際に電界が

集中する領域と、磁界が集中する領域とに重なりがある。そのため、負の透磁率と負の誘電率とを同時に発現することがやや難しくなる。

[0178] 電界が集中する領域を図 3 6 に示す。図 3 6 は、図 3 5 に示すメタマテリアルが、負の誘電率を示すときの電界の集中する領域を説明するための図である。図 3 6 を参照して、半波長共振器 1 3 2 0 は、第 1 の最外電極 1 3 2 2 と、第 2 の最外電極 1 3 2 4 と、線路 1 3 2 6 とを含む。第 1 の最外電極 1 3 2 2 は、信号線路 2 0 0 側に配置されている。第 2 の最外電極 1 3 4 4 は、グランド 2 2 0 側に配置されている。

[0179] 負の誘電率の発生時には、第 1 の最外電極 1 3 2 2 と信号線路 2 0 0 との間の領域 1 3 3 0、ならびに、第 2 の最外電極 1 3 2 4 とグランド 2 2 0 との間の領域 1 3 4 0 に大きな電界が発生する。

[0180] 磁界が集中する領域について図 3 7 を参照して説明する。図 3 7 は、図 3 5 に示すメタマテリアルが、負の透磁率を示すときの磁界の集中する領域を説明するための図である。負の透磁率の発現時には、第 2 の導体 1 3 1 4 の内部の領域 1 3 5 0 に、信号線路 2 0 0 を流れる電流により発生する磁界を打ち消す方向の大きな磁界が発生する。

[0181] 図 3 6 と図 3 7 とを比較して、電界が集中する領域（領域 1 3 3 0 および領域 1 3 4 0）の一部と、磁界が集中する領域（領域 1 3 5 0）の一部とは重複する。そのため、半波長共振器 1 2 2 0 の共振により発生する電界が、スプリットリング型共振器 1 2 1 0 の共振に影響を及ぼす。逆もまた同様である。したがって、図 3 5 に示したメタマテリアルは、負の誘電率と負の透磁率とを同時に発現することがやや難しくなる。

[0182] なお、以上の説明は、他の種類の共振器をもつメタマテリアルにもあてはまる。例えば、スプリット型共振器を多層コンデンサ型共振器に替えたメタマテリアルについても、以上の説明はあてはまる。

[0183] ただし、多層コンデンサ型共振器を用いる場合には、第 1 の実施の形態や第 2 の実施の形態で説明したように、同極性の電荷が、干渉であることが好ましい。つまり、同極性の電荷が、互いの発現に影響しない程度に離れて

発生するように、共振器が構成されていることが好ましい。具体的には、静電容量を形成する複数の電極のうち、最も外部にある２つの最外電極の極性が逆であることが好ましい。

[0184] [第７の実施の形態]

第１の実施の形態から第６の実施の形態までにおいては、メタマテリアル単体について説明した。第７の実施の形態では、メタマテリアルを用いた電気部品である方向性結合器２１００について説明する。

[0185] 第７の実施の形態に係るメタマテリアルを用いた方向性結合器２１００の構造を図３８から図４１に示す。図３８は、方向性結合器２１００の斜視図である。図３９は、方向性結合器２１００の正面図である。図４０は、方向性結合器２１００の側面図である。図４１は、方向性結合器２１００の平面図である。

[0186] 図３８から図４１を参照して、方向性結合器２１００は、第１の伝送線路２１８０と、第２の伝送線路２１９０と、メタマテリアル部分とを含む。第１の伝送線路２１８０は、第１の伝送線路２１８０_a、_b、_cが順に電氣的に接続されて構成される。第２の伝送線路２１９０は、第２の伝送線路２１９０_a、_b、_cが順に電氣的に接続されて構成される。

[0187] 第１の伝送線路２１８０_bおよび第２の伝送線路２１９０_bは、方向性結合器２１００の基板への取付面に対するメタマテリアル部分を挟んだ反対側の面（メタマテリアル部分に対して z 軸正方向の面、本実施の形態においては便宜的に「メタマテリアル上面」という）に、並行するように配置される。

[0188] 第１の伝送線路２１８０_aは、方向性結合器２１００を基板へ取付けるときに、方向性結合器２１００へ入力電流を入力するための基板上の線路と電氣的に接続可能なように、メタマテリアル部分に対して y 軸負方向の側面に配置される。

[0189] 第１の伝送線路２１９０_cは、方向性結合器２１００を基板へ取付けるときに、方向性結合器２１００から通過電流を出力するための基板上の線路と

電氣的に接続可能なように、メタマテリアル部分に対して y 軸正方向の側面に配置される。

[0190] これにより、入力電流を入力するための基板上の線路から入力された入力電流は、第 1 の伝送線路 2 1 8 0 a、第 1 の伝送線路 2 1 8 0 b、第 1 の伝送線路 2 1 8 0 c の順に、方向性結合器 2 1 0 0 を通過し、通過電流を出力するための基板上の線路へ出力される。

[0191] 第 2 の伝送線路 2 1 9 0 a は、方向性結合器 2 1 0 0 を基板へ取付けるときに、方向性結合器 2 1 0 0 からバックワード結合の出力電流を出力するための基板上の線路と電氣的に接続可能なように、メタマテリアル部分に対して y 軸負方向の側面に、第 1 の伝送線路 2 1 8 0 a と並行して配置される。

[0192] 第 2 の伝送線路 2 1 8 0 c は、方向性結合器 2 1 0 0 を基板へ取付けるときに、方向性結合器 2 1 0 0 からフォワード結合の出力電流を出力するための基板上の線路と電氣的に接続可能なように、メタマテリアル部分に対して y 軸正方向の側面に、第 1 の伝送線路 2 1 8 0 c と並行して配置される。

[0193] これにより、バックワード結合の出力電流は、第 2 の伝送線路 2 1 9 0 b、第 2 の伝送線路 2 1 9 0 a の順に、バックワード結合の出力電流を出力するための基板上の線路へ出力される。フォワード結合の出力電流は、第 2 の伝送線路 2 1 9 0 b、第 2 の伝送線路 2 1 9 0 c の順に、フォワード結合の出力電流を出力するための基板上の線路へ出力される。

[0194] メタマテリアル部分は、第 5 の実施の形態で説明したメタマテリアルのユニット 9 0 0 の構造と基本的に同様である。メタマテリアル部分は、最上部電極 2 1 1 0 a と、第 1 のビア 2 1 1 2 a と、第 2 のビア 2 1 1 2 b と、最下部電極 2 1 1 0 b と、第 1 の内部電極 2 1 2 2 と、第 2 の内部電極 2 1 2 4 a と、第 3 の内部電極 2 1 2 4 b と、第 4 の内部電極 2 1 3 0 と、線路 2 1 4 0 と、第 3 のビア 2 1 5 0 と、第 4 のビア 2 1 6 0 とを備え、それぞれの機能および構造は、第 5 の実施の形態のメタマテリアルのユニット 9 0 0 の、最上部電極 9 1 0 a、第 1 のビア 9 1 2 a、第 2 のビア 9 1 2 b、最下部電極 9 1 0 b、第 1 の内部電極 9 2 2、第 2 の内部電極 9 2 4 a、第 3 の

内部電極 924b、第4の内部電極 930、線路 940、第3のビア 950、および、第4のビア 960と同様である。

[0195] 最上部電極 2110a、第1のビア 2112a、線路 2140、第2のビア 2112b、および、最下部電極 2110bの順に電氣的に接続される構造は、半波長共振器を構成する。

[0196] 第1の内部電極 2122、第2の内部電極 2124a、第3のビア 2150、第4の内部電極 2130、第4のビア 2160、第3の内部電極 2124a、および、第1の内部電極 2122の順で一巡するように構成されるLC共振回路と等価な構造は、LC共振器を構成する。

[0197] なお、第1の伝送線路 2180、第2の伝送線路 2190、および、メタマテリアル部分は、それぞれ互いに、電氣的には接触していない。

[0198] 前述のメタマテリアル上面の第1の伝送線路 2180および第2の伝送線路 2190は、それぞれの伝送線路の外側どうしの間の幅が、半波長共振器の最上部電極 2110aに略平行なメタマテリアル上面にz軸負方向から投影したときの最上部電極 2110aのx軸方向の幅よりも狭くなるように配置される。

[0199] 第1の伝送線路 2180とメタマテリアル部分との位置関係は、第1の伝送線路 2180bを流れる電流による電磁界のメタマテリアルの共振波長と略同じ波長の成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すように定められる。

[0200] 第2の伝送線路 2190とメタマテリアル部分との位置関係は、メタマテリアル部分によって発現される負の誘電率および負の透磁率が第2の伝送線路 2190bに電磁氣的な影響を与えるように定められる。

[0201] 第1の伝送線路 2180とメタマテリアル部分との位置関係は、半波長共振器の第1のビア 2112a、線路 2140、および、第2のビア 2112bで構成される $\lambda/2$ 線路の両端それぞれの、第1の伝送線路 2180bからの距離が異なるように定められる。

[0202] 第2の伝送線路 2190とメタマテリアル部分との位置関係は、半波長共

振器の $\lambda/2$ 線路の両端それぞれの、第2の伝送線路2190bからの距離が異なるように定められる。

[0203] 第1の伝送線路2180の方向は、第1の伝送線路2180bを流れる電流により生じる磁界の磁力線が、LC共振器と等価なLC共振回路を貫通するように定められる。

[0204] 第1の伝送線路2180および第2の伝送線路2190と、メタマテリアル部分の位置関係は、 $\lambda/2$ 線路の前述のメタマテリアル上面の側の端が、LC共振器のメタマテリアル上面の側の最外電極である第1の内部電極2122と、第1の伝送線路2180bおよび第2の伝送線路2190bが配置されるメタマテリアル上面との間となるように定められる。

[0205] 第1の伝送線路2180とメタマテリアル部分との位置関係は、半波長共振器の $\lambda/2$ 線路の両端における電位が、第1の伝送線路2180bに流れる電流より生じる電界に基づき、異なる電位となるように定められる。

[0206] 第1の伝送線路2180とメタマテリアル部分との位置関係は、LC共振器が第1の伝送線路2180bを流れる電流により生じる磁界と磁気結合するように定められる。

[0207] 第1の伝送線路2180とメタマテリアル部分との位置関係は、LC共振器の第1の内部電極2122、第2の内部電極2124a、第3の内部電極2124b、および、第4の内部電極2130で形成されるLC共振回路面が、第1の伝送線路2180bに流れる電流により生じる電界方向と略平行になるように定められる。

[0208] 本実施の形態においては、第1の伝送線路2180および第2の伝送線路2190は、メタマテリアル上面だけでなく、基板上の線路と電氣的に接続可能なように、側面上に基板と接する箇所まで延長される。しかし、これに限定されず、メタマテリアル上面側が取付面である場合は、第1の伝送線路2180および第2の伝送線路2190を側面まで延長する必要はない。

[0209] また、製造方法については、図30で説明した製造方法でメタマテリアル部分を製造した後、第1の伝送線路2180および第2の伝送線路2190

をメタマテリアル部分の表面に形成し、さらに、第1の伝送線路2180および第2の伝送線路2190と基板上の線路との接続部分以外を遮蔽するように絶縁体などで表面を覆うことで、製造することができる。

[0210] 方向性結合器は、偶モードと奇モードのインピーダンスの差によってバックワード結合をする。通常方向性結合器の結合線路ではこの差に限界があるため、結合が大きくなる。

[0211] しかし、左手系メタマテリアルを用いることによって、インピーダンスが虚数となるため大きな差にすることができるため、小型で強結合の方向性結合器を実現することができる。

[0212] また、左手系を実現するためには、HPF構造の回路型と共振型とがあり、どちらもインピーダンスを虚数にできるという点では同じなので、強結合の方向性結合器は実現することができる。ただし、共振型の方が小型化しやすいというメリットがあるため、HPF構造の回路型よりも小型の方向性結合器を実現することが可能である。

[0213] なお、図38から図41までには、第1の伝送線路2180、および、第2の伝送線路2190が、説明の便宜上、外部に露出しているように描かれているが、実際は、基板に取付ける際に基板上の線路と接続される一部分以外は、外部と電氣的に絶縁体で遮蔽される。

[0214] また、方向性結合器2100を取付ける実装基板の取付面には、グランド線路が設けられることが好ましい。

[0215] また、本実施の形態においては、第5の実施の形態で説明したメタマテリアルのユニット900と基本的に同様の構造のものをメタマテリアル部分に用いることとして説明した。しかし、これに限定されず、他の実施の形態で説明した他の構造のメタマテリアルを用いてもよい。

[0216] また、本実施の形態においては、メタマテリアル部分を1つのメタマテリアルのユニットで構成されることとしたが、共振波長が同じであったり異なったりする複数のメタマテリアルのユニットで構成されるようにしてもよい。

[0217] また、本実施の形態においては、第2の伝送線路2190は1本であることとした。しかし、これに限定されず、2本以上であってもよい。

[0218] また、本実施の形態においては、メタマテリアルを用いた電気部品が、方向性結合器であることとした。しかし、この方向性結合器は、結合が0 dBに近くなるため、メタマテリアルを用いた電気部品が、ダイプレクサであることとしてもよい。つまり、ダイプレクサとして用いる場合、第1の伝送線路2180に入った電流のうち、共振波長に対応する周波数成分の電流を第2の伝送線路2190の一方端に出力することができ、残りの周波数成分の電流を第1の伝送線路2180の他端から出力することができる。

[0219] [第8の実施の形態]

第7の実施の形態においては、伝送線路も含むメタマテリアルを用いた方向性結合器2100について説明した。第8の実施の形態においては、伝送線路を含まないメタマテリアルを用いた方向性結合器2200について説明する。

[0220] 第8の実施の形態に係るメタマテリアルを用いた方向性結合器2200の構造を図42に示す。図42は、方向性結合器2200の斜視図である。

[0221] 図42を参照して、方向性結合器2200は、メタマテリアル部分と、グランド面2201とを含む。グランド面2201は、グランド面2201a, b, cが順に電氣的に接続されて構成される。

[0222] 本実施の形態の方向性結合器2200のメタマテリアル部分は、第7の実施の形態で説明した方向性結合器2100のメタマテリアル部分と同様であるので、重複する説明は繰返さない。

[0223] グランド面2201bは、方向性結合器2200の基板2300への取付面に対するメタマテリアル部分を挟んだ反対側の面（本実施の形態においては便宜的に「メタマテリアル上面」という）に形成される。

[0224] グランド面2201a, cは、方向性結合器2200を基板へ取付けるときに、基板上のグランド線路2301と電氣的に接続可能なように、メタマテリアル部分のLC共振器と等価なLC共振回路に平行な側面に配置される

。

[0225] 方向性結合器 2200 を取付ける基板 2300 には、方向性結合器 2200 のグランド面 2201 a, c のいずれかを接続可能なようにグランド線路 2301 が設けられるようにするとともに、第 7 の実施の形態における方向性結合器 2100 のメタマテリアル部分と第 1 の伝送線路 2180 および第 2 の伝送線路 2190 との位置関係と同様の位置関係になるように、本実施の形態の方向性結合器 2200 のメタマテリアル部分と基板 2300 上の第 1 の伝送線路 2380 および第 2 の伝送線路 2390 との位置関係が定まるように、第 1 の伝送線路 2380 および第 2 の伝送線路 2390 が設けられるようにする必要がある。

[0226] なお、基板 2300 の方向性結合器 2200 の取付部の裏側には、基板上の伝送線路との結合を抑制するために、グランド部を設けないようにすることが好ましい。

[0227] [第 9 の実施の形態]

第 7 および第 8 の実施の形態においては、電気部品として構成される方向性結合器 2100, 2200 について説明した。第 9 の実施の形態においては、電気回路の部分構造として構成される方向性結合器部について説明する。

。

[0228] 第 9 の実施の形態に係るメタマテリアルを用いた方向性結合器部を含む回路が形成された複層基板の構造を図 43 に示す。図 43 は、複層基板の方向性結合器部の斜視図である。

[0229] 図 43 を参照して、方向性結合器部は、第 1 の伝送線路 2580 と、第 2 の伝送線路 2590 と、メタマテリアル部分 2400 とを含む。

