

(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 3 月 10 日(10.03.2011)

(10) 国際公開番号
WO 2011/027642 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/35 (2006.01) *G01N 21/01* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/063186
- (22) 国際出願日: 2010 年 8 月 4 日(04.08.2010)
- (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 2009-203824 2009 年 9 月 3 日(03.09.2009) 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 1 〇 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): 神波 誠治 (KAMBA, Seiji) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 瀧川 和夫 (TAKIGAWA, Kazuhiro) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 近藤 孝志 (KONDO, Takashi) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 田中 功

二 (TANAKA, Koji) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).

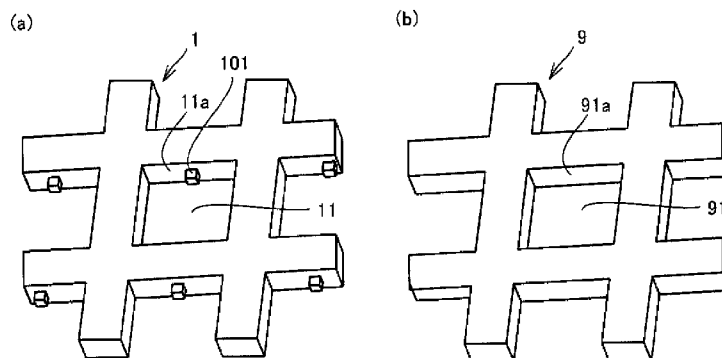
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (Fukami Patent Office, p.c.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目 2 番 7 号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, 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, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR MEASURING THE CHARACTERISTICS OF A MEASUREMENT SUBJECT, AND PLANAR PERIODIC STRUCTURAL BODY

(54) 発明の名称: 被測定物の特性を測定する方法、および平板状の周期的構造体

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a measurement method wherein a measurement subject is held on a planar periodic structural body (1), linearly polarised electromagnetic waves are irradiated onto the planar periodic structural body (1), electromagnetic waves which are forward-scattered or back-scattered by the planar periodic structural body (1) are detected, and the characteristics of the measurement subject are measured in accordance with the change, which is caused by the presence of the measurement subject, in the dip waveform produced in the frequency characteristics of the forward-scattered electromagnetic waves, or in the peak waveform produced in the frequency characteristics of the back-scattered electromagnetic waves. The planar periodic structural body (1) is a planar structural body in which at least two gaps (11) are formed therethrough in the direction perpendicular to the main face thereof, said gaps (11) being arranged periodically in at least one direction on the main face. The electromagnetic waves are irradiated from the direction perpendicular to the main face of the planar periodic structural body.

(57) 要約:

[続葉有]



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, 添付公開書類:
SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明は、平板状の周期的構造体（１）に被測定物を保持し、上記平板状の周期的構造体（１）に直線偏光の電磁波を照射し、上記平板状の周期的構造体（１）で前方散乱または後方散乱された電磁波を検出し、上記前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、上記後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形が、上記被測定物の存在により変化することに基づいて被測定物の特性を測定する測定方法であって、上記平板状の周期的構造体（１）は、その主面に垂直な方向に貫通した少なくとも２つの空隙部（１１）が、上記主面上の少なくとも一方向に周期的に配置された平板状の構造体であり、上記電磁波が、上記平板状の周期的構造体の主面に対して垂直な方向から照射されることを特徴とする、測定方法である。

明 細 書

発明の名称：

被測定物の特性を測定する方法、および平板状の周期的構造体

技術分野

- [0001] 本発明は、平板状の周期的構造体に被測定物を保持して、その被測定物が保持された平板状の周期的構造体に電磁波を照射し、散乱された電磁波を検出して被測定物の特性を測定する方法、それに用いる平板状の周期的構造体、および電磁波フィルタに用いる平板状の周期的構造体に関する。

背景技術

- [0002] 従来から、物質の特性を分析するのに、空隙配置構造体に被測定物を保持して、その被測定物が保持された空隙配置構造体に電磁波を照射し、その透過スペクトルを解析して被測定物の特性を検出する測定方法が用いられている。具体的には、例えば、金属メッシュフィルタに付着したタンパク質などの被測定物に、テラヘルツ波を照射して透過スペクトルを解析する手法が挙げられる。
- [0003] このような電磁波を用いた透過スペクトルの解析手法の従来技術として、特開 2008-185552 号公報（特許文献 1）には、被測定物が保持された空隙領域を有する空隙配置構造体（例えば、金属メッシュ）に向かって、空隙配置構造体の主面に垂直な方向に対して斜めの方向から電磁波を照射して、空隙配置構造体を透過した電磁波を測定し、測定値の周波数特性に生じたディップ波形の位置が、被測定物の存在により移動することに基づいて被測定物の特性を検出する測定方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献 1：特開 2008-185552 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 従来技術のように、空隙配置構造体に向かって照射される電磁波が、空隙配置構造体の主面に対して傾斜して入射される測定方法においては、周波数特性に生じたディップ波形等がブロードな波形であるため、被測定物の存在量が微量になった場合、ディップ波形等の位置の移動の検出が困難になるという問題があった。

[0006] また、このような従来の方法では、電磁波の入射角度のバラツキがディップ波形等のバラツキの要因となるため、被測定物の存在量が微量になった場合、検出が困難になるという問題があった。

[0007] 本発明は上記の事情に鑑み、向上した測定感度と高い再現性を有する、被測定物の特性を測定する方法、ならびに、それに用いられる平板状の周期的構造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

[0008] 本発明は、平板状の周期的構造体に被測定物を保持し、
上記平板状の周期的構造体に直線偏光の電磁波を照射し、
上記平板状の周期的構造体で前方散乱または後方散乱された電磁波を検出し、

上記前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、
上記後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形が、上記被測定物の存在により変化することに基づいて被測定物の特性を測定する測定方法であって、

上記平板状の周期的構造体は、その主面に垂直な方向に貫通した少なくとも2つの空隙部が、上記主面上の少なくとも一方向に周期的に配置された平板状の構造体であり、

上記電磁波が、上記平板状の周期的構造体の主面に対して垂直な方向から照射されることを特徴とする、測定方法である。

[0009] 上記前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、
上記後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形が、上記平板状の周期的構造体のTE₁₁モード様共振により生じたものであることが好ま

しい。

[0010] 上記TE11モード様共振は、TE110モード様共振であることが好ましい。

上記空隙部の形状は、上記電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状であることが好ましい。

[0011] 上記周期的構造体の上記空隙部を形成する部分に、突起部または切欠部を有することが好ましい。

[0012] 上記周期的構造体の空隙部を形成する部分のうち、TE11モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に上記突起部を有するか、あるいは、電界強度が相対的に弱くなる位置に切欠部を有することが好ましい。

[0013] 上記周期的構造体の主面に垂直な方向から見た上記空隙部の形状が、台形、凸型、凹型、多角形、または、星型であることが好ましい。

[0014] 上記周期的構造体の空隙部を形成する部分の一部のみに上記周期的構造体とは異なる物質を付着させることが好ましい。

[0015] 上記周期的構造体の空隙部を形成する部分のうち、TE11モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に、上記周期的構造体とは異なる物質が選択的に保持されることが好ましい。

[0016] 上記周期的構造体の空隙部を形成する部分の一部のみに上記被測定物を保持することが好ましい。

[0017] 上記周期的構造体の空隙部を形成する部分のうち、TE11モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に、上記被測定物が選択的に保持されることが好ましい。

[0018] また、本発明は、上記測定方法に用いられる平板状の周期的構造体であって、

上記平板状の周期的構造体の主面に垂直な方向に貫通した少なくとも2つの空隙部が、上記平板状の周期的構造体の主面上の少なくとも一方向に周期的に配置されており、かつ、

上記測定方法に用いられる際の配置状態において、上記空隙部の形状が、上記電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状である、平板状の周期的構造体にも関する。

[0019] さらに、本発明は、直線偏光の電磁波のフィルタとして用いられる平板状の周期的構造体であって、

上記平板状の周期的構造体の主面に垂直な方向に貫通した少なくとも2つの空隙部が、上記平板状の周期的構造体の主面上の少なくとも一方向に周期的に配置されており、かつ、

電磁波のフィルタとして用いられる際に、電磁波の進行方向に対して上記周期的構造体の主面が垂直になるように配置された状態において、上記空隙部の形状が、上記電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状である、平板状の周期的構造体にも関する。

発明の効果

[0020] 本発明においては、測定に使用する平板状の周期的構造体の空隙部の形状が、該周期的構造体の主面に対して垂直な方向から電磁波が照射される場合において、該電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状であることにより、電磁波を上記平板状の周期的構造体の主面に対して垂直な方向から照射しても被測定物の測定を行うことができるため、電磁波の入射角度のバラツキによる測定のバラツキが抑えられ、被測定物の測定感度が向上する。

[0021] また、本発明に用いられる平板状の周期的構造体の空隙部の構造を、前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形が、平板状の周期的構造体のTE₁₁モード様共振により生じるような構造とした場合、従来の平板状の周期的構造体に斜め方向から電磁波を照射した場合に比べて、帯域幅が狭くシャープなディップ波形またはピーク波形が得られる。したがって、より高い測定感度を有する被測定物の特性測定方法を提供することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1] (a) は、本発明の平板状の周期的構造体の一例における空隙部の斜視図である。(b) は、従来の平板状の周期的構造体の一例における空隙部の斜視図である。

[図2] 電磁界シミュレーションの条件を説明するための模式図である。(a) は、側面図、(b) は正面図である。

[図3] (a) は、図 1 (a) に示す本発明の周期的構造体 1 の透過率 [dB] の周波数特性を示す。(b) は、図 1 (b) に示す従来の周期的構造体 9 の透過率 [dB] の周波数特性を示す。

[図4] (a) は、図 1 (a) に示す本発明の周期的構造体 1 の反射率 [dB] の周波数特性を示す。(b) は、図 1 (b) に示す従来の周期的構造体 9 の反射率 [dB] の周波数特性を示す。

[図5] (a) は、図 1 (a) に示す本発明の周期的構造体 1 の周波数 980 GHz における空隙部の共振電界ベクトル図を示す。(b) は、図 1 (b) に示す従来の周期的構造体 9 の周波数 980 GHz における空隙部の共振電界ベクトル図を示す。

[図6] (a) は、本発明の平板状の周期的構造体の別の例における空隙部の斜視図である。(b) は、(a) に示す周期的構造体における透過率 [dB] の周波数特性の計算結果を示す。

[図7] (a) は、本発明の平板状の周期的構造体の別の例における空隙部の斜視図である。(b) は、(a) に示す周期的構造体における透過率 [dB] の周波数特性の計算結果を示す。

[図8] (a) は、本発明の平板状の周期的構造体の別の例における空隙部の斜視図である。(b) は、(a) に示す周期的構造体における透過率 [dB] の周波数特性の計算結果を示す。

[図9] (a) は、本発明の平板状の周期的構造体の別の例における空隙部の斜視図である。(b) は、(a) に示す周期的構造体における透過率 [dB] の周波数特性の計算結果を示す。

[図10] (a) は、本発明の平板状の周期的構造体の別の例における空隙部の

斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体における透過率[dB]の周波数特性の計算結果を示す。

[図11] (a)は、本発明の平板状の周期的構造体の別の例における空隙部の斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体における透過率[dB]の周波数特性の計算結果を示す。

[図12] 本発明の測定方法の概要を説明するための模式図である。

[図13] 平板状の周期的構造体の格子構造を説明するための模式図である。

[図14] 従来の平板状の周期的構造体等の配置を説明するための断面模式図である。

[図15] 図6(a)に示す本発明の平板状の周期的構造体のポリマー固定化前後における透過率(%)の周波数特性を示す。

[図16] 従来の平板状の周期的構造体のポリマー固定化前後における透過率(%)の周波数特性を示す。

[図17] 図1(a)に示す本発明の周期的構造体1の透過率[%]の周波数特性(計算結果および実測結果)を示す。

[図18] (a)は、空隙部の形状を台形状にした本発明の平板状の周期的構造体の一例における空隙部の斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体における透過率[%]の周波数特性の計算結果を示す。

[図19] (a)は空隙部の形状を凸形状にした本発明の平板状の周期的構造体の一例における空隙部の斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体における透過率[dB]の周波数特性の計算結果を示す。

[図20] (a)は、空隙部の形状を正五角形にした本発明の平板状の周期的構造体の一例における空隙部の斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体における透過率[%]の周波数特性の計算結果を示す。

[図21] (a)は、空隙部の形状を星型にした本発明の平板状の周期的構造体の一例における空隙部の斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体における透過率[%]の周波数特性の計算結果を示す。

[図22] (a)は、空隙部の輪郭の形状をランダムな形状にした本発明の平板

状の周期的構造体の一例における空隙部の正面図である。(b)は、(a)と同じ空隙部の斜視図である。(c)は、(a)および(b)に示す周期的構造体における透過率[dB]の周波数特性の計算結果を示す。

[図23] (a)は、空隙部の形状を十字型にした平板状の周期的構造体の比較例(従来例)における空隙部の正面図である。(b)は、(a)と同じ空隙部の斜視図である。(c)は、(a)および(b)に示す周期的構造体における透過率[%]の周波数特性の計算結果を示す。

[図24] (a)は、空隙部の形状を正六角形にした平板状の周期的構造体の比較例(従来例)における空隙部の正面図である。(b)は、(a)と同じ空隙部の斜視図である。(c)は、(a)および(b)に示す周期的構造体における透過率[%]の周波数特性の計算結果を示す。

[図25] 図18(a)の構造体についての実測およびシミュレーション計算から得られた透過率スペクトルである。

[図26] (a)は、本発明の平板状の周期的構造体のさらに別の例における空隙部の斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体における透過率[dB]の周波数特性の計算結果を示す。

[図27] (a)は、本発明の平板状の周期的構造体のさらに別の例における空隙部の斜視図である。(b)は、(a)に示す周期的構造体のポリマー固定化前における透過率[dB]の周波数特性の計算結果を示す。(c)は、(a)に示す周期的構造体のポリマー固定化後における透過率[dB]の周波数特性の計算結果を示す。

[図28] 本発明の平板状の周期的構造体のさらに別の例における空隙部の斜視図である。

[図29] 本発明の平板状の周期的構造体のさらに別の例における空隙部の斜視図である。

発明を実施するための形態

[0023] 本発明の測定方法の一例の概略を図12を用いて説明する。図12は、本発明の測定方法に用いられる測定装置2の全体構造と、測定装置2における

平板状の周期的構造体 1 の配置を模式的に示す図である。図 1 2 に示すように、この測定装置 2 は、電磁波を発生して照射する照射部 2 1 と、平板状の周期的構造体 1 を透過した電磁波を検出する検出部 2 2 とを備えている。また、照射部 2 1 の動作を制御する照射制御部 2 3、検出部 2 2 の検出結果を解析する解析処理部 2 4、および、解析処理部 2 4 の解析結果を表示する表示部 2 5 を備えている。なお、照射制御部 2 3 は、検出のタイミングを同期させる目的で、解析処理部 2 4 にも接続されていても良い。

[0024] 図 1 2 では、散乱が透過である場合、すなわち電磁波の透過率を測定する場合を示しているが、本発明において「散乱」とは、前方散乱の一形態である透過や、後方散乱の一形態である反射などを含む広義の概念を意味し、好ましくは透過や反射である。さらに好ましくは、0 次方向の透過や 0 次方向の反射である。

[0025] なお、一般的に、回折格子の格子間隔を d （本明細書では空隙部の間隔）、入射角を i 、回折角を θ 、波長を λ としたとき、回折格子によって回折されたスペクトルは、

$$d (\sin i - \sin \theta) = n \lambda \quad \cdots (1)$$

と表すことができる。上記「0 次方向」の 0 次とは、上記式 (1) の n が 0 の場合を指す。 d および λ は 0 となり得ないため、 $n = 0$ が成立するのは、 $\sin i - \sin \theta = 0$ の場合のみである。従って、上記「0 次方向」とは、入射角と回折角が等しいとき、つまり電磁波の進行方向が変わらないような方向を意味する。