[0230] 本実施の形態の方向性結合器部のメタマテリアル部分 2400 は、第 7 の実施の形態で説明した方向性結合器 2100 のメタマテリアル部分と同様であるので、重複する説明は繰返さない。

[0231] メタマテリアル部分 2400 は、複層基板のうちの第 1 層基板 2501 の内部に設けられる。第 1 の伝送線路 2580 および第 2 の伝送線路 2590

は、第1層基板2501の表面に設けられる。第2層基板2502は、第1の伝送線路2580および第2の伝送線路2590を覆うように設けられる。

[0232] 第1の伝送線路2580および第2の伝送線路2590と、メタマテリアル部分2400との位置関係は、第7の実施の形態における第1の伝送線路2180および第2の伝送線路2190と、メタマテリアル部分との位置関係と同様の位置関係になるように設けられる。

[0233] 本実施の形態の方向性結合器部の特性を測定するために、メタマテリアルを用いた方向性結合器部を含む回路が形成された複層基板を試作した。そのメタマテリアル部分のサイズは、図38から図41までに記載した座標軸を用いて、x軸方向、2.0mm、y軸方向に、2.4mm、z軸方向に、1.8mmである。

[0234] また、メタマテリアル部分の電極、ビアおよび線路以外の部分は、電極、ビアおよび線路を固定するために誘電体で占められており、誘電体の誘電率 $\varepsilon = 9$ である。複層基板のサイズは、5mm四方で、誘電率 $\varepsilon = 4$ である。

[0235] なお、測定においては、図45のポート(1)から数GHzの高周波の入力電流を入力し、ポート(2)から通過電流が出力され、ポート(3)からバックワード結合の出力電流が出力され、ポート(4)からフォワード結合の出力電流が出力される。

[0236] 図44は、メタマテリアルを用いた方向性結合器部の特性の測定結果を示すグラフである。図44を参照して、ポート(1)からポート(4)へのフォワード結合が、3GHz付近で、-2dBと強く現れていることが分かる。

[0237] 図45は、比較測定に用いる複層基板の方向性結合器部の斜視図である。図45を参照して、比較測定に用いるメタマテリアルを用いていない方向性結合器部を含む回路が形成された複層基板は、図43で説明したメタマテリアルを用いた方向性結合器部を含む回路が形成された複層基板におけるメタマテリアル部分2400を、誘電率 $\varepsilon = 9$ の誘電体のみで構成される誘電体

部 2 6 0 0 で置換えたものである。

[0238] 第 1 の伝送線路 2 7 8 0、第 2 の伝送線路 2 7 9 0、第 1 層基板 2 7 0 1、および、第 2 層基板 2 7 0 2 は、それぞれ、図 4 3 で説明した第 1 の伝送線路 2 5 8 0、第 2 の伝送線路 2 5 9 0、第 1 層基板 2 5 0 1、および、第 2 層基板 2 5 0 2 と同様である。

[0239] 図 4 6 は、メタマテリアルを用いていない方向性結合器部の特性の測定結果を示すグラフである。図 4 6 を参照して、この場合、結合線路の長さが 2 . 4 mm であるので、空気中では、 $\lambda / 4 = 2 . 4 \text{ mm}$ の波長 λ に対応する周波数 1 2 GHz で結合するが、誘電体中であるので、結合は、6 GHz 付近に現れているが、その減衰量は、- 1 5 dB 程度と、メタマテリアルを用いた方向性結合器部と比較して低くなっている。

[0240] このように、第 7 の実施の形態から第 9 の実施の形態までで説明したメタマテリアルを用いた電気部品である方向性結合器は、0 dB に近いカップラとなるため、方向性結合器に限らず、別の電気部品であるダイプレクサとして使用することができる。たとえば、図 4 5 のポート (1) から入った信号を、3 GHz の成分は、ポート (4) に、それ以外の成分は、ポート (2) に分離することができる。

[0241] また、複数の周波数成分をそれぞれ分離可能なメタマテリアルを用いたダイプレクサを複数組合せて、たとえば、携帯電話に搭載することによって、通信用の周波数信号と GPS (Global Positioning System) 用の周波数信号を分離することに用いることができる。

[0242] [その他]

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0243] 2 外部電極、3 外部電極、4 内部電極、4 a 電極、4 b 電極、

5 内部電極、5 a 電極、5 b 電極、6 スペーサ、10 外装部、100 コイル型共振器、110 中心軸、200 信号線路、220 グランド、300 コンデンサ型共振器、600 ユニット、610 a 最上部電極、610 b 最下部電極、622, 624, 632, 634 内部電極、640 線路、650, 660 外部電極、700 ユニット、710 a 最上部電極、710 b 最下部電極、722, 724 a, 724 b, 730 内部電極、740 線路、750, 760 外部電極、800 ユニット、810 コイル状導体、822, 824, 832, 834 電極、842, 844 ビア、2100, 2200 方向性結合器、2110 a 最上部電極、2110 b 最下部電極、2112 a 第1のビア、2112 b 第2のビア、2122 第1の内部電極、2124 a 第2の内部電極、2124 b 第3の内部電極、2130 第4の内部電極、2140 線路、2150 第3のビア、2160 第4のビア、2180, 2380, 2580, 2780 第1の伝送線路、2190, 2390, 2590, 2790 第2の伝送線路、2201 グランド面、2300 基板、2301 グランド線路、2400 メタマテリアル部分、2501, 2701 第1層基板、2502, 2702 第2層基板、2600 誘電体部。

請求の範囲

[請求項1]

第1の電流を通すための第1の伝送線路（2180b）と、
前記第1の伝送線路と並行する第2の電流を流すための少なくとも1つの第2の伝送線路（2190b）と、
電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すメタマテリアル（2110a, 2112a, 2140, 2112b, 2110b, 2122, 2124a, 2150, 2130, 2160, 2124b）とを備え、
前記メタマテリアルは、前記第1の電流による電磁界の前記共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示し、かつ、当該負の誘電率および負の透磁率が前記第2の伝送線路に電磁気的な影響を与えることによって、前記第2の電流が流れるように位置および方向が定められて配置されている、電気部品（2100）。

[請求項2]

前記メタマテリアルは、
共振波長の電磁波に対して負の誘電率を示す第1の共振器（2110a, 2112a, 2140, 2112b, 2110b）を備え、
前記第1の共振器は、前記共振波長の略1/2の長さの半波長線路（2110a, 2112a, 2140, 2112b, 2110b）を含み、
前記メタマテリアルは、さらに、
前記共振波長の電磁波に対して負の透磁率を示す第2の共振器（2122, 2124a, 2150, 2130, 2160, 2124b）と、
前記第1の共振器および前記第2の共振器の位置を固定する支持部材とを備え、
前記支持部材は、前記第1の共振器の共振による電界が集中する領域と異なる領域に、前記第2の共振器の共振による磁界が集中するように、前記第1の共振器および前記第2の共振器の位置を固定する、

請求の範囲 1 に記載の電気部品。

[請求項3] 前記支持部材は、前記半波長線路の両端（2110a, 2110b）が前記第2の共振器の外部に位置するように、前記第1の共振器および前記第2の共振器の位置を固定する、請求の範囲2に記載の電気部品。

[請求項4] 前記支持部材は、共振により前記第1の共振器および前記第2の共振器に発生する同極性の電荷が、互いに干渉であるように、前記第1の共振器および前記第2の共振器の位置を固定する、請求の範囲2に記載の電気部品。

[請求項5] 前記支持部材は、前記半波長線路の両端（2110a, 2110b）の前記第1の伝送線路および前記第2の伝送線路からの距離が異なるように前記第1の共振器を固定する、請求の範囲2に記載の電気部品。

[請求項6] 前記第2の共振器は、LC共振器であって、
前記支持部材は、前記第1の電流により生じる磁界が前記LC共振器の共振ループを通過するように前記LC共振器の位置を固定する、請求の範囲5に記載の電気部品。

[請求項7] 前記支持部材は、前記半波長線路の第1の端（2110a）を、前記第2の共振器と前記第1の伝送線路および前記第2の伝送線路を含む面との間に固定する、請求の範囲5に記載の電気部品。

[請求項8] 前記第2の共振器は、
第1の最外電極（2122）と、
前記第1の最外電極と極性の異なる第2の最外電極（2130）
とを含み、
前記支持部材は、前記半波長線路の前記第1の端を前記第1の最外電極と前記第1の伝送線路および前記第2の伝送線路を含む面との間に固定する、請求の範囲7に記載の電気部品。

[請求項9] 前記支持部材は、前記第1の電流により生じる、前記半波長線路の

両端（2 1 1 0 a, 2 1 1 0 b）における電位が異なるように前記第 1 の共振器を固定する、請求の範囲 5 に記載の電気部品。

[請求項10] 前記支持部材は、前記第 2 の共振器が前記第 1 の電流により生じる磁界と磁気結合するように前記第 2 の共振器の位置を固定する、請求の範囲 5 に記載の電気部品。

[請求項11] 前記第 2 の共振器は、
第 1 の電極（2 1 2 2）と、
前記第 1 の電極に対向する第 2 の電極（2 1 2 4 a, 2 1 2 4 b）とを備え、
前記支持部材は、前記第 1 の電極および前記第 2 の電極で形成される共振ループが前記第 1 の電流により生じる電界方向と略平行になるように、前記第 1 の電極および前記第 2 の電極を固定する、請求の範囲 5 に記載の電気部品。

[請求項12] 前記メタマテリアルは、
前記共振波長の電磁波に対して負の誘電率を示す第 1 の共振器（6 1 0 a, 6 4 0, 6 1 0 b）を備え、
前記第 1 の共振器は、前記共振波長の略 1 / 2 の長さの半波長線路（6 1 0 a, 6 4 0, 6 1 0 b）を含み、
前記メタマテリアルは、さらに、
前記共振波長の電磁波に対して負の透磁率を示す第 2 の共振器（6 2 2, 6 2 4, 6 5 0, 6 3 2, 6 3 4, 6 6 0）を備え、
前記第 2 の共振器は、
複数の板状電極（6 2 2, 6 2 4, 6 3 2, 6 3 4）を含み、
前記板状電極は、複数の第 1 板状電極（6 2 2, 6 3 2）と、各前記第 1 板状電極と対向して各々配置された複数の第 2 板状電極（6 2 4, 6 3 4）とからなり、
前記第 2 の共振器は、さらに、
前記複数の第 1 板状電極を電氣的に接続する第 1 の接続部（6 5

0) と、

前記複数の第 2 板状電極を電氣的に接続する第 2 の接続部 (6 6 0) とを含み、

前記複数の板状電極のうち最外部に配置された第 1 の最外電極 (6 2 2) および第 2 の最外電極 (6 3 4) は、それぞれ、前記第 1 板状電極および前記第 2 板状電極であり、

前記メタマテリアルは、さらに、

前記第 1 の共振器および前記第 2 の共振器の位置を固定する支持部材を備え、

前記支持部材は、前記第 1 の最外電極が前記半波長線路の第 1 の端部 (6 1 0 a) に近接し、かつ、前記第 2 の最外電極が前記半波長線路の第 2 の端部 (6 1 0 b) に近接するように、前記第 1 の共振器および前記第 2 の共振器の位置を固定する、請求の範囲 1 に記載の電気部品。

[請求項13]

前記第 1 の共振器は、さらに、

前記第 1 の端部に接続された第 1 の導電板 (6 1 0 a) と、

前記第 2 の端部に接続された第 2 の導電板 (6 1 0 b) とを含み、

前記支持部材は、前記第 2 の共振器の外部であって前記第 1 の最外電極と対向する位置に前記第 1 の導電板を固定し、前記第 2 の共振器の外部であって前記第 2 の最外電極と対向する位置に前記第 2 の導電板を固定する、請求の範囲 1 2 に記載の電気部品。

[請求項14]

電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すメタマテリアル (2 1 1 0 a, 2 1 1 2 a, 2 1 4 0, 2 1 1 2 b, 2 1 1 0 b, 2 1 2 2, 2 1 2 4 a, 2 1 5 0, 2 1 3 0, 2 1 6 0, 2 1 2 4 b) を備え、

前記メタマテリアルは、基板 (2 3 0 0) に取付けられたときに前記基板上の第 1 の伝送線路 (2 3 8 0) を流れる第 1 の電流による電

磁界の前記共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示し、かつ、当該負の誘電率および負の透磁率が前記基板に取付けられたときに前記基板上の第2の伝送線路（2390）に電磁気的な影響を与えることによって、前記第2の伝送線路に第2の電流が流れるように位置および方向が定められて配置されている、電気部品（2200）。

[請求項15] 前記基板に取付けられたときに、前記メタマテリアルを挟んで前記第1の伝送線路および前記第2の伝送線路を含む面と反対側になるように配置されるグランド面（2201b）をさらに備え、

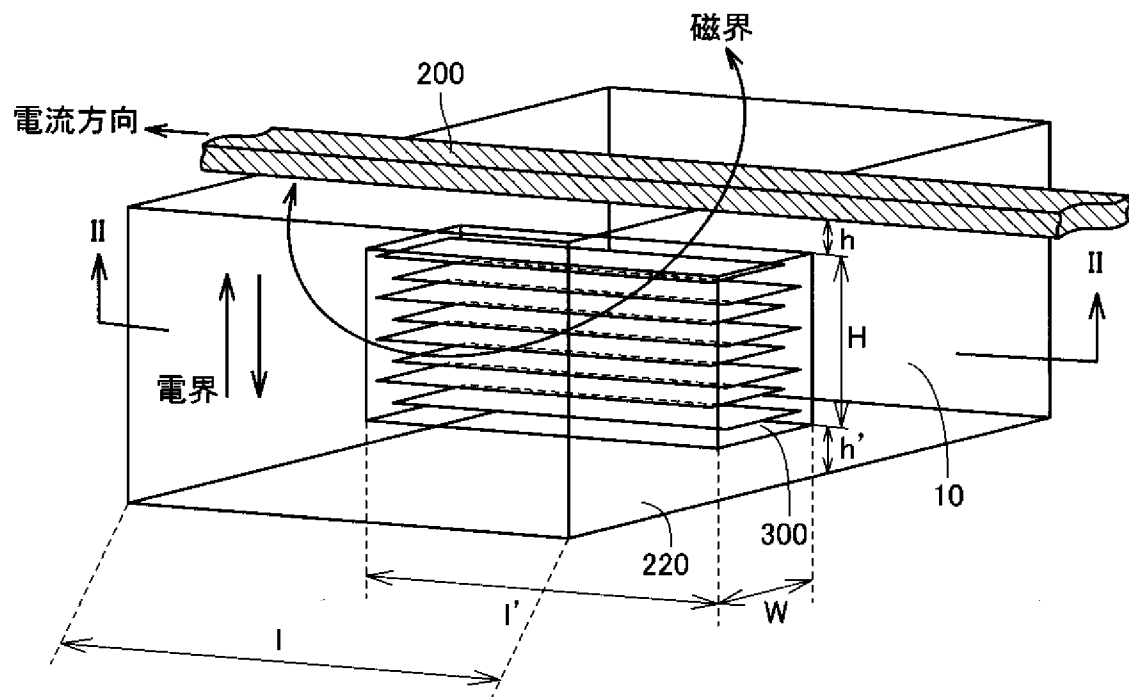
前記グランド面は、前記基板に取付けられたときに前記基板上のグランド線路（2301）と電氣的に接続させるためのグランド接続部（2201a, 2201c）を有する、請求の範囲14に記載の電気部品。

[請求項16] 第1の電流を通すための第1の伝送線路（2580）と、
前記第1の伝送線路と並行する第2の電流を通すための少なくとも1つの第2の伝送線路（2590）と、

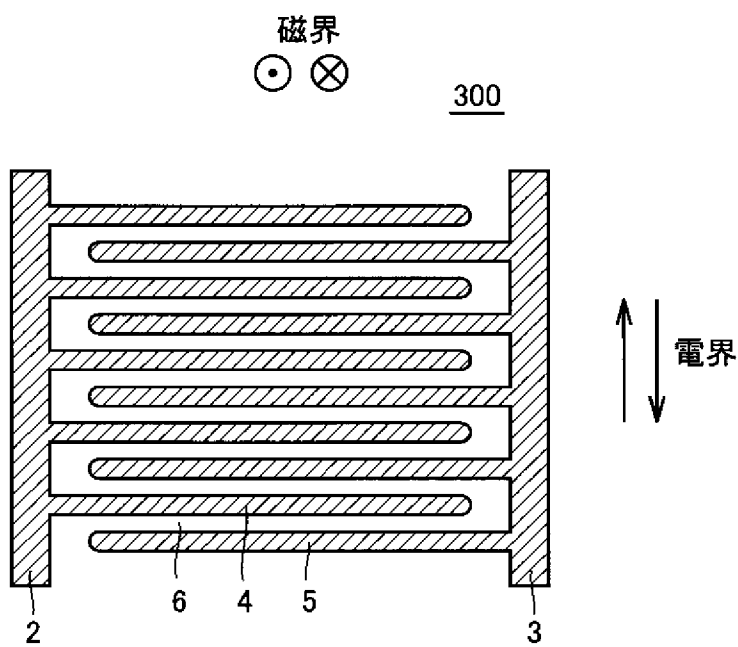
電磁界の共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示すメタマテリアル（2400）とを備え、

前記メタマテリアルは、前記第1の電流による電磁界の前記共振波長成分に対して負の誘電率および負の透磁率を示し、かつ、当該負の誘電率および負の透磁率が前記第2の伝送線路に電磁気的な影響を与えることによって、前記第2の電流が流れるように位置および方向が定められて配置されている、電気回路の部分構造（2501）。

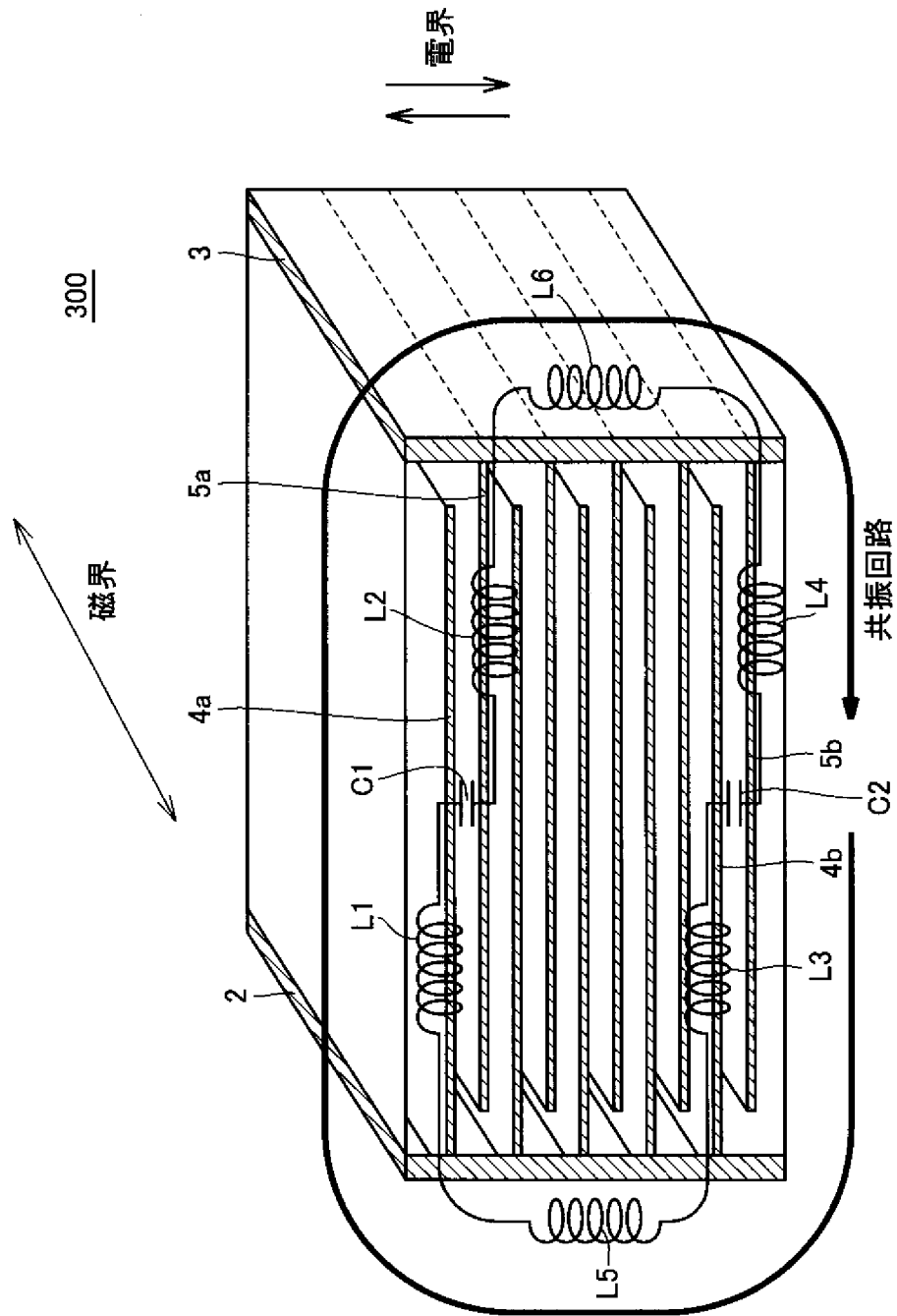
[図1]



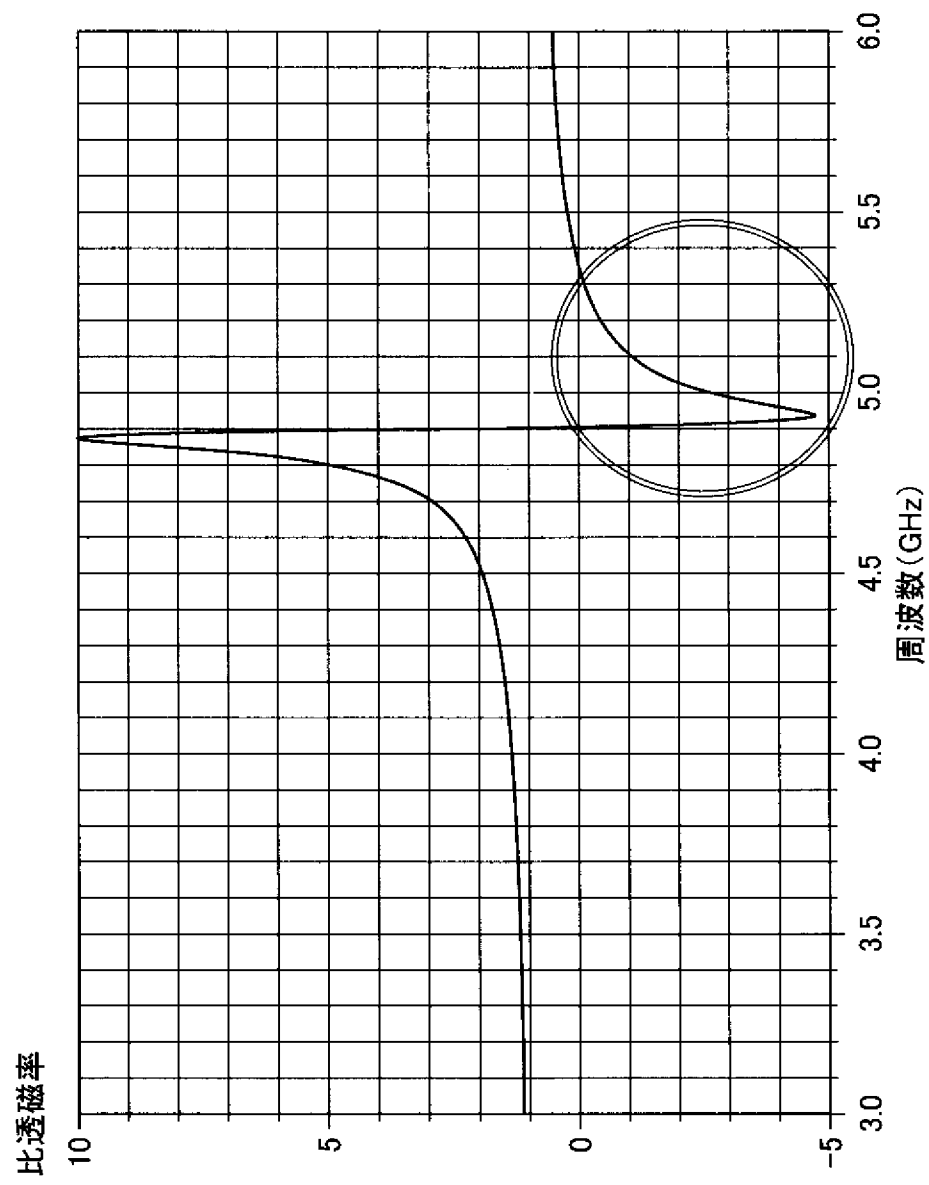
[図2]



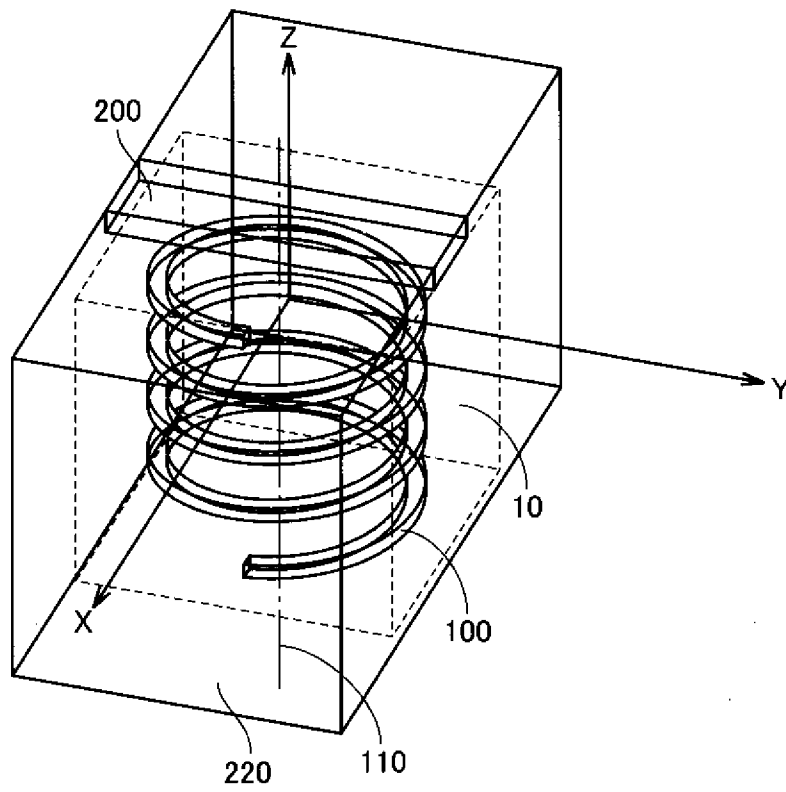
[図3]



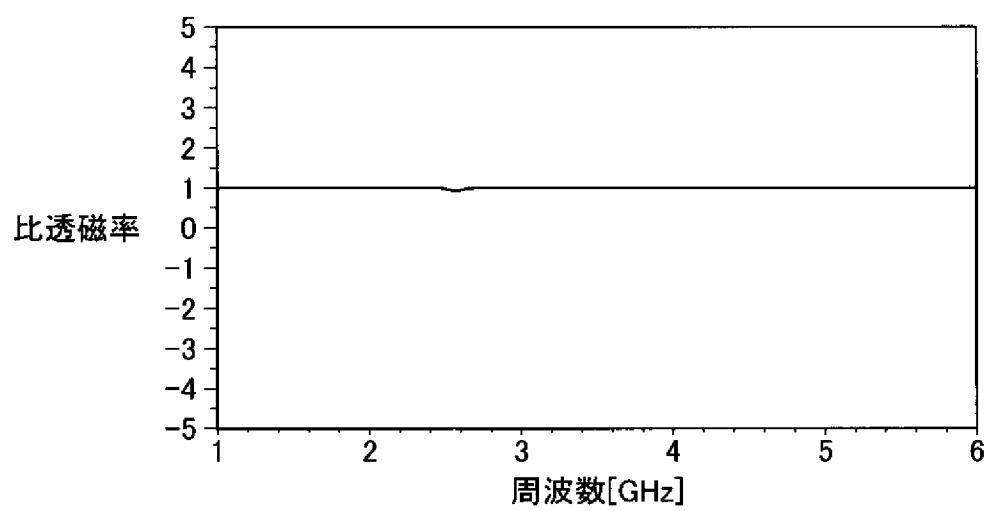
[図4]



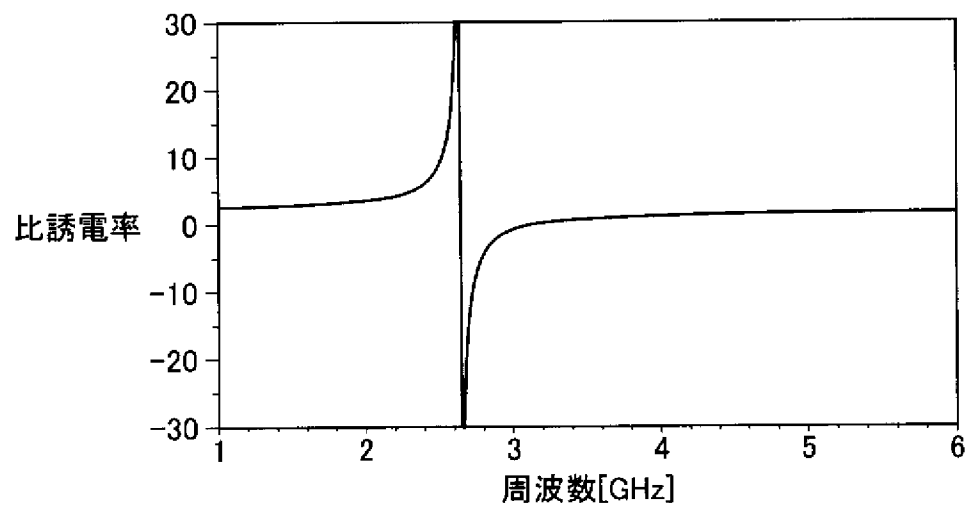
[図5]



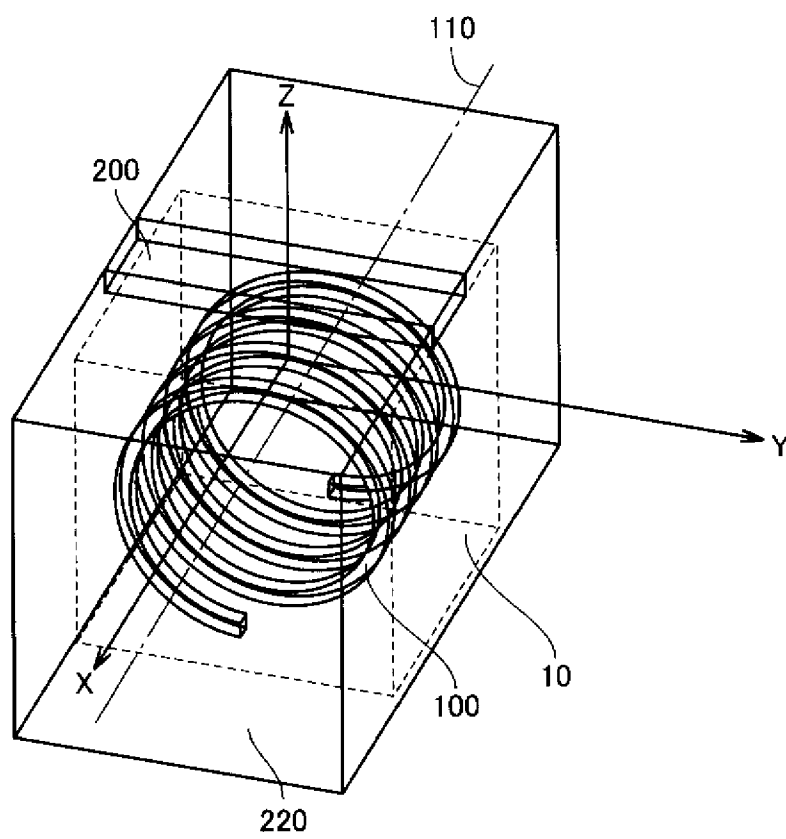
[図6]