[0026] 上記のような測定装置 2 において、照射部 2 1 は、照射制御部 2 3 の制御の下、電磁波を発生・放射する。照射部 2 1 から放射された電磁波は、平板状の周期的構造体 1 に照射され、平板状の周期的構造体 1 を透過した電磁波が検出部 2 2 で検出される。検出部 2 2 において検波された電磁波は、電気信号として解析処理部 2 4 に転送され、透過率の周波数特性（透過率スペクトル）として目視できる形式で表示部 2 5 に表示される。

[0027] このような、本発明の測定方法で用いられる電磁波は、平板状の周期的構

造体の構造に応じて散乱を生じさせることのできる電磁波であれば特に限定されず、電波、赤外線、可視光線、紫外線、X線、ガンマ線等のいずれも使用することができ、その周波数も特に限定されるものではないが、好ましくは1GHz～1PHzであり、さらに好ましくは20GHz～120THzの周波数を有するテラヘルツ波である。また、本発明で用いられる電磁波は、通常、直線偏光の電磁波である。具体的な電磁波としては、例えば、短光パルスレーザを光源として、ZnTe等の電気光学結晶の光整流効果により発生するテラヘルツ波や、高圧水銀ランプやセラミックランプから放射される赤外線や、半導体レーザーから出射される可視光や光伝導アンテナから放射される電磁波が挙げられる。

[0028] 本発明において、被測定物の特性を測定するとは、被測定物となる化合物の定量や誘電率等の各種の定性などを行うことであり、例えば、溶液中等の微量の被測定物の含有量を測定する場合や、被測定物の同定を行う場合が挙げられる。具体的には、例えば、被測定物の溶解した溶液に平板状の周期的構造体を浸漬し、被測定物を平板状の周期的構造体の表面に付着させた後に溶媒や余分な被測定物を洗浄し、平板状の周期的構造体を乾燥してから、上述のような測定装置を用いて被測定物の特性を測定する方法が挙げられる。またポリマーなどで構成されたシート状の基材に被測定物を付着させ、シート状の基材に平板状の周期的構造体を密着させてから、上述のような測定装置を用いて被測定物の特性を測定する方法が挙げられる。

[0029] 本発明において用いられる平板状の周期的構造体とは、平板状の構造体に、その主面に垂直な方向に貫通した少なくとも2つの空隙部が、平板状の周期的構造体の主面上の少なくとも一方向に周期的に配置されたものである。ここで、空隙部は、その全てが周期的に配置されていてもよく、本発明の効果を損なわない範囲で、一部の空隙部が周期的に配置され、他の空隙部が非周期的に配置されていてもよい。

[0030] 平板状の周期的構造体は、好ましくは準周期構造体や周期構造体である。準周期構造体とは、並進対称性は持たないが配列には秩序性が保たれている

構造体のことである。準周期構造体としては、例えば、１次元準周期構造体としてフィボナッチ構造、２次元準周期構造体としてペンローズ構造が挙げられる。周期構造体とは、並進対称性に代表される様な空間対称性を持つ構造体のことであり、その対称の次元に応じて１次元周期構造体、２次元周期構造体、３次元周期構造体に分類される。１次元周期構造体は、例えば、ワイヤーグリッド構造、１次元回折格子などが挙げられる。２次元周期構造体は、例えば、メッシュフィルタ、２次元回折格子などが挙げられる。これらの周期構造体のうちでも、２次元周期構造体が好適に用いられる。具体的には、少なくとも２つの配列方向に規則的に配列された空隙部を有する構造体などが挙げられる。

[0031] ２次元周期構造体としては、例えば、図１３（ａ）に示すようなマトリックス状に一定の間隔で空隙部が配置された平板状構造体（格子状構造体）が挙げられる。図１３（ａ）に示す平板状の周期的構造体１は、その主面１０ａ側からみて正方形の空隙部１１が、図中の縦方向と横方向に等しい間隔で設けられた構造体である。なお、図１３（ａ）、（ｂ）は説明のためのみに用いられる図であり、本発明の平板状の周期的構造体において空隙部に設けられる突起部、切欠部等は省略している。

[0032] 平板状の周期的構造体に設けられる空隙部の形状は、個々の空隙部を導波管とみなした場合に、電磁波を照射することによりＴＥ１１モード様共振を生じるような形状であることが好ましい。ここで、ＴＥ１１モード様共振には、ＴＥ１１モードの共振およびＴＥ１１モードに類似したモードの共振が含まれる。空隙部の形状が、ＴＥ１１モード様共振を生じるような形状であることにより、前方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いディップ波形、または、後方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いピーク波形を得ることができるという利点がある。

[0033] ここで、ディップ波形とは、照射した電磁波に対する検出した電磁波の比率（例えば、電磁波の透過率）が相対的に大きくなる周波数範囲において、平板状の周期的構造体の周波数特性（例えば、透過率スペクトル）に部分的

に見られる谷型（下に凸）の部分の波形である。また、ピーク波形とは、照射した電磁波に対する検出した電磁波の比率（例えば、電磁波の反射率）が相対的に小さくなる周波数範囲において、平板状の周期的構造体の周波数特性（例えば、反射率スペクトル）に部分的に見られる山型（上に凸）の波形である。

[0034] TE₁₁モード様共振を生じる空隙部の形状として、好適には、電磁波が照射される際の配置状態において、電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状が挙げられる。具体的な空隙部の形状としては、例えば、周期的構造体の主面に垂直な方向から見た形状が、台形、凸型、凹型、または、星型であるような空隙部の形状が挙げられる。多角形として、好ましくは、正多角形以外の多角形や、奇数角を有する正多角形（正三角形、正五角形など）が挙げられる。これらのうち、好ましくは凹型や台形であり、加工の容易性の点で、より好ましくは台形である。なお、例えば、正三角形の空隙部が設けられた平板状の周期的構造体の場合、照射される電磁波の偏光方向によっては、その偏光方向に垂直な仮想面に対して空隙部の形状が鏡映対称になってしまう場合があるが、電磁波の偏光方向を調整し、空隙部の形状が仮想面に対して鏡映対称とならないようにすることで、本発明の測定方法を実施することができる。

[0035] また、空隙部を電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状とするために、上記周期的構造体は、上記空隙部を形成する部分に、突起部または切欠部を有することが好ましい。ここで、突起部は、平板状の周期的構造体において、TE₁₁モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる（電界ベクトルが相対的に大きくなる）位置に設けられることが好ましい。また、切欠部は、平板状の周期的構造体において、TE₁₁モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に弱くなる（電界ベクトルが相対的に小さくなる）位置に設けられることが好ましい。このような位置に突起部または切欠部を設けることによって、前方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いディップ波形、または、後方散乱した電磁波の周波数特性に

おける鋭いピーク波形を得ることができるという利点がある。

- [0036] なお、空隙部を形成する平板状の周期的構造体の一部に物質を付着させ、上記仮想面で分割される２つの空隙部を異なる形状としてもよい。
- [0037] ただし、前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形が、平板状の周期的構造体のＴＥ１１モード様共振により生じたものとなるためには、必ずしも、平板状の周期的構造体に設けられる空隙部の形状が、個々の空隙部を導波管とみなした場合に、電磁波を照射することによりＴＥ１１モード様共振を生じるような形状である必要はない。
- [0038] 例えば、周期的構造体の空隙部を形成する面の一部のみに、周期的構造体の構成材料とは異なる物質（例えば、誘電体等）を選択的に付着させることによって、前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形を、平板状の周期的構造体のＴＥ１１モード様共振により生じさせることが可能である。
- [0039] この場合、周期的構造体の構成材料とは異なる物質を、平板状の周期的構造体において、ＴＥ１１モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に、選択的に付着させることが好ましい。このような位置に、周期的構造体の構成材料とは異なる物質を付着させることによって、前方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いディップ波形、または、後方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いピーク波形を得ることができる。
- [0040] また、例えば、周期的構造体の空隙部を形成する面の一部のみを、被測定物との結合性が高い物質で被覆することにより、被測定物を選択的に保持させることによって、前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形を、平板状の周期的構造体のＴＥ１１モード様共振により生じさせることが可能である。
- [0041] この場合、被測定物を、平板状の周期的構造体において、ＴＥ１１モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に、選択的に付着させ