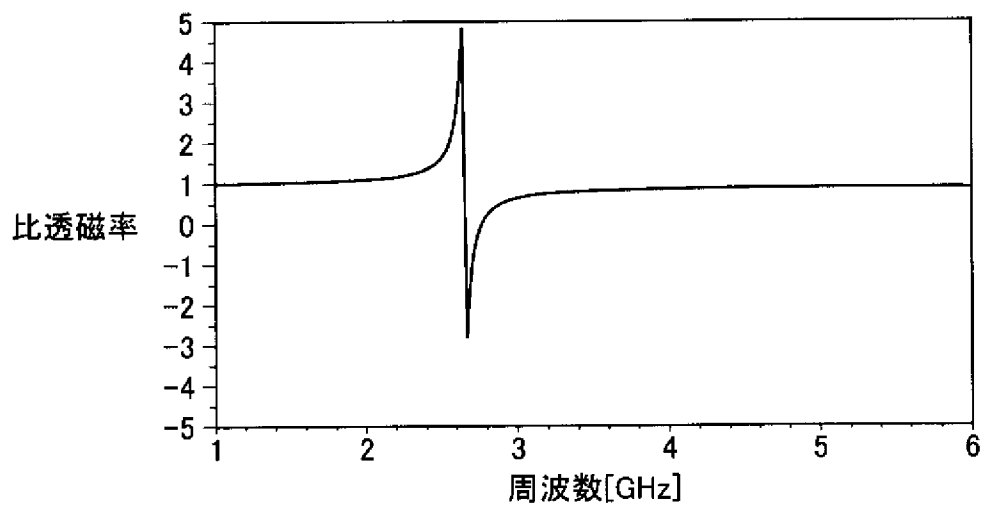
[図7]



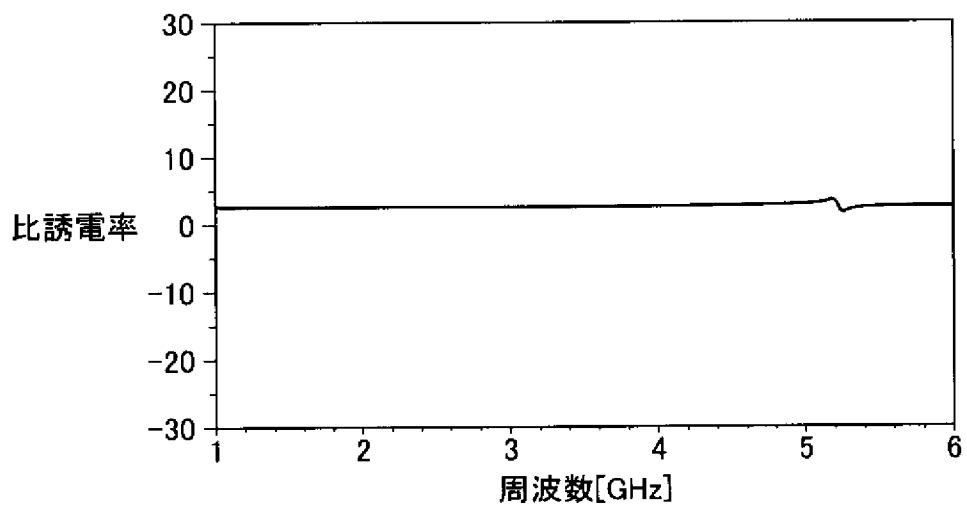
[図8]



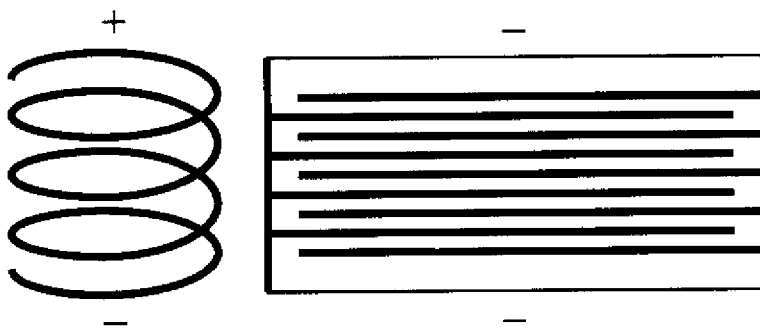
[図9]



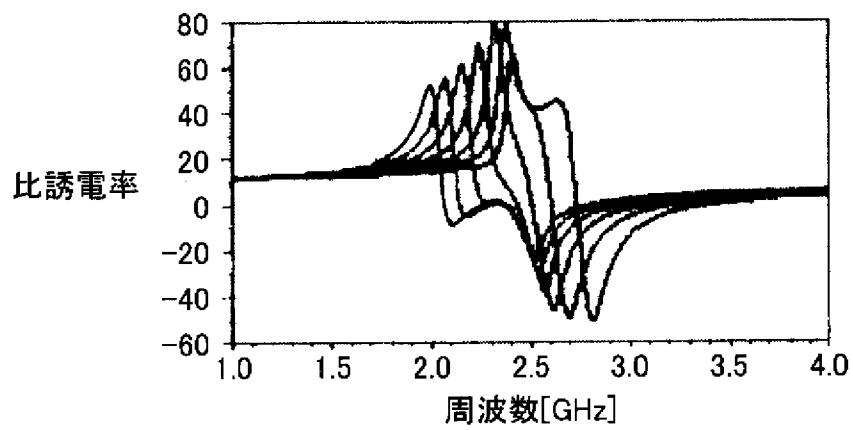
[図10]



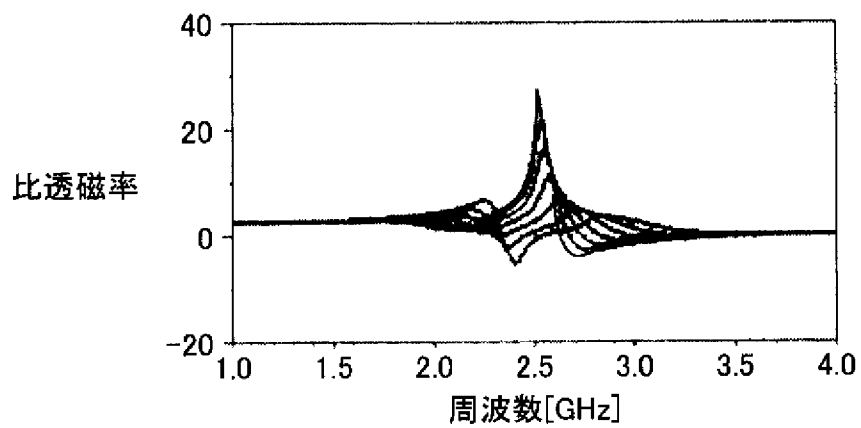
[図11]



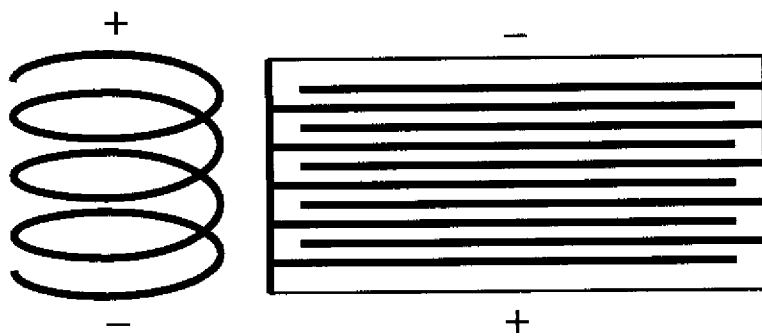
[図12]



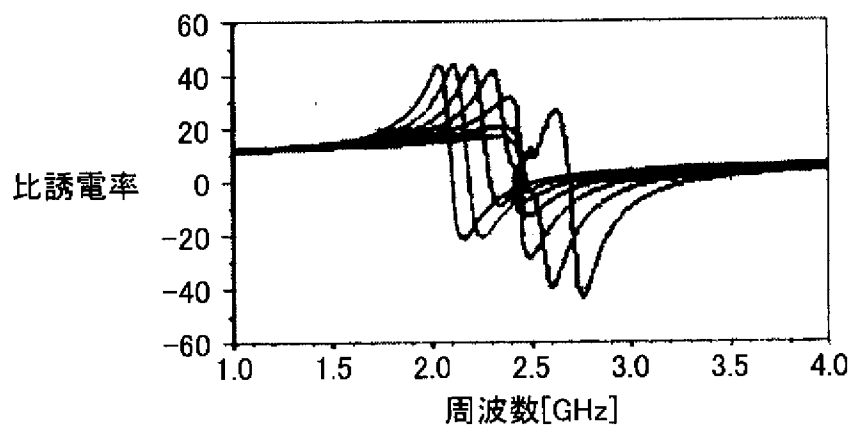
[図13]



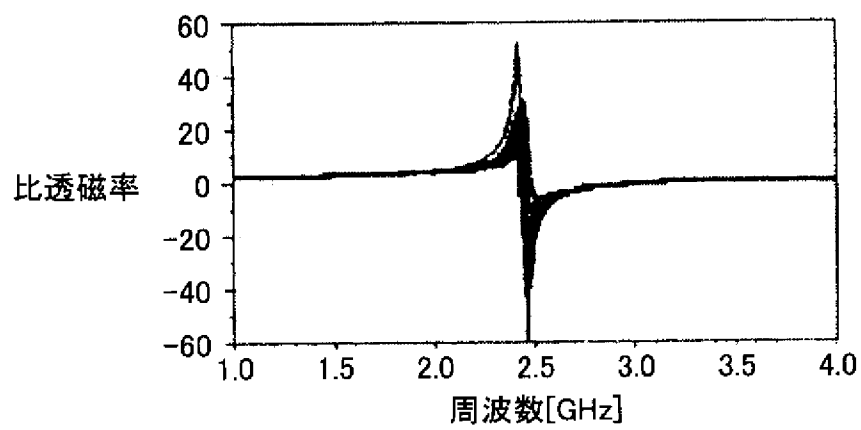
[図14]



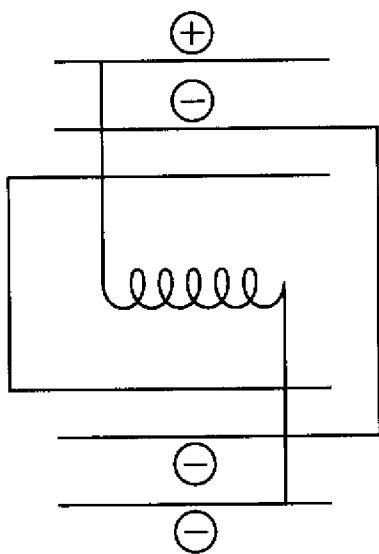
[図15]



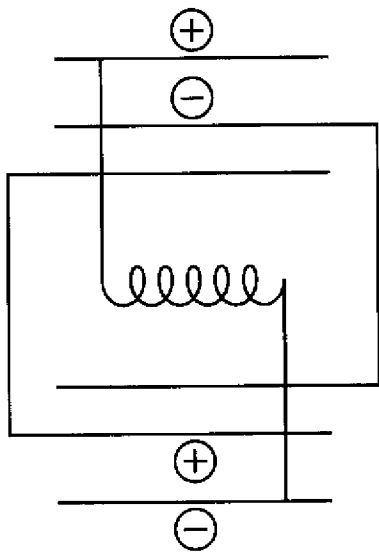
[図16]



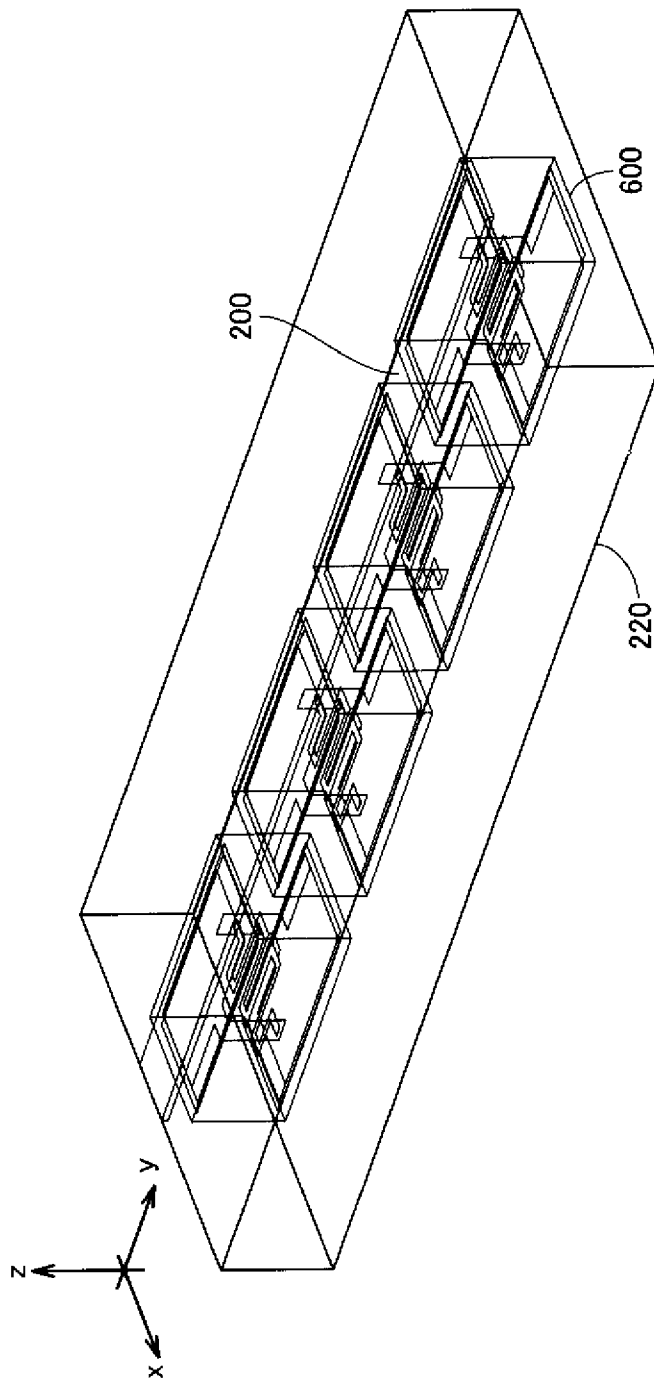
[図17]



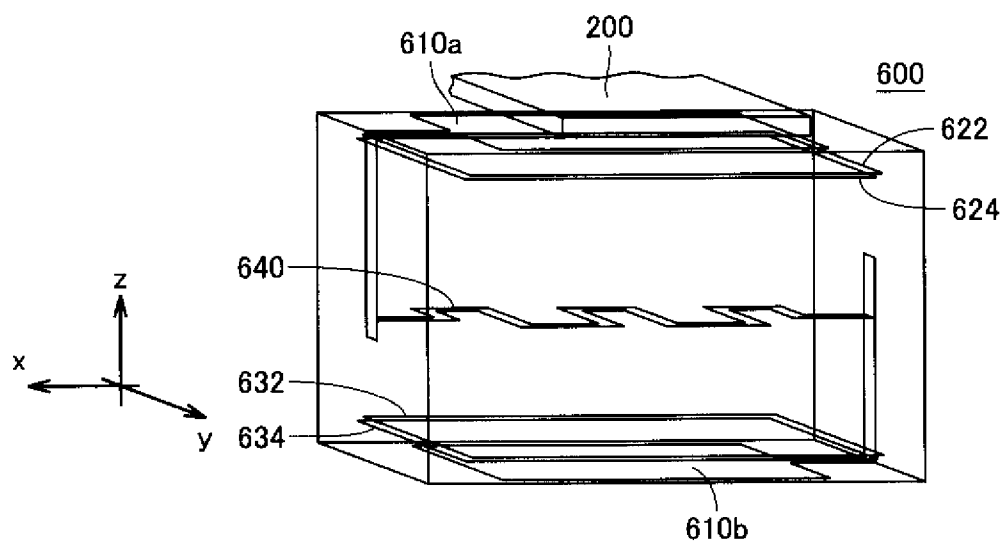
[図18]