ることが好ましい。このような位置に、周期的構造体の構成材料とは異なる物質を付着させることによって、前方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いディップ波形、または、後方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いピーク波形を得ることができる。

[0042] 本発明に用いられる上述の周期的構造体によって生じるTE₁₁モード様共振は、通常はTE₁₁₀モード様共振である。

[0043] また、空隙部の寸法は、測定方法や、平板状の周期的構造体の材質特性、使用する電磁波の周波数等に応じて適宜設計されるものであり、その範囲を一般化するのは難しいが、前方散乱した電磁波を検出する場合、空隙部が図13(a)に示すように縦横に規則的に配置された平板状の周期的構造体1では、図13(b)にsで示される空隙部の格子間隔が、測定に用いる電磁波の波長の10分の1以上、10倍以下であることが好ましい。空隙部の格子間隔sがこの範囲以外になると、散乱が生じにくくなる場合がある。また、空隙部の孔サイズとしては、図13(b)にdで示される空隙部の孔サイズが、測定に用いる電磁波の波長の10分の1以上、10倍以下であることが好ましい。空隙部の孔サイズがこの範囲以外になると、透過（前方散乱）する電磁波の強度が弱くなって信号を検出することが難しくなる場合がある。

[0044] また、平板状の周期的構造体の厚みは、測定方法や、平板状の周期的構造体の材質特性、使用する電磁波の周波数等に応じて適宜設計されるものであり、その範囲を一般化するのは難しいが、前方散乱した電磁波を検出する場合、測定に用いる電磁波の波長の数倍以下であることが好ましい。構造体の厚みがこの範囲よりも大きくなると、前方散乱する電磁波の強度が弱くなって信号を検出することが難しくなる場合がある。

[0045] 本発明において、平板状の周期的構造体に被測定物を保持する方法としては、種々公知の方法を使用することができ、例えば、平板状の周期的構造体に直接付着させてもよく、支持膜等を介して付着させてもよい。測定感度を向上させ、測定のばらつきを抑えることにより再現性の高い測定を行う観点

からは、平板状の周期的構造体の表面に直接被測定物を付着させることが好ましい。

[0046] 平板状の周期的構造体に被測定物を直接付着させる場合としては、平板状の周期的構造体の表面と被測定物との間で直接的に化学結合等が形成される場合だけでなく、予め表面にホスト分子が結合された平板状の周期的構造体に対して、該ホスト分子に被測定物が結合されるような場合も含まれる。化学結合としては、共有結合（例えば、金属—チオール基間の共有結合など）、ファンデルワールス結合、イオン結合、金属結合、水素結合などが挙げられ、好ましくは共有結合である。また、ホスト分子とは、被測定物を特異的に結合させることのできる分子などであり、ホスト分子と被測定物の組み合わせとしては、例えば、抗原と抗体、糖鎖とタンパク質、脂質とタンパク質、低分子化合物（リガンド）とタンパク質、タンパク質とタンパク質、一本鎖DNAと一本鎖DNAなどが挙げられる。

[0047] 平板状の周期的構造体に被測定物を直接付着させる場合、少なくとも一部の表面が導体で形成された平板状の周期的構造体を用いることが好ましい。平板状の周期的構造体1の少なくとも一部の表面とは、図13（a）に示す主面10a、側面10b、空隙部側面11aのうちいずれかの一部の表面である。

[0048] ここで、導体とは、電気を通す物体（物質）のことであり、金属だけでなく半導体も含まれる。金属としては、ヒドロキシ基、チオール基、カルボキシル基などの官能基を有する化合物の官能基と結合することのできる金属や、ヒドロキシ基、アミノ基などの官能基を表面にコーティングできる金属、ならびに、これらの金属の合金を挙げることができる。具体的には、金、銀、銅、鉄、ニッケル、クロム、シリコン、ゲルマニウムなどが挙げられ、好ましくは金、銀、銅、ニッケル、クロムであり、さらに好ましくは金である。金、ニッケルを用いた場合、特に被測定物がチオール基（—SH基）を有する場合に該チオール基を平板状の周期的構造体の表面に結合させることができるため有利である。また、ニッケルを用いた場合、特に被測定物がヒド

ロキシ基（—OH）やカルボキシル基（—COOH）を有する場合に該官能基を平板状の周期的構造体の表面に結合させることができるため有利である。また、半導体としては、例えば、I V族半導体（Si、Geなど）や、I I—V I族半導体（ZnSe、CdS、ZnOなど）、I I I—V族半導体（GaAs、InP、GaNなど）、I V族化合物半導体（SiC、SiGeなど）、I—I I I—V I族半導体（CuInSe₂など）などの化合物半導体、有機半導体が挙げられる。

[0049] また、支持膜等を介して付着させる場合として、具体的には、平板状の周期的構造体の表面にポリアミド樹脂等の支持膜を貼付して被測定物を該支持膜に付着させる方法や、支持膜に換えて、気密または液密な容器を用いて、流体または流体に分散させた物質を測定する方法が挙げられる。

[0050] 本発明の測定方法においては、上述のようにして求められる平板状の周期的構造体において分散した電磁波の周波数特性に関する、少なくとも1つのパラメータに基づいて、被測定物の特性が測定される。例えば、平板状の周期的構造体1において前方分散（透過）した電磁波の周波数特性に生じたディップ波形や、後方分散（反射）した電磁波の周波数特性に生じたピーク波形などが、被測定物の存在により変化することに基づいて被測定物の特性を測定することができる。

[0051] 次に、図1（a）に示されるような、空隙部を構成する部分に突起部を付加した平板状の周期的構造体を例にして、FDTD法（Finite-difference time-domain method：時間領域差分法）による電磁界シミュレーションを行った。その結果から、本発明の作用を説明する。

[0052] 図1（a）に、本発明の平板状の周期的構造体1の空隙部の斜視図を示す。図1（a）に示す平板状の周期的構造体1は、図1（b）に示す従来の周期的構造体9の空隙部を構成する空隙部側面11a上に、寸法20×20×20μmの立方体状の突起部を付加した構造を有している。

[0053] また、図1（b）に、対照となる従来の平板状の周期的構造体9の空隙部

の斜視図を示す。図 1 (b) に示す従来の周期的構造体 9 は、厚み $60\ \mu\text{m}$ の Al 製の平板に、寸法 $180 \times 180\ \mu\text{m}$ の正形状の貫通穴（空隙部）が形成され、その空隙部がピッチ $254\ \mu\text{m}$ で正方格子状に周期的に配置された構造を有している。

[0054] 次に、図 2 を用いて電磁界シミュレーションの条件を説明する。FDTD 法による電磁界シミュレーションの条件は、図 2 に示されるように、周期的構造体 1 の基本単位 ($254 \times 254 \times 60\ \mu\text{m}$) の主面を入射面、その反対面を検出面とし、それら以外の面を周期境界とした。また、基本単位を XYZ 方向の寸法が全て $5\ \mu\text{m}$ のユニットセルに分割した。さらに、周期的構造体の材料は Al とした。なお、図 2 は図 1 (a) に示す周期的構造体 1 に関する説明図であるが、従来の周期的構造体 9 についても同様の条件が適用される。電磁波は、平面波（直線偏光波）を構造体の主面に対して垂直に入射し、突起部 101 を付加した空隙部の一辺と入射電磁波の偏光面（電界面）が直交するように入射した。図 2 において、X は電界方向（偏光方向）、Y（紙面に垂直な方向）は磁界方向、Z は電磁波の進行方向を示す。また、平板状の周期的構造体からの散乱波の検出は、前方散乱（構造体の透過波）を検出することとし、平面波の波源とは逆側に設けた検出面 221 で透過した電磁波が検出されるものとした。周期的構造体 1 と検出面 221 との間の距離は $200\ \mu\text{m}$ とした。