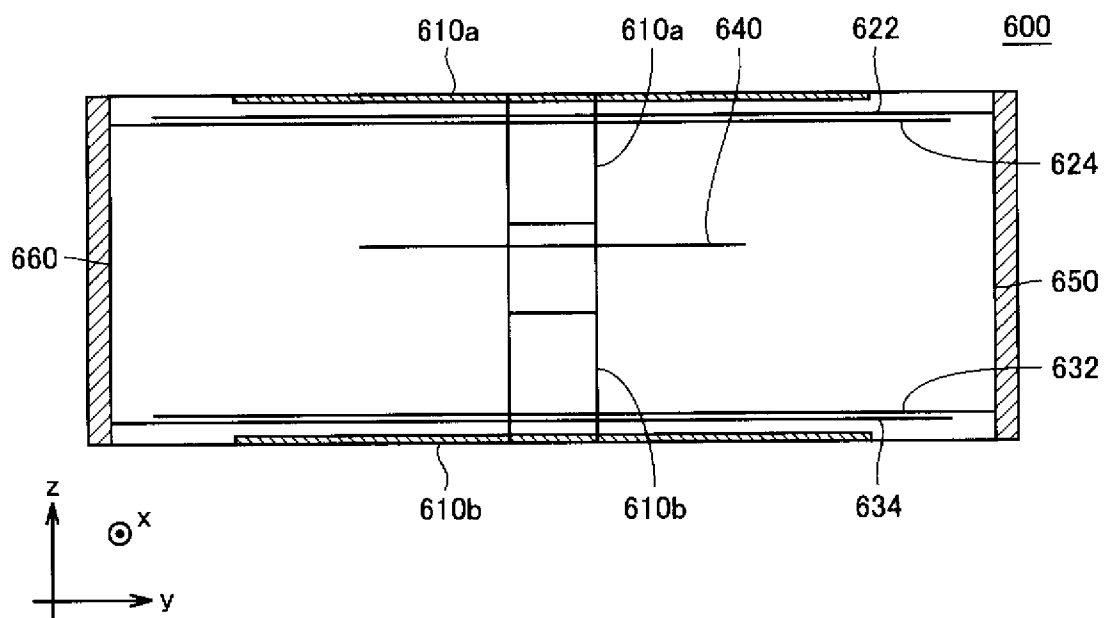
[図19]



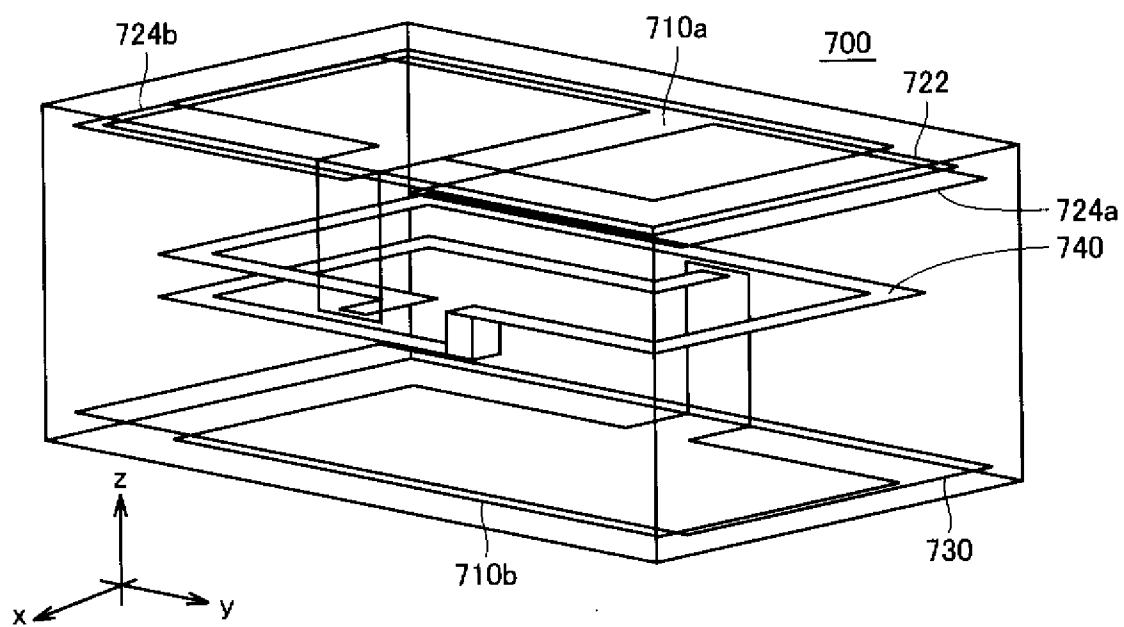
[図20]



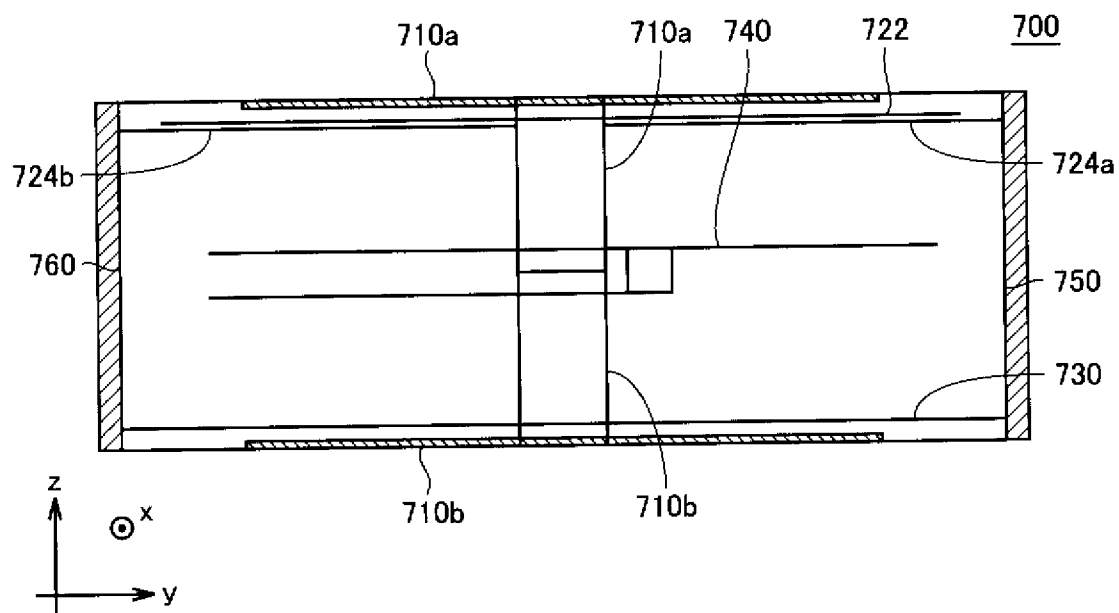
[図21]



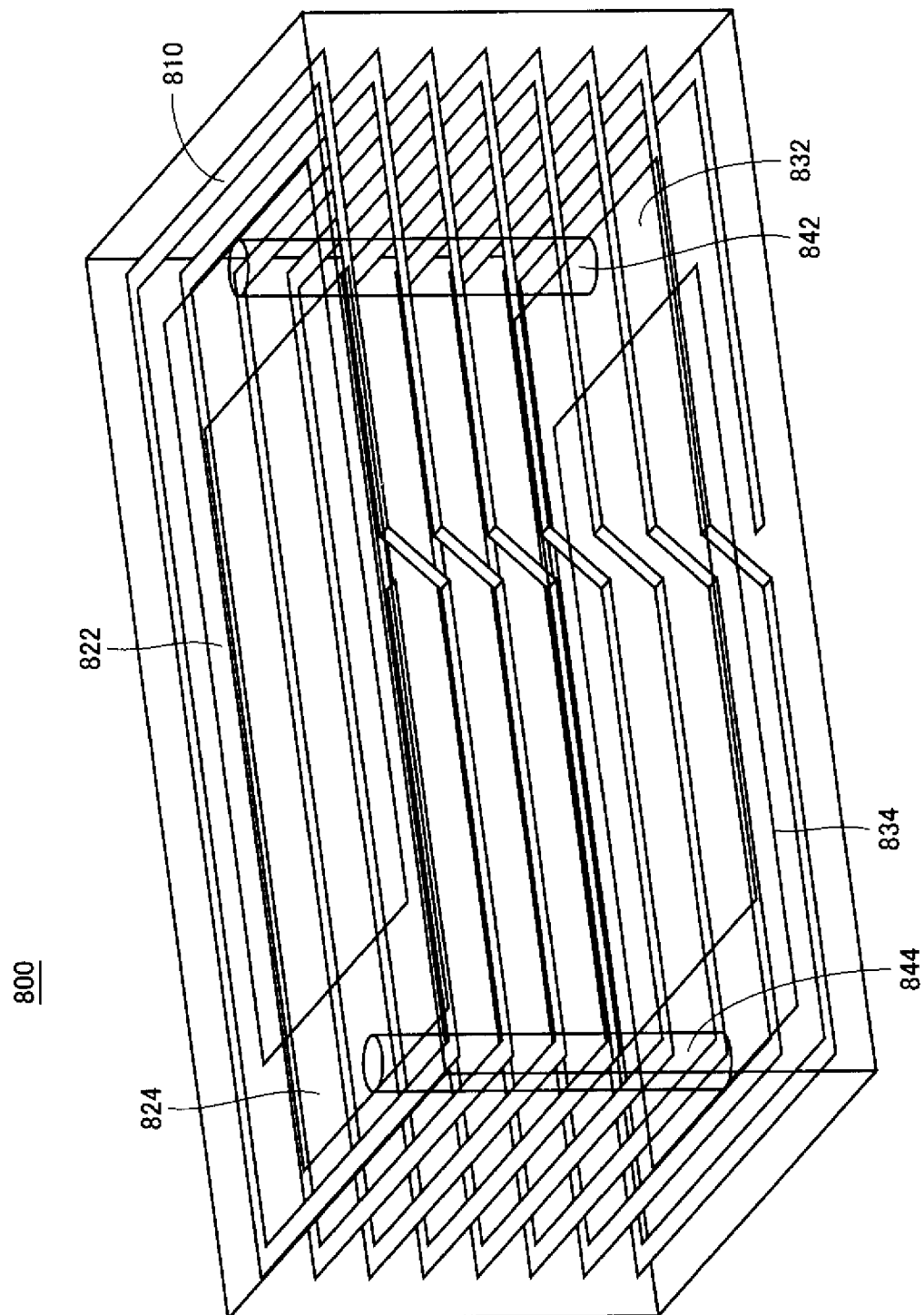
[図22]



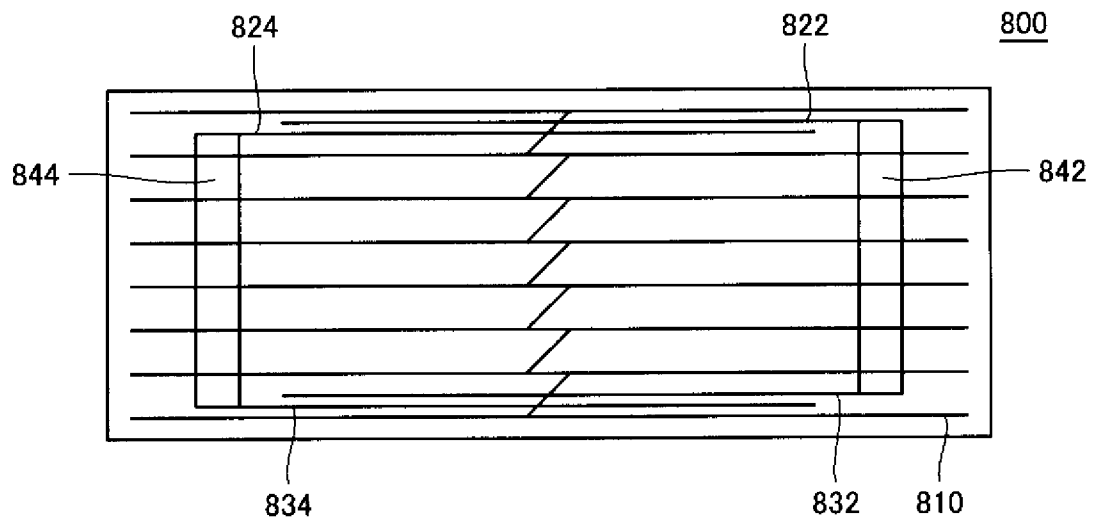
[図23]



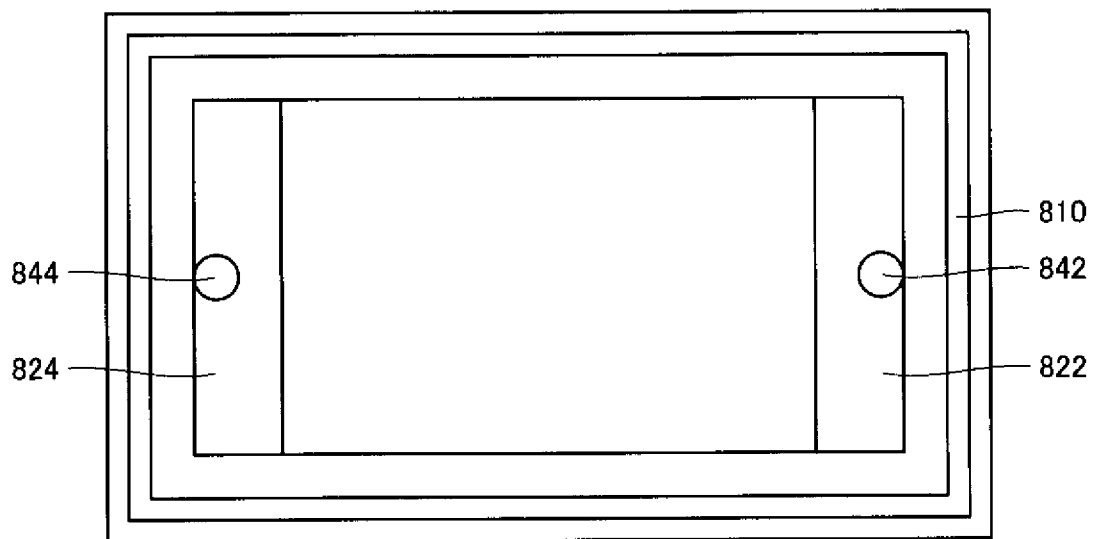
[図24]