[0055] 図 3 (a) に、図 1 (a) に示す本発明の周期的構造体 1 の透過率 [dB] の周波数特性を示す。図 3 (b) に、図 1 (b) に示す従来の周期的構造体 9 の透過率 [dB] の周波数特性を示す。

[0056] 同様に、平面波の波源と同じ側に設けた検出面 222 で、後方散乱（反射）した電磁波を検出する場合の、電磁界シミュレーションを行った。図 4 (a) に、図 1 (a) に示す本発明の周期的構造体 1 の反射率 [dB] の周波数特性を示す。図 4 (b) に、図 1 (b) に示す従来の周期的構造体 9 の反射率 [dB] の周波数特性を示す。

[0057] 図 3 と図 4 の比較から、 $980\ \text{GHz}$ 付近の周波数に、前方散乱された電

磁波の周波数特性（透過率スペクトル）に生じるディップ波形、または、後方散乱された電磁波の周波数特性（反射率スペクトル）に生じるピーク波形は、図 1（a）に示す本発明の周期的構造体 1 のみで生じていることがわかる。

[0058] 図 5（a）に、図 1（a）に示す本発明の周期的構造体 1 に周波数 980 GHz の電磁波を照射した場合における空隙部の共振電界ベクトル図を示す。図 5（b）に、図 1（b）に示す従来の周期的構造体 9 の周波数 980 GHz の電磁波を照射した場合における空隙部の共振電界ベクトル図を示す。

[0059] 図中の三角形の鋭利な先端（一番角度の小さな頂点）の方向が電界ベクトルの方向を示す。なお、黒色の三角形は電界ベクトルが比較的大きい（電界強度が相対的に強い）部分を示し、白色の三角形は電界ベクトルが相対的に小さい部分を示している。これら共振電磁界ベクトル図の比較から、図 1（b）に示す従来の周期的構造体 9 の空隙部 91 では、それを貫通する各々の空隙部を 1 つの導波管とみなした場合の共振モードが TE₁₀モードと類似する共振（TE₁₀モード様共振）が生じており、図 1（a）に示す本発明の周期的構造体 1 の空隙部 11 では、TE₁₁モードと類似する共振（TE₁₁モード様共振）が生じていることがわかる。

[0060] 図 5（a）に示す電界ベクトル図において、TE₁₁モード様共振が生じた際に、電界ベクトルが相対的に大きくなる部分（黒色の三角形の部分）に、突起部や切欠部等を設けることが好ましい。前方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いディップ波形、または、後方散乱した電磁波の周波数特性における鋭いピーク波形を得ることができるためである。

[0061] 以上のシミュレーション結果から、平板状の周期的構造体の主面に垂直に電磁波を入射した場合、従来の周期的構造体 9 ではディップ波形が生じず、本発明の周期的構造体 1 のみでディップ波形が生じる理由は、以下のように説明される。

[0062] ディップ波形の生じる原因となる空隙部に見られる TE₁₁モード様共振は、図 5（a）に示したように、空間対称性が非常に高い共振形態を有して

いる。そのため従来の周期的構造体 9 のように電磁波の偏光方向（図中の Y 方向）と直交する仮想面 3 に対して鏡映対称性を有する空隙部を有する構造では、常に仮想面 3 で分割される空隙部の一方の領域の合成ベクトルと他方の領域の合成ベクトルとが常に同じ大きさで逆向きのベクトルになってしまう。このため、空隙部全体の合成ベクトルは常にゼロとなってしまう。すなわち、従来構造（従来の周期的構造体 9）の TE 1 1 モード様共振はそれによるダイポールモーメントが常にゼロになるため入射電磁波との結合が生じず、TE 1 1 モード様共振は励振されない。なお、ダイポールモーメント（双極子モーメント）とは、三次元空間領域において、電荷または磁荷の負のチャージから正のチャージへ方向ベクトルとその大きさとの積で特徴づけられるベクトルである。

[0063] 一方、本発明の周期的構造体の空隙部は、電磁波の偏光方向と直交する仮想面 3 に対して鏡映対称性を有しない、これによって、一方の空隙部の合成ベクトルと、他方の空隙部の合成ベクトルが同じではなくなり、結果として、ゼロではない有限の大きさを有するダイポールモーメントが生じることになり、これと入射電磁波が結合するために TE 1 1 モード様共振が励振されるようになる。

[0064] また、以上の説明においては、平板状の周期的構造体で前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形の位置などが、被測定物の存在により移動することに基づいて被測定物の特性を測定する測定方法を開示したが、それ以外の応用として、本発明の平板状の周期的構造体は、空間を伝搬する電磁波のフィルタ（電磁波フィルタ）として使用することが出来る。例えば、本明細書中において例示される各種の平板状の周期的構造体を、電磁波フィルタとして用いることが可能である。

[0065] 従来の電磁波フィルタは、一定範囲の電磁波を通過させる帯域通過特性（バンドパス特性）のみを有するものであったのに対して、本発明の平板状の周期的構造体は、前方散乱の電磁波特性に生じるディップ波形に相当する周

波数帯域に減衰極を生じるような減衰特性を付加した（有極型）帯域通過フィルタ（バンドパスフィルタ）として用いることができる。本発明の平板状の周期的構造体は、電磁波のフィルタとして用いられる際に、電磁波の進行方向に対して上記周期的構造体の主面が垂直になるように配置された状態において、前方散乱した電磁波の周波数特性におけるディップ波形、または、後方散乱した電磁波の周波数特性におけるピーク波形を得ることができるためである。

[0066] 電磁波フィルタとして用いることのできる本発明の平板状の周期的構造体は、移動通信装置や放送装置などに用いることができる。

実施例

[0067] 以下、実施例を挙げて本発明をより詳細に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0068] （実施例 1）

本実施例では、平板状の周期的構造体において、空隙部を構成する面の一部に突起部や切欠部を付加した例を示す。

[0069] [図 6（a）～図 11（a）に示す周期的構造体についてのシミュレーション計算]

図 6（a）～図 11（a）に、6 種類の本発明の平板状の周期的構造体の空隙部の構造を示す。図 6（a）は、空隙部を構成する空隙部側面の 1 面の中央部付近に突起部 101 を配置した周期的構造体 1 を示す。図 7（a）は、図 6（a）の突起部 101 の位置を空隙部側面のうちの 1 面の中央部付近からずらせた周期的構造体 1 を示す。図 8（a）は、図 6（a）の突起部 101 の大きさを大きくした周期的構造体 1 を示す。図 9（a）は、空隙部側面のうちの 1 面の端部付近に切欠部 102 を配置した周期的構造体 1 を示す。図 10（a）は、図 9（a）の切欠部 102 の位置を変えた周期的構造体 1 を示す。図 11（a）は、図 9（a）の切欠部の大きさを変えた周期的構造体 1 を示す。なお、これらの図は、周期的構造体 1 の空隙部を含む単位構造のみを示しており、この単位構造が 2 次元的に無限に連続してなる周期的構

造体がシミュレーションの対象となる。電磁波は、周期的構造体 1 の主面に垂直な方向（各図の（a）における Z 方向）が進行方向となり、各図の（a）における X 方向が電磁波の偏光方向となるように照射されるものとする（以下、同様）。

[0070] 図 6（a）～図 11（a）の各々の周期的構造体について、図 2 を用いて説明した上記と同様の条件で、電磁界シミュレーションにより計算した透過率 [dB] の周波数特性を図 6（b）～図 11（b）に示す。シミュレーション計算には、市販のシミュレーション計算ソフト（CST 社製 MICRO STRIPES 2009）を使用した。このシミュレーションソフトは、ソフト上で作製した周期的構造体の単位構造の図形に基づいてシミュレーションを実行することのできるソフトである。したがって、例えば、後述の図 22（a）に示されるようなランダムな形状の空隙を有する周期的構造体についても、ソフト上で図 22（a）のような単位構造の図面を作製することによりシミュレーション計算を実行することができる。なお、図 6（a）～図 11（a）に示される周期的構造体は、ほぼシミュレーションソフト上で作製した図形と同じ縮尺のものであるが、本発明の効果を示すためには、空隙部の形状の対称性（空隙部の形状が照射される電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならないこと）等が重要であり、厳密な図形の情報（空隙のサイズ等）は必ずしも重要ではないため省略している。

[0071] これらの結果から、空隙部の形状が、電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならないように、空隙部の一部に突起部や切欠部を付加した周期的構造体を用いることによって、平板状の周期的構造体 1 の主面に対して垂直な方向から電磁波を照射した場合でも、TE₁₁モード様共振に由来するディップ波形が生じることが分かる。

[0072] なお、本実施例では、平板状の構造体を貫通する空隙部の形状として、正形状の空隙部を用いているが、例えば、図 28 に示す円形状の空隙部を有する周期的構造体 1 においても同様に突起部 101 を設けることで、上記と同様の効果を得ることができる。本実施例では、平板状の構造体を貫通する

空隙部が平板状の構造体の主面方向に正方格子状に周期的に配置された構造体を用いているが、例えば、図 29 に示すように、三角格子状に空隙部が配置された周期的構造体などにおいても、空隙部が上記条件を満たす形状であれば、同様の結果を得ることができる。

[0073] [図 6 (a) に示す周期的構造体についての実測]

次に、図 6 (a) に示す平板状の周期的構造体を実際に作製し、それに電磁波を照射したときの周波数特性を評価した。以下に、その周期的構造体の作製手順を示す。

[0074] 300mm 角の平滑面を有する導体板（材質：Cu）を用意し、その片面に感光性樹脂層を厚み 100 μm で塗布・乾燥した。図 6 (a) の主面内の周期構造が展開されたフォトリソマスクを用意し、図 6 (a) の空隙部に相当する部分を UV 硬化させた。図 6 (a) の構造体部分に相当する非硬化樹脂層をリンスで除去し、導体板を露出させた。フォトリソグラフィーによるパターンニングが終わった面に対して、ポリマー溶液を塗布・乾燥することで、導体板露出部分に極めて薄い剥離可能なポリマー層を形成した。

[0075] このようにして得られた導体板を Ni 電界メッキ浴中に配置し通電することで、ポリマー層が形成されておらず導体板が露出した部分のみに、Ni メッキ膜を厚み 60 μm で形成した。メッキ後、導体板に残る硬化樹脂分を溶剤にて除去し、導体板から Ni メッキ構造体を剥離することで、図 6 (a) に示す空隙部が主面上の縦横方向に周期的に配置された厚み 60 μm の Ni 製の平板状の周期的構造体を得た。

[0076] 得られた Ni 製の平板状の構造体に対して、無電界 Au メッキを行うことで、Au で被覆された周期的構造体を得た。

[0077] 上記のようにして作製した平板状の周期的構造体を用いて、図 12 に示す装置構成で、上記シミュレーションの条件と同様の条件において、周期的構造体の主面に対して垂直な方向から電磁波を照射した時に前方散乱した電磁波（周期的構造体を透過した電磁波）の周波数特性を実際に測定した。なお、本測定では、図 12 で平板状の周期的構造体に照射する電磁波は、平行光

としたが、本発明においては、平行光あるいは集光のどちらの光学系を用いることもできる。

[0078] 図12に示すように、本発明の測定方法において、電磁波は平板状の周期構造体1の主面に対して垂直な方向から照射される。すなわち、平板状の周期構造体1の主面に対して垂直な直線と電磁波の進行方向とのなす角度を入射角 α とすると、本発明の測定方法における入射角 α は 0° となる。従来の測定方法においては、電磁波の入射角 α が 0° ではなく、数度程度となるように設定されていた。本発明においては、電磁波を、上記平板状の周期的構造体の主面に対して垂直に入射することにより、斜め入射時に必要となる周期的構造体を回転させる機構部品が不要となり、この機構部品の回転角誤差（一般的に $\pm 0.5^\circ$ ）による影響が抑えられるため、電磁波の入射角度のバラツキによる測定のバラツキが抑えられ、被測定物の測定感度が向上する。

[0079] 図15に、以上のようにして図6(a)に示す周期的構造体について実際に測定した周波数特性を示す（図15の実線部）。図15の結果から、図6(b)のシミュレーション計算結果と同様に、図6(a)に示す周期的構造体1に、平板状の周期的構造体の主面に対して垂直な方向から電磁波を照射することにより、TE₁₁モード様共振に由来するディップ波形が生じることがわかる。

[0080] [従来の周期的構造体の実測]

比較対照として、上記と同様の作製方法で、図6(a)の構造から、突起部101を除いた従来の平板状の周期的構造体（すなわち、図1(b)に示す周期的構造体9）を作製した。さらに、図12に示す装置構成において、図14に示すように周期的構造体9の主面に垂直な方向と電磁波の進行方向とのなす角度 α が 9° となるように、周期的構造体を傾いた状態で配置し、周期的構造体の透過率の周波数特性を実際に測定した。得られた透過率の周波数特性を図16に示す（図16の実線部）。

[0081] 図15の実線部および図16の実線部に示す周波数特性の比較から、本発明の方法によって図15に現れるディップ波形は、従来の方法によって図1

6に現われるそれよりも帯域幅が狭くシャープな波形になっていることがわかる。

[0082] [ポリマー固定化前後の周期的構造体についての実測]

さらに、効果を確認するために以下の比較を行った。被測定物として、濃度 $10 \mu\text{g/mL}$ のチオール基末端を有するポリマー（分子量 6000）の水溶液を 10 mL 用意し、上述の [図 6（a）に示す周期的構造体についての実測] で作製した図 6（a）に示す本発明の周期的構造体と、または、上述の [従来の周期的構造体の実測] で作製した図 1（b）に示す従来の周期的構造体の各々を、該水溶液中に配置し約 4 時間放置することで、チオール基末端を有するポリマー（被測定物）が周期的構造体の Au 上に固定化された 2 種類の試料を作製した。

[0083] 各試料を、上述の [図 6（a）に示す周期的構造体についての実測] と同じ方法を用いて、ポリマー固定化後の透過率の周波数特性を実際に測定した。本発明の周期的構造体のポリマー固定化後の測定結果を図 15 に破線で示す。また、従来の周期的構造体のポリマー固定化後の測定結果を図 16 に破線で示す。

[0084] 図 15 および図 16 から、周波数 923 GHz におけるポリマー固定化前後の透過率の変化率を求めた。本発明の周期的構造体を用いた場合（図 15）は、固定化前の透過率が 44.2% で、固定化後の透過率が 56.4% であり、固定化前後の透過率の変化率は 12.2% であった。これに対して、従来の周期的構造体を用いた場合（図 16）は、変化率が少なくなっており、固定化前の透過率が 3.4% で、固定化後の透過率が 11.4% であり、固定化前後の透過率の変化率は 7.0% であった。

[0085] このことから、本発明の測定方法においては、ディップ波形が従来の測定方法よりも帯域幅が狭くシャープな波形であることにより、平板状の周期的構造体に付着した被測定物であるチオール基末端を有するポリマーの存在による特性変化量を大きくすることができ、本発明で測定感度の向上が達成されることがわかる。

[0086] なお、本実施例では、A uーチオール結合を用いて、被測定物を直接的に構造体に付着させた例を示したが、フィルムなどの被測定物を構造体の主面に押し当てるような間接的な付着形態で測定を行うこともできる。また、抗体、糖鎖、DNAなどのプローブ分子を構造体上に固定化した状態を初期状態として、それらのプローブ分子に被測定物である抗原、タンパク質、ウィルス、DNAなどが特異的に吸着した状態を付着状態として、測定を行ってもよい（下記実施例4においても同様）。

[0087] [図1(a)に示す周期的構造体についてのシミュレーション計算と実測の比較]