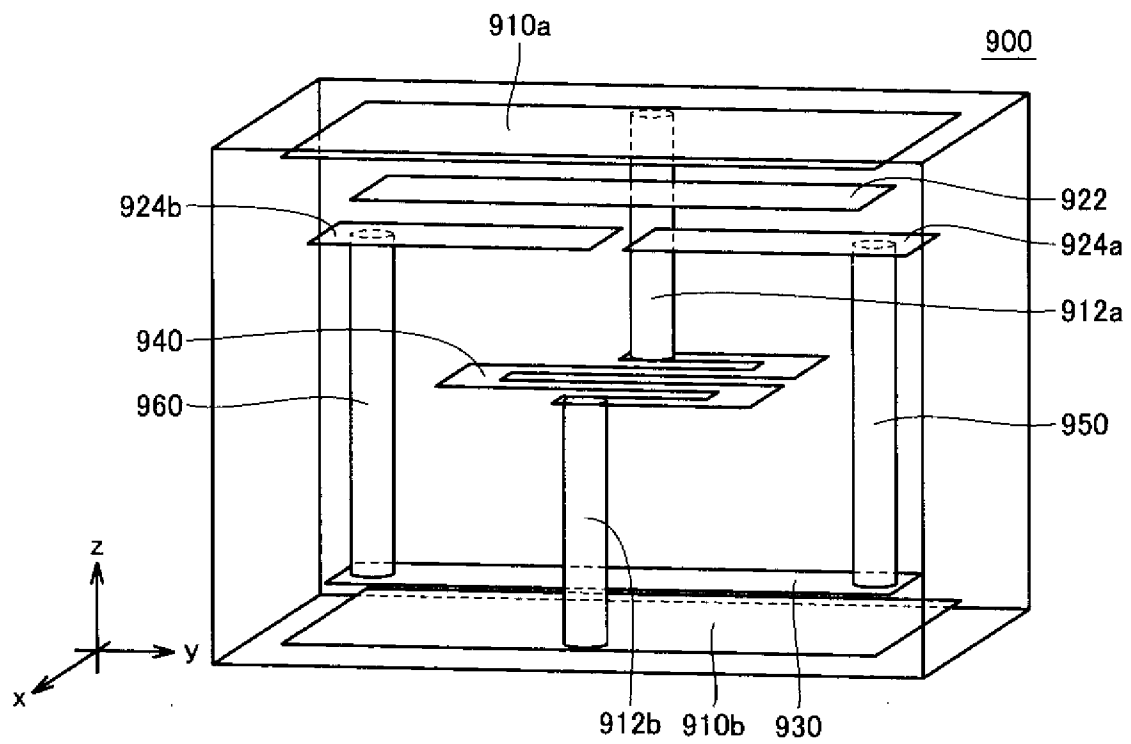
[図25]



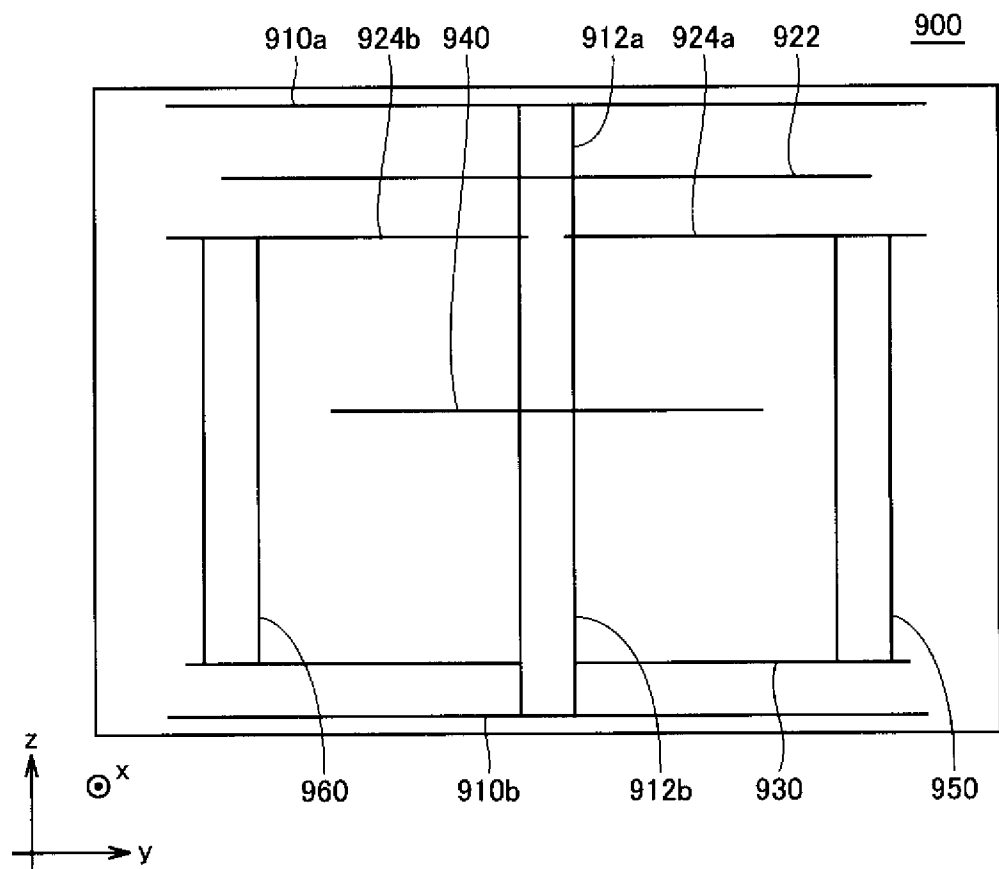
[図26]



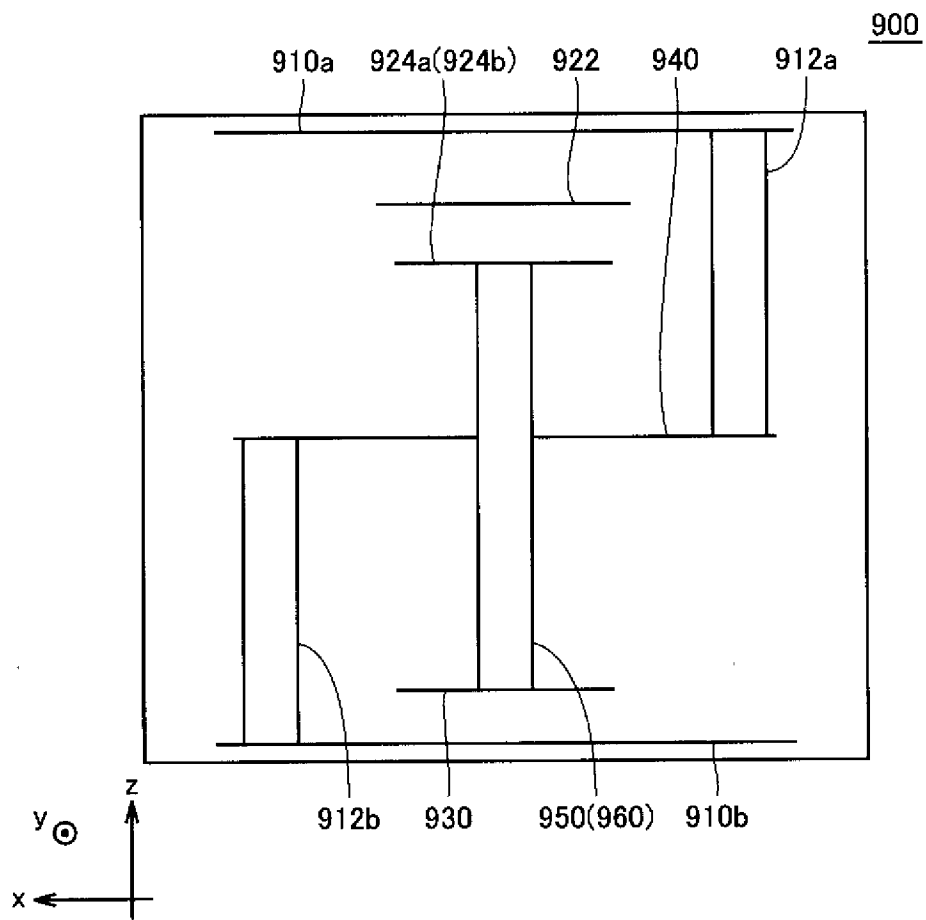
[図27]



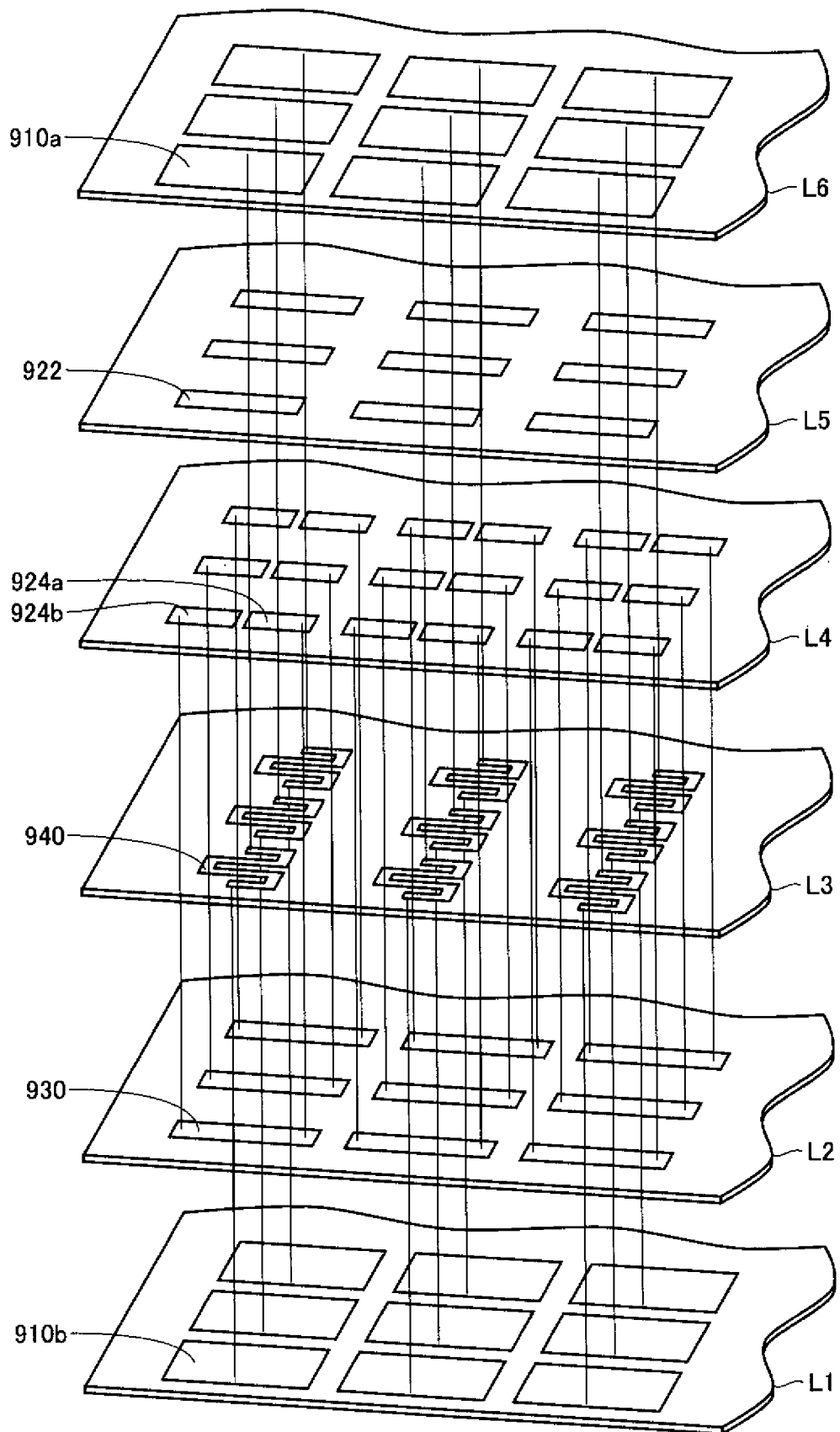
[図28]



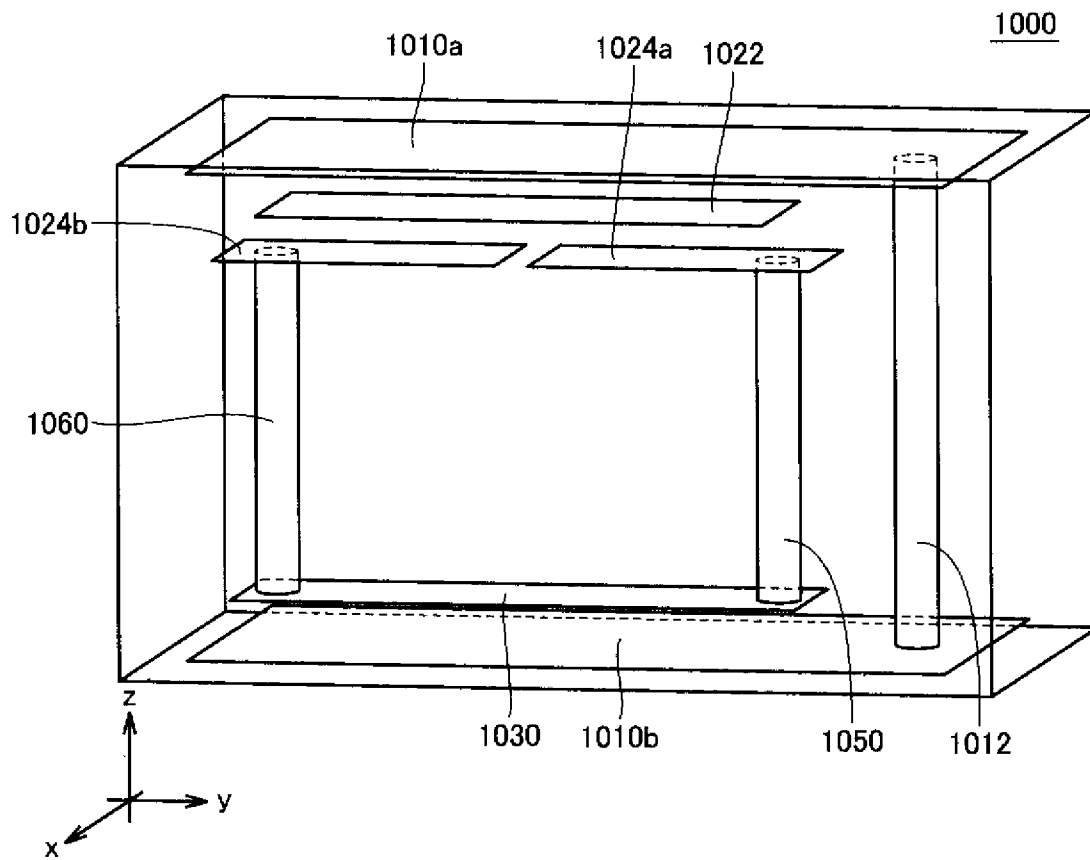
[図29]



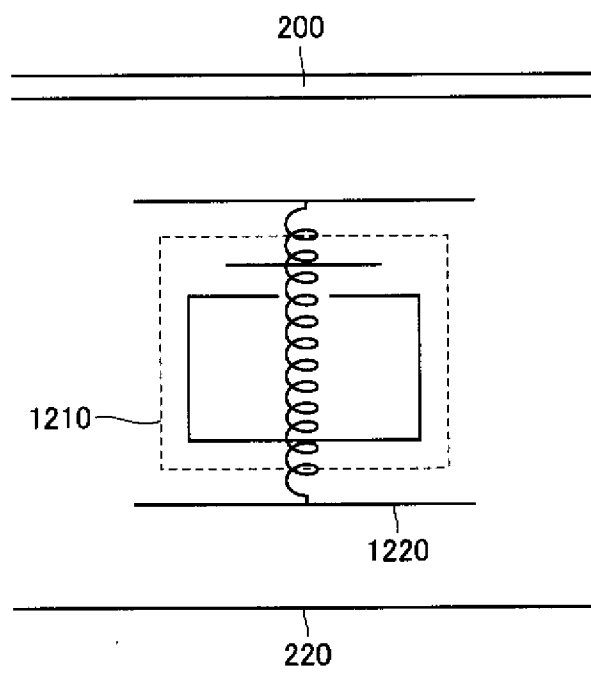
[図30]



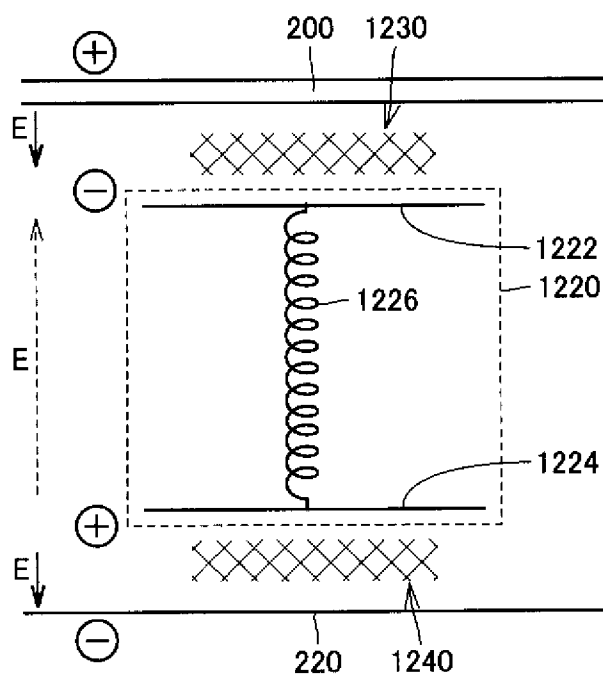
[図31]