さらに、上述の[図6(a)に示す周期的構造体についての実測]と同様にして、図1(a)に示す本発明の周期的構造体1を作製し、周波数特性を実際に測定した。また、上述の[図6(a)～図11(a)に示す周期的構造体についてのシミュレーション計算]と同様にして、図1(a)に示す本発明の周期的構造体1についてのシミュレーション計算を行った。ただし、透過率の単位は%とした。両者の結果を併せて図17に示す。

[0088] 図17の結果から、実測値から得られた透過率スペクトルと、シミュレーション計算で得られた透過率スペクトルとの間で、ディップ波形の形状はほぼ一致していることが分かる。

[0089] (実施例2)

本実施例では、空隙部の全体的形状を、電磁波の偏光方向に対して垂直な仮想面に対して非対称な形状とした例を示す。

[0090] 図18～図21の(a)並びに図22～図24の(a)および(b)に、5種類の本発明および2種類の比較例の平板状の周期的構造体の空隙部の構造を示す。図18(a)は、空隙部の形状(周期的構造体の主面に垂直な方向から見た形状)を台形状にした場合を示す。図19(a)は、空隙部の形状を凸形状にした場合を示す。図20(a)は、空隙部の形状を正五角形にした場合を示す。図21(a)は、空隙部の形状を星型にした場合を示す。図22(a)および(b)は、空隙部の輪郭の形状を図示したとおりのラン

ダムな形状にした場合を示す。図 2 3 (a) および (b) は、空隙部の形状を十字型にした比較例 (従来例) を示す。図 2 4 (a) および (b) は、空隙部の形状を正六角形にした比較例 (従来例) を示す。

[0091] 図 1 8 ~ 図 2 1 の (a) 並びに図 2 2 ~ 図 2 4 の (a) および (b) の各々の周期的構造体について、図 2 を用いて説明した上記と同様の条件で、電磁界シミュレーションにより計算した透過率の周波数特性を図 1 8 ~ 図 2 1 の (b) および図 2 2 ~ 図 2 4 の (c) に示す。これらの結果から、空隙部の全体的形状を、電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならないようにした周期的構造体を用いることによって、平板状の周期的構造体 1 の主面に対して垂直な方向から電磁波を照射した場合でも、TE₁₁モード様共振に由来するディップ波形が生じることが分かる。

[0092] なお、本実施例では、平板状の構造体を貫通する空隙部の形状として、台形、凸形、正五角形、星型などを用いているが、上記本発明の条件を満たす他の形状 (例えば、図 2 2 の (a) および (b) に示すような形状) であっても、同様の効果を得ることができる。また、本実施例では、平板状の構造体を貫通する空隙部が平板状の構造体の主面方向に正方格子状に周期的に配置された構造体を用いているが、三角格子状に空隙部が配置された周期的構造体などにおいても、空隙部が上記条件を満たす形状であれば、同様の結果を得ることができる。

[0093] [図 1 8 (a) に示す周期的構造体についてのシミュレーション計算と実測の比較]

さらに、実施例 1 の [図 6 (a) に示す周期的構造体についての実測] と同様にして、図 1 8 (a) に示す本発明の周期的構造体 1 を作製し、周波数特性を実際に測定した。また、実施例 1 の [図 6 (a) ~ 図 1 1 (a) に示す周期的構造体についてのシミュレーション計算] と同様にして、図 1 8 (a) に示す本発明の周期的構造体 1 についてのシミュレーション計算を行った。ただし、透過率の単位は % とした。両者の結果を併せて図 2 5 に示す。

[0094] 図 2 5 の結果から、実測値から得られた透過率スペクトルと、シミュレー

シミュレーション計算で得られた透過率スペクトルとの間で、ディップ波形の形状はほぼ一致していることが分かる。すなわち、シミュレーション計算結果と同様に、図 18 (a) に示す周期的構造体 1 に、平板状の周期的構造体の主面に対して垂直な方向から電磁波を照射することにより、TE₁₁モード様共振に由来するディップ波形が生じることがわかる。

[0095] また、図 25 および従来例の図 16 に示す周波数特性の比較から、本発明の方法によって図 25 に現れるディップ波形は、従来の方法によって図 16 に現れるそれよりも帯域幅が狭くシャープな波形になっており、上記実施例 1 と同様に測定感度の向上が達成されることがわかる。

[0096] (実施例 3)

本実施例では、平板状の周期的構造体（材質：Cu）の空隙部を形成する部分の一部のみに、周期的構造体とは異なる物質（誘電体）を付着させた例を示す。図 26 (a) に示す平板状の周期的構造体 1 は、空隙部を構成する空隙部側面のうちの 1 面の中央部付近に誘電体 103 を付着させた構造体である。

[0097] 図 26 (b) に、図 26 (a) に示す平板状の周期的構造体 1 について、実施例 1 の電磁界シミュレーションと同様の条件で計算した、透過率 [dB] の周波数特性を示す。この結果から、周期的構造体の空隙部を形成する部分の一部に物質を付着させ、上記仮想面で分割される 2 つの空隙部の形状を異ならせることで、TE₁₁モード様共振に由来するディップ波形が生じることがわかる。

[0098] なお、本実施例では、誘電体の影響が最大になるように考慮し、正方形状の空隙部に対して TE₁₁モード様共振が生じた場合（図 5 (a) 参照）に、最も電界強度が強くなる正方形の 1 辺の中央部付近に誘電体を配置している。空隙部の形状を変えた場合でも、同様に、空隙部に対して TE₁₁モード様共振が生じた場合に電界強度が相対的に強くなる位置に誘電体を配置することが好ましい。

[0099] また、本実施例では、平板状の構造体を貫通する空隙部が平板状の構造体

の主面方向に正方格子状に周期的に配置された構造体を用いているが、例えば、三角格子状に空隙部が配置された周期的構造体などにおいても、空隙部が上記条件を満たす形状であれば、同様の結果を得ることが出来る。

[0100] また、本実施例では、周期構造体の空隙部に付着させる物質として誘電体を例示しているが、その他の物質として、半導体、磁性体、抵抗体などを用いた場合でも、同様の結果を得ることができる。

[0101] (実施例 4)

本実施例では、周期的構造体の空隙部を形成する部分の一部のみに被測定物が保持される例を示す。

[0102] 本実施例では、図 27 (a) に示すように、周期的構造体 9 の空隙部側面の 1 つの面のみに Au 無電解メッキ膜 104 が形成された周期的構造体を用いる。この周期的構造体は、上記の実施例 1 と同じ方法で Ni 構造体までの作製を行い、さらに、フォトリソグラフィ技術を用いて、図 27 (a) に示すように、周期的構造体 9 の空隙部側面の 1 つの面のみに Au 無電解メッキ膜 103 を形成することによって作製した。さらに、実施例 1 と同じ方法で、Au 無電解メッキ膜 103 に、チオール基末端を有するポリマー (被測定物) を固定化した。

[0103] 実施例 1 と同様にして、図 12 の装置構成で、ポリマー固定化前後の透過率の周波数特性を実際に測定した。図 27 (b) にポリマー固定化前の測定結果を、図 27 (c) にポリマー固定化後の測定結果を示す。これらの結果から、図 27 (c) に示すポリマー固定化後の周波数特性のみにおいて、ディップ波形が生じることがわかる。

[0104] また、このことから、周期的構造体の空隙部を形成する部分の一部のみに被測定物が保持された場合にも、平板状の周期的構造体の主面に対して垂直な方向からの電磁波の照射によって、TE₁₁モード様共振に由来するディップ波形が得られることが分かる。すなわち、本発明には、このように周期的構造体の空隙部を形成する部分の一部のみに被測定物を保持することを含む測定方法が包含される。

[0105] また、図 27 (c) に示される、ポリマー（被測定物）が保持された周期的構造体についての周波数特性と、従来の周期的構造体を用いた例の図 16 に示される周波数特性の比較から、本発明の図 27 (c) に現れるディップ波形は、従来例の図 16 に現れるディップ波形よりも帯域幅が狭くシャープな波形になっており、上記実施例 1 と同様に測定感度の向上が達成されることがわかる。

[0106] 今回開示された実施の形態および実施例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

[0107] 1, 9 平板状の周期的構造体、10a 主面、10b, 10b 側面、101 突起部、102 切欠部、103 誘電体、104 Au 無電解メッキ膜、11, 91 空隙部、11a, 91a 空隙部側面、2 測定装置、21 照射部、22 検出部、221, 222 検出面、23 照射制御部、24 解析処理部、25 表示部、3 仮想面。

請求の範囲

- [請求項1] 平板状の周期的構造体（１）に被測定物を保持し、
前記平板状の周期的構造体（１）に直線偏光の電磁波を照射し、
前記平板状の周期的構造体（１）で前方散乱または後方散乱された電磁波を検出し、
前記前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、前記後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形が、前記被測定物の存在により変化することに基づいて被測定物の特性を測定する測定方法であって、
前記平板状の周期的構造体（１）は、その主面（１０ａ）に垂直な方向に貫通した少なくとも２つの空隙部（１１）が、前記主面（１０ａ）上の少なくとも一方向に周期的に配置された平板状の構造体であり、
前記電磁波が、前記平板状の周期的構造体の主面（１０ａ）に対して垂直な方向から照射されることを特徴とする、測定方法。
- [請求項2] 前記前方散乱された電磁波の周波数特性に生じるディップ波形、または、前記後方散乱された電磁波の周波数特性に生じるピーク波形が、前記平板状の周期的構造体（１）のＴＥ１１モード様共振により生じたものである、請求の範囲１に記載の測定方法。
- [請求項3] 前記ＴＥ１１モード様共振がＴＥ１１０モード様共振である、請求の範囲２に記載の測定方法。
- [請求項4] 前記空隙部（１１）の形状が、前記電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状である、請求の範囲１に記載の測定方法。
- [請求項5] 前記周期的構造体（１）の前記空隙部（１１）を形成する部分に、突起部（１０１）または切欠部（１０２）を有する、請求の範囲１に記載の測定方法。
- [請求項6] 前記周期的構造体（１）の空隙部（１１）を形成する部分のうち、

TE 11 モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に前記突起部 (101) を有するか、あるいは、電界強度が相対的に弱くなる位置に切欠部 (102) を有する、請求の範囲 5 に記載の測定方法。

[請求項7] 前記周期的構造体 (1) の主面 (10a) に垂直な方向から見た前記空隙部 (11) の形状が、台形、凸型、凹型、多角形、または、星型である、請求の範囲 1 に記載の測定方法。

[請求項8] 前記周期的構造体 (1) の空隙部 (11) を形成する部分の一部のみに前記周期的構造体 (1) とは異なる物質を付着させる、請求の範囲 1 に記載の測定方法。

[請求項9] 前記周期的構造体 (1) の空隙部 (11) を形成する部分のうち、TE 11 モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に、前記周期的構造体 (1) とは異なる物質が選択的に保持される、請求の範囲 8 に記載の測定方法。

[請求項10] 前記周期的構造体 (1) の空隙部 (11) を形成する部分の一部のみに前記被測定物を保持する、請求の範囲 1 に記載の測定方法。

[請求項11] 前記周期的構造体 (1) の空隙部 (11) を形成する部分のうち、TE 11 モード様共振が生じた際に電界強度が相対的に強くなる位置に、前記被測定物が選択的に保持される、請求の範囲 10 に記載の測定方法。

[請求項12] 請求の範囲 1 ~ 11 のいずれかに記載の測定方法に用いられる平板状の周期的構造体 (1) であって、

前記平板状の周期的構造体 (1) の主面 (10a) に垂直な方向に貫通した少なくとも 2 つの空隙部 (11) が、前記平板状の周期的構造体 (1) の主面 (10a) 上の少なくとも一方向に周期的に配置されており、かつ、

請求の範囲 1 に記載の測定方法に用いられる際の配置状態において、前記空隙部 (11) の形状が、前記電磁波の偏光方向と直交する仮

想面に対して鏡映対称とならない形状である、平板状の周期的構造体（１）。

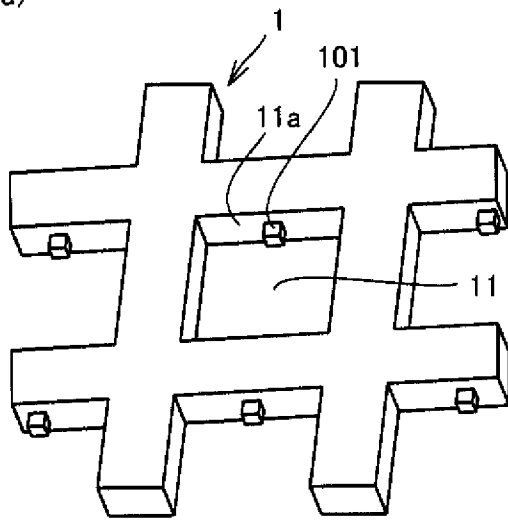
[請求項13] 直線偏光の電磁波のフィルタとして用いられる平板状の周期的構造体（１）であって、

前記平板状の周期的構造体（１）の主面（１０a）に垂直な方向に貫通した少なくとも２つの空隙部（１１）が、前記平板状の周期的構造体（１）の主面（１０a）上の少なくとも一方向に周期的に配置されており、かつ、

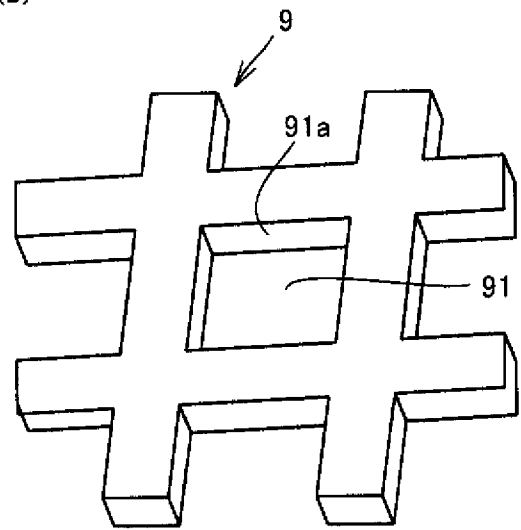
電磁波のフィルタとして用いられる際に、電磁波の進行方向に対して前記周期的構造体（１）の主面（１０a）が垂直になるように配置された状態において、前記空隙部（１１）の形状が、前記電磁波の偏光方向と直交する仮想面に対して鏡映対称とならない形状である、平板状の周期的構造体（１）。

[図1]

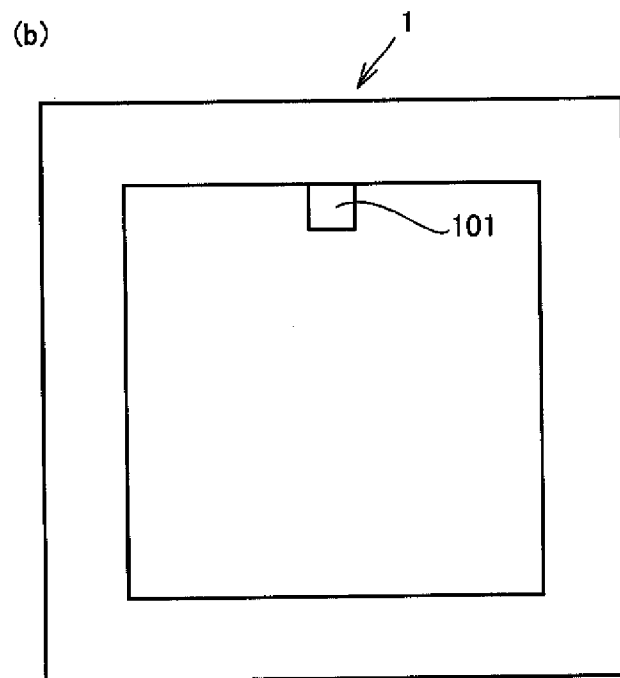