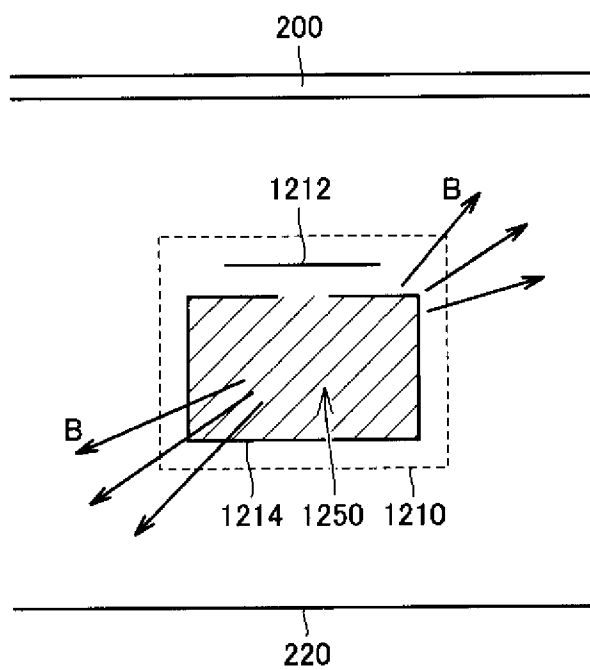
[図32]



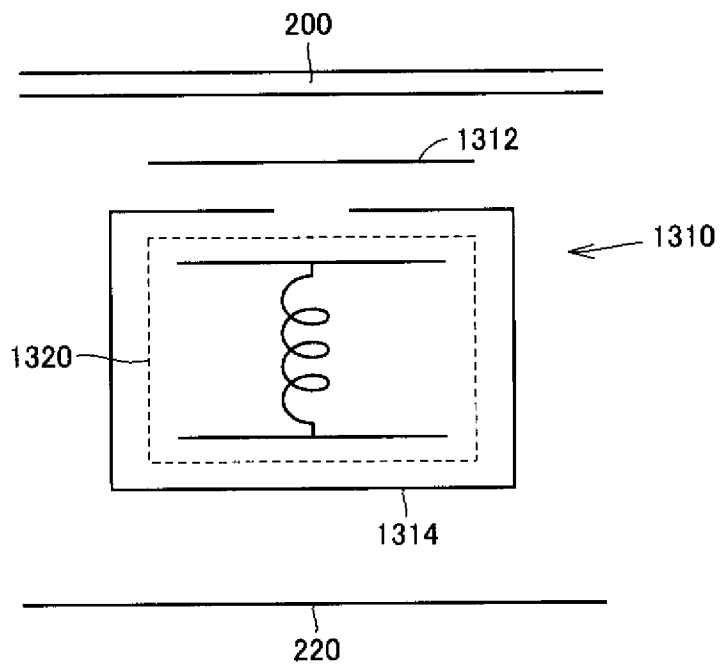
[図33]



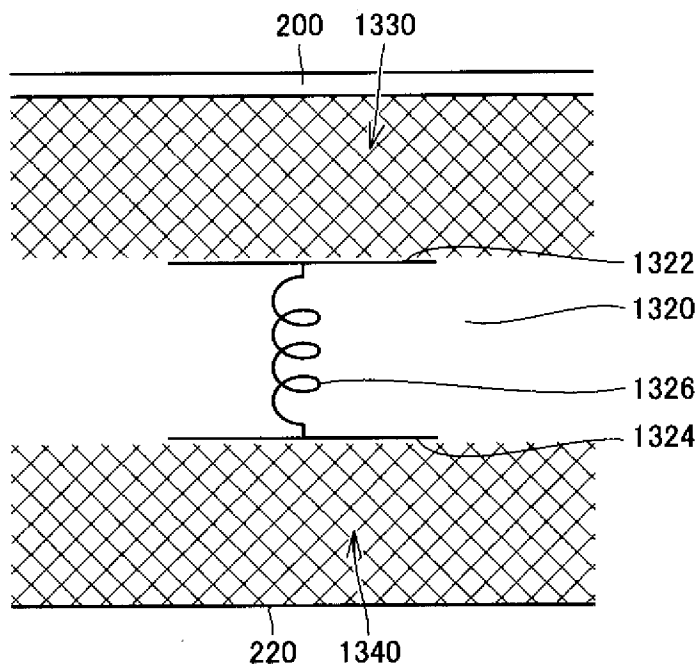
[図34]



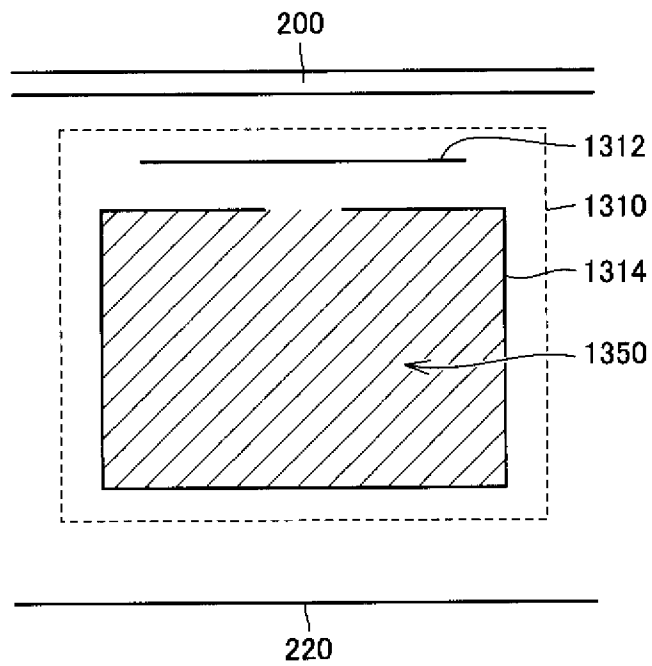
[図35]



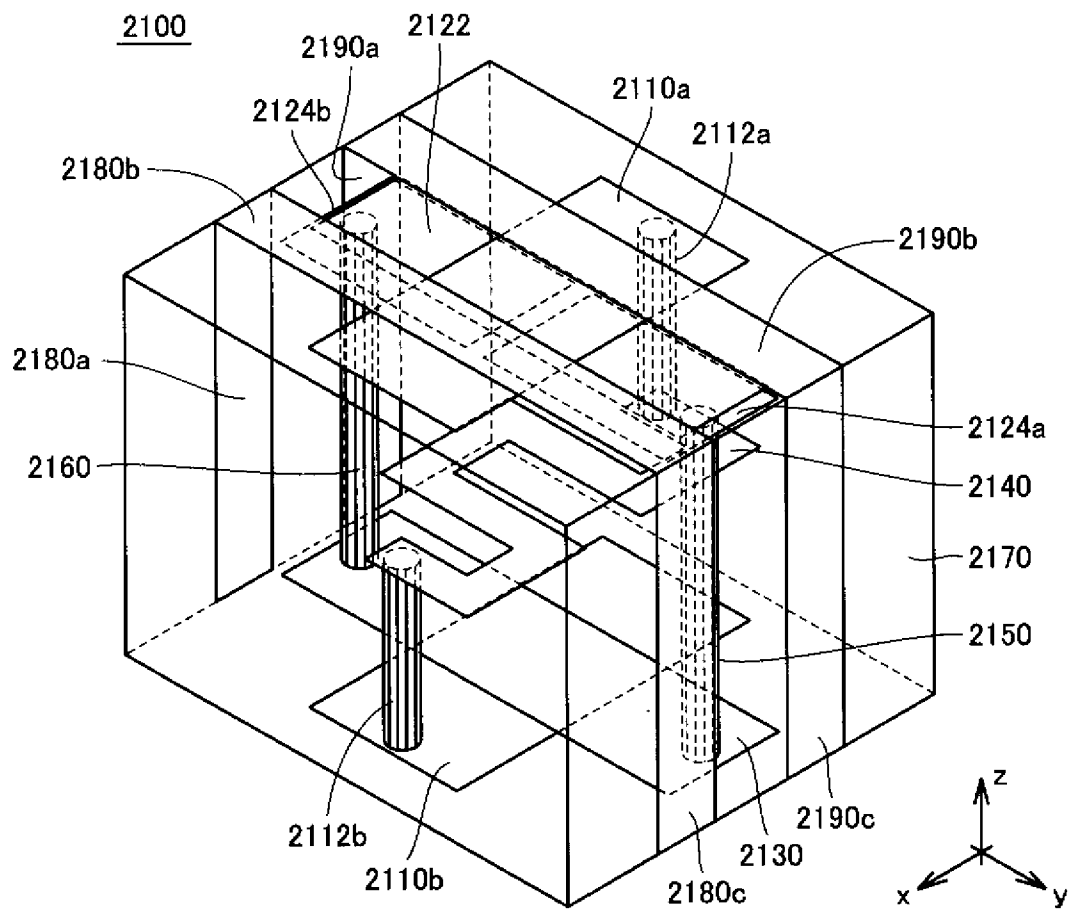
[図36]



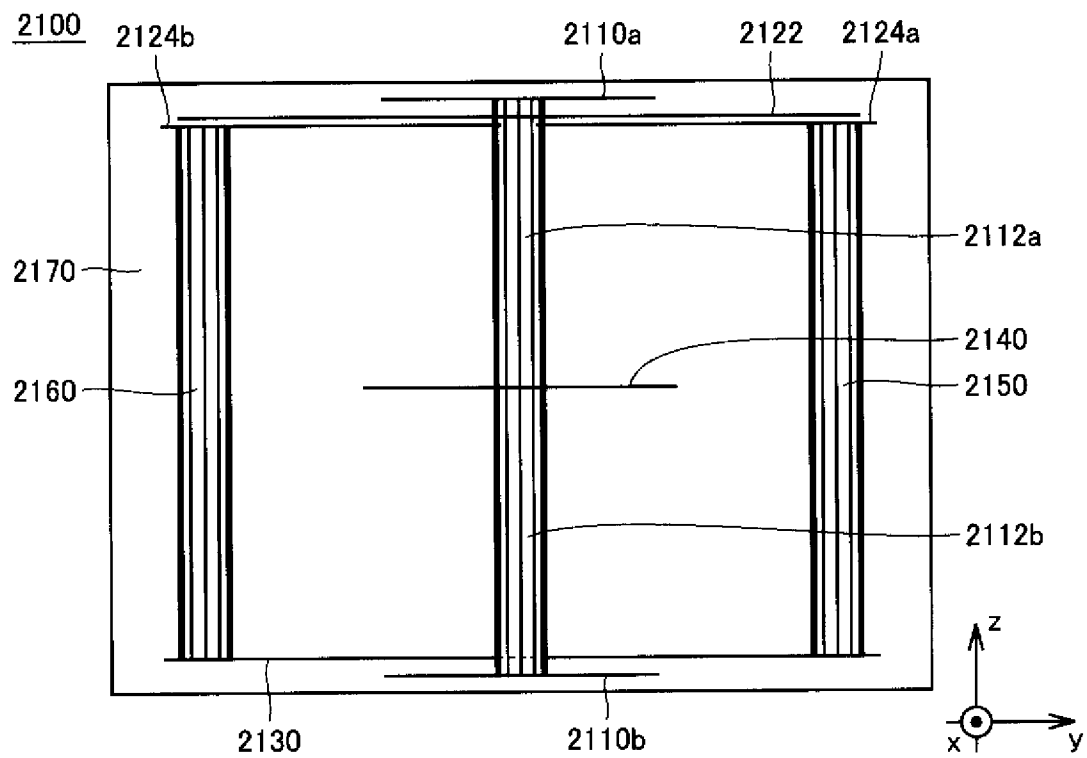
[図37]



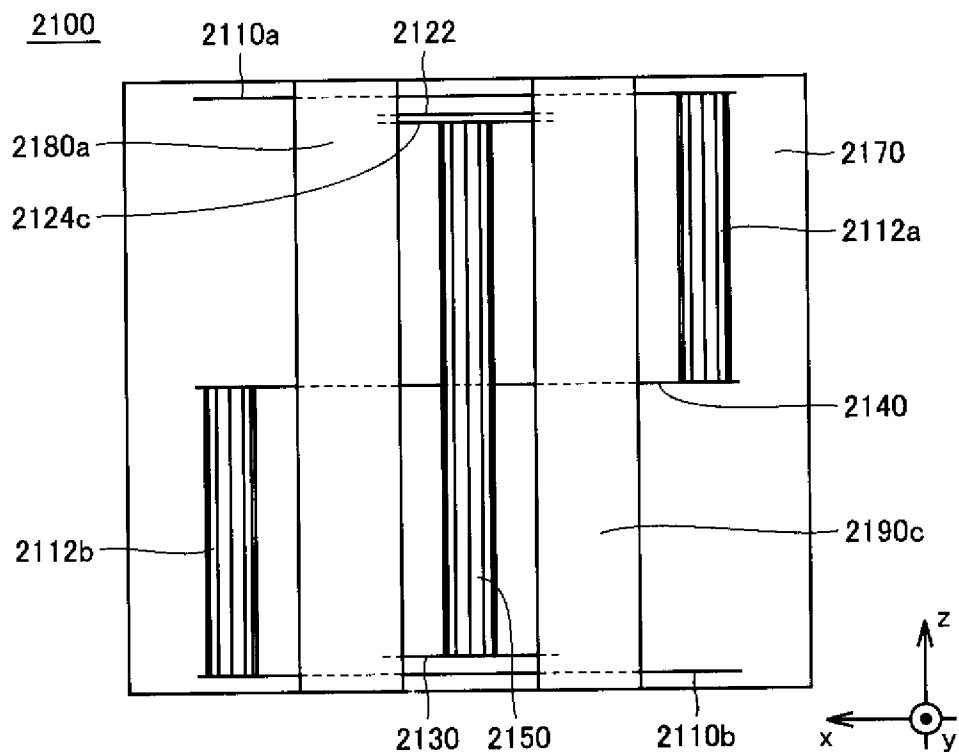
[図38]



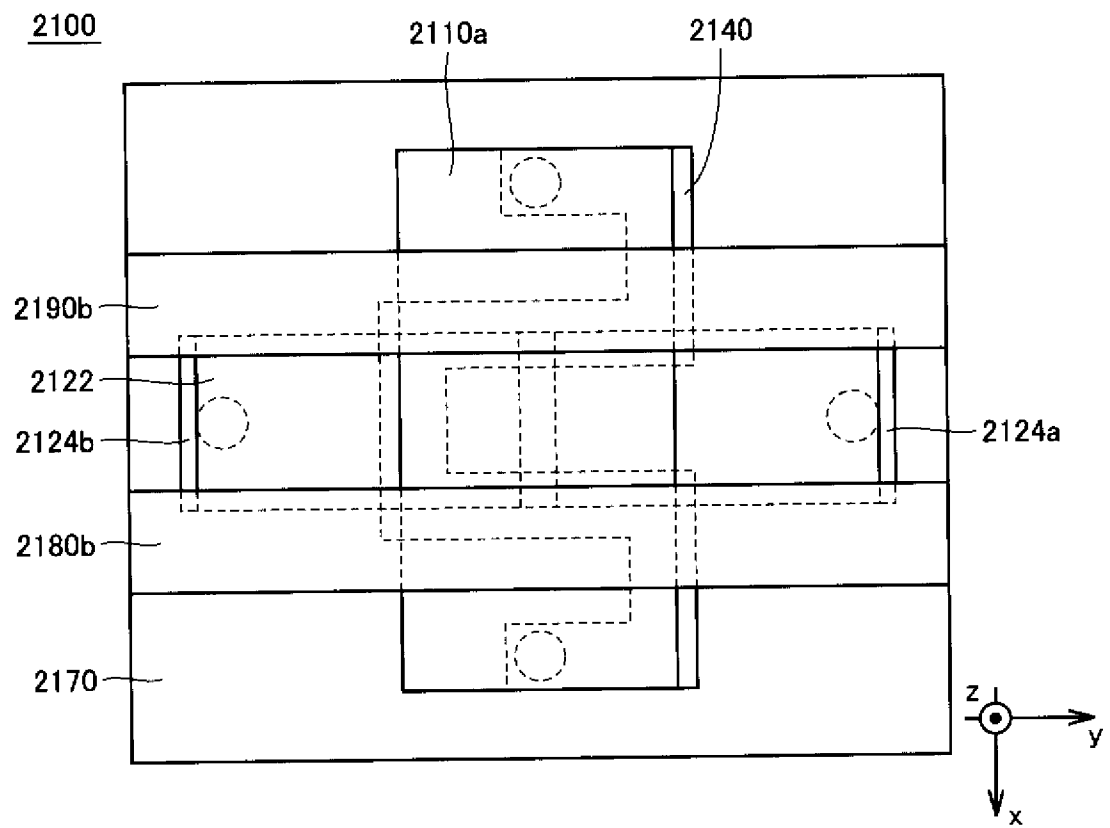
[図39]



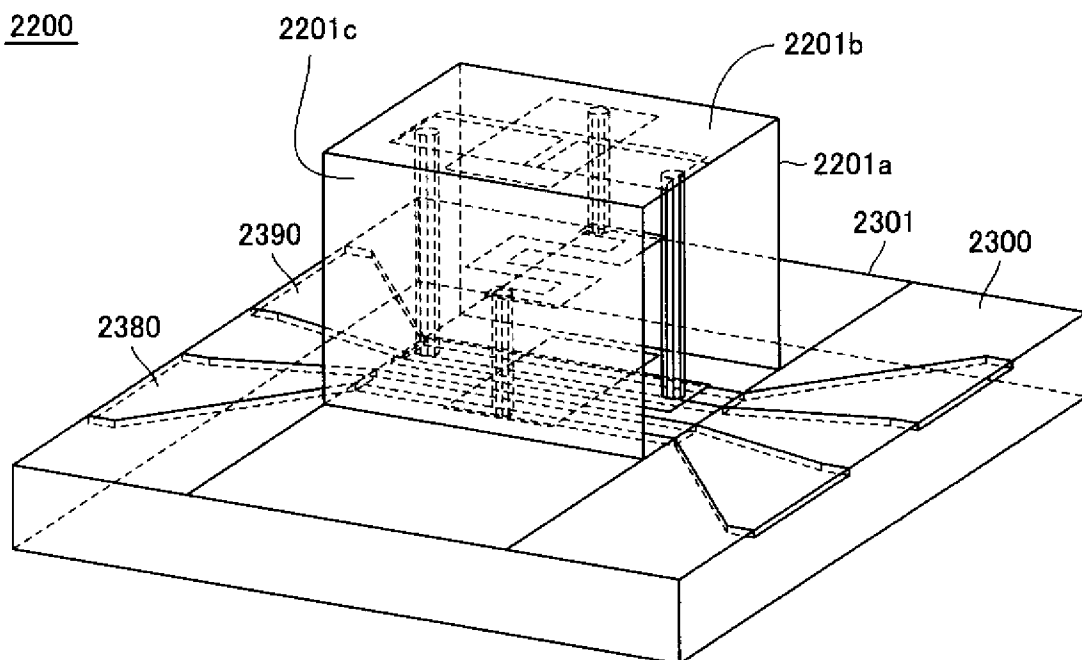
[図40]



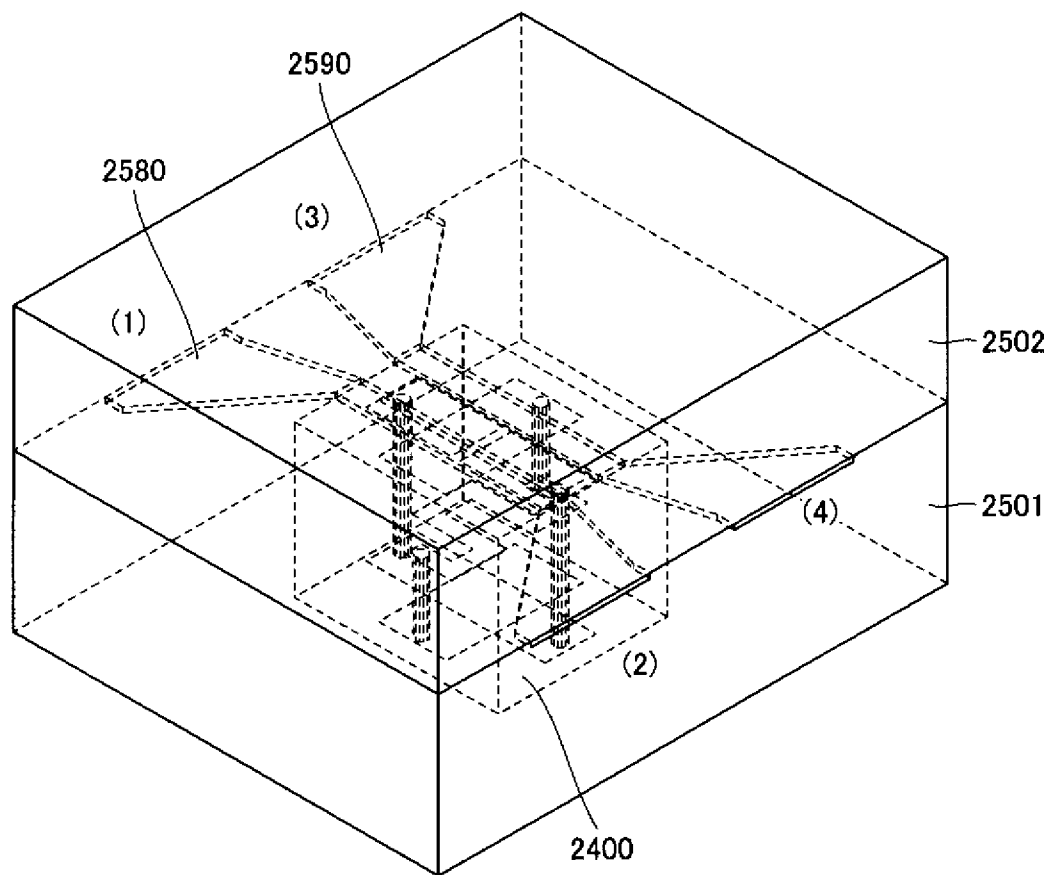
[図41]



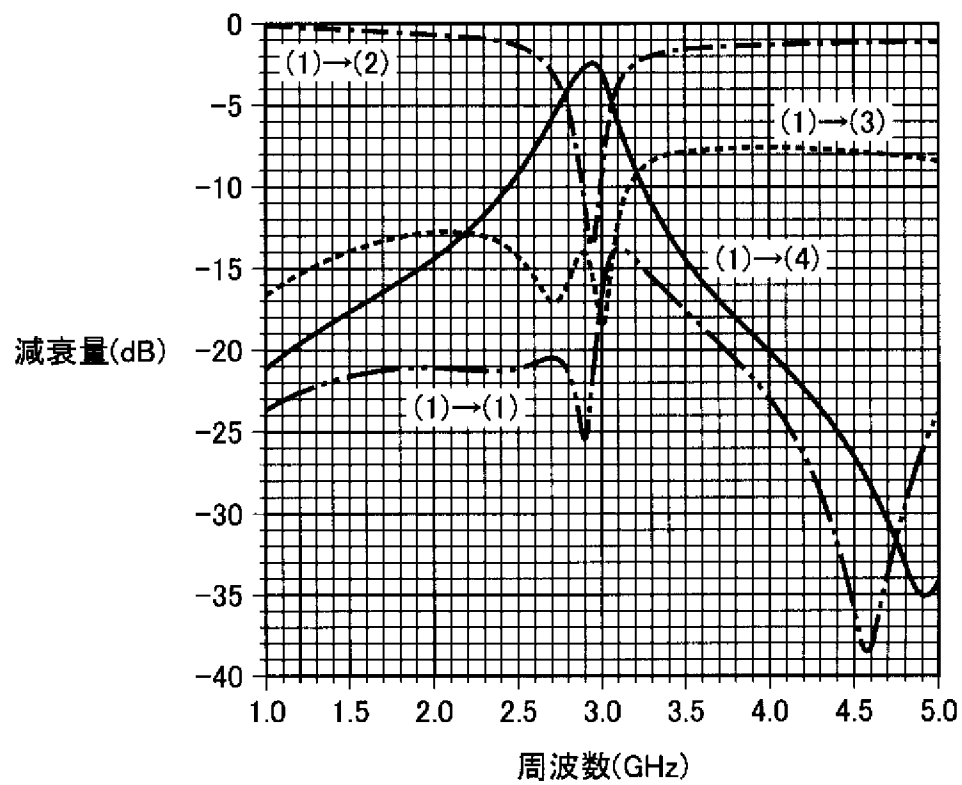
[図42]



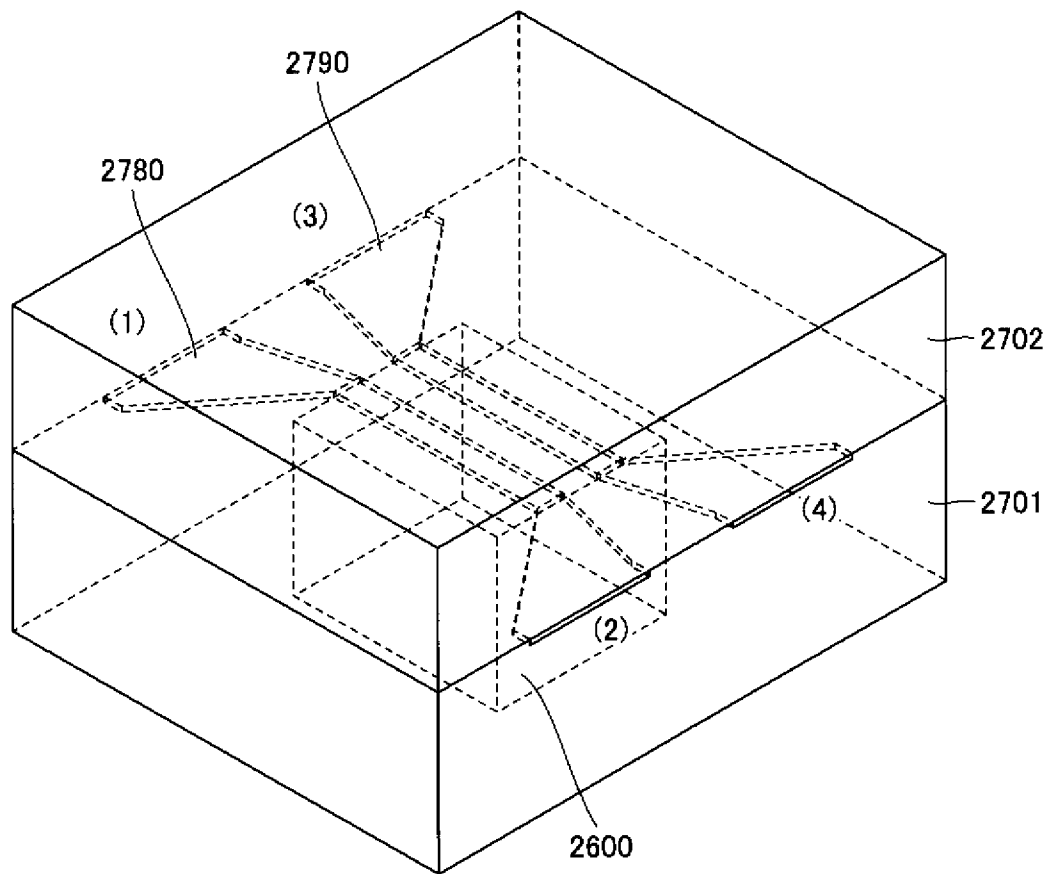
[図43]



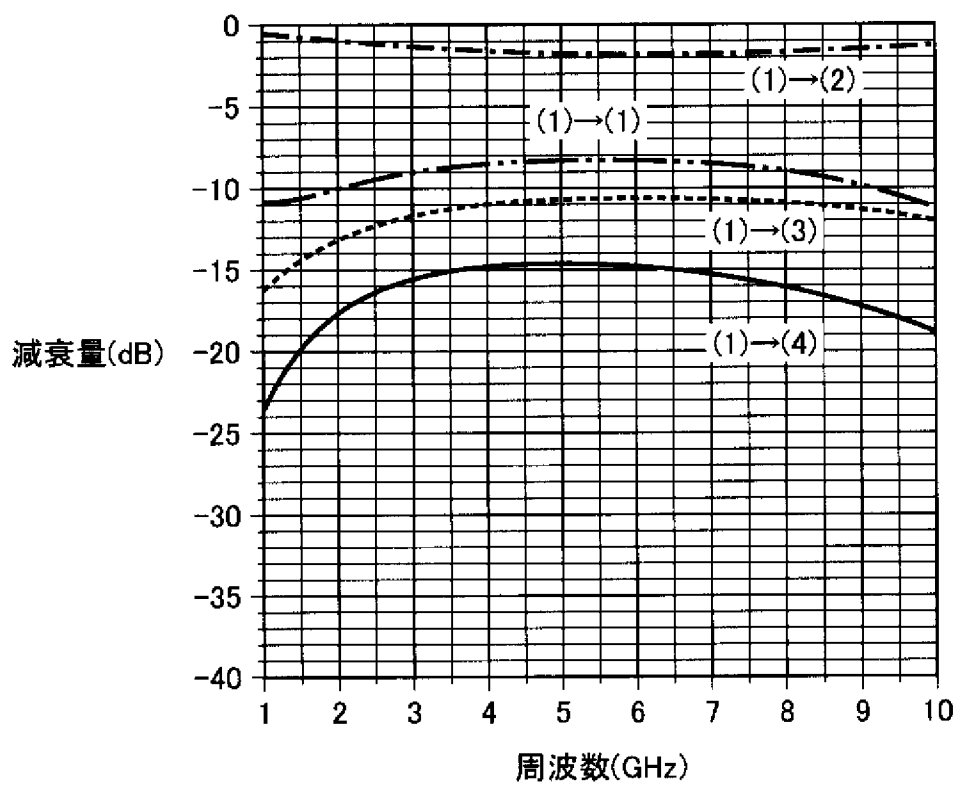
[図44]



[図45]



[図46]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070872

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01P5/18(2006.01) i, H01P1/20(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)

H01P5/18, H01P1/20

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 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII), IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/111460 A1 (Kyoto Institute of Technology), 18 September 2008 (18.09.2008), fig. 67; paragraph [0129] (Family: none)	1-16
A	H.V.Nguyen et al., "Generalized Coupled-Mode Approach of Metamaterial Coupled-Line Couplers: Coupling Theory, Phenomenological Explanation, and Experimental Demonstration", IEEE Trans. MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 2007.05.28 (received date), Vol.55, No.5, pp.1029-1039	1-16
P, A	WO 2009/081663 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 02 July 2009 (02.07.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-16



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

11 March, 2010 (11.03.10)

Date of mailing of the international search report

23 March, 2010 (23.03.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01P5/18(2006.01)i, H01P1/20(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 (I P C))

Int.Cl. H01P5/18, H01P1/20

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII), IEEE Xplore

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	WO 2008/111460 A1 (国立大学法人京都工芸繊維大学) 2008.09.18, 図 67, [0129] (ファミリーなし)	1-16
A	H.V.Nguyen et al., "Generalized Coupled-Mode Approach of Metamaterial Coupled-Line Couplers:Coupling Theory, Phenomenological Explanation, and Experimental Demonstration", IEEE Trans. MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 2007.05.28 (受入日), Vol.55, No.5, pp.1029-1039	1-16

☒ 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

1 1 . 0 3 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 3 . 0 3 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

岸田 伸太郎

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 6 8

5 T

9 1 8 3

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
P, A	WO 2009/081663 A1 (株式会社村田製作所) 2009.07.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-16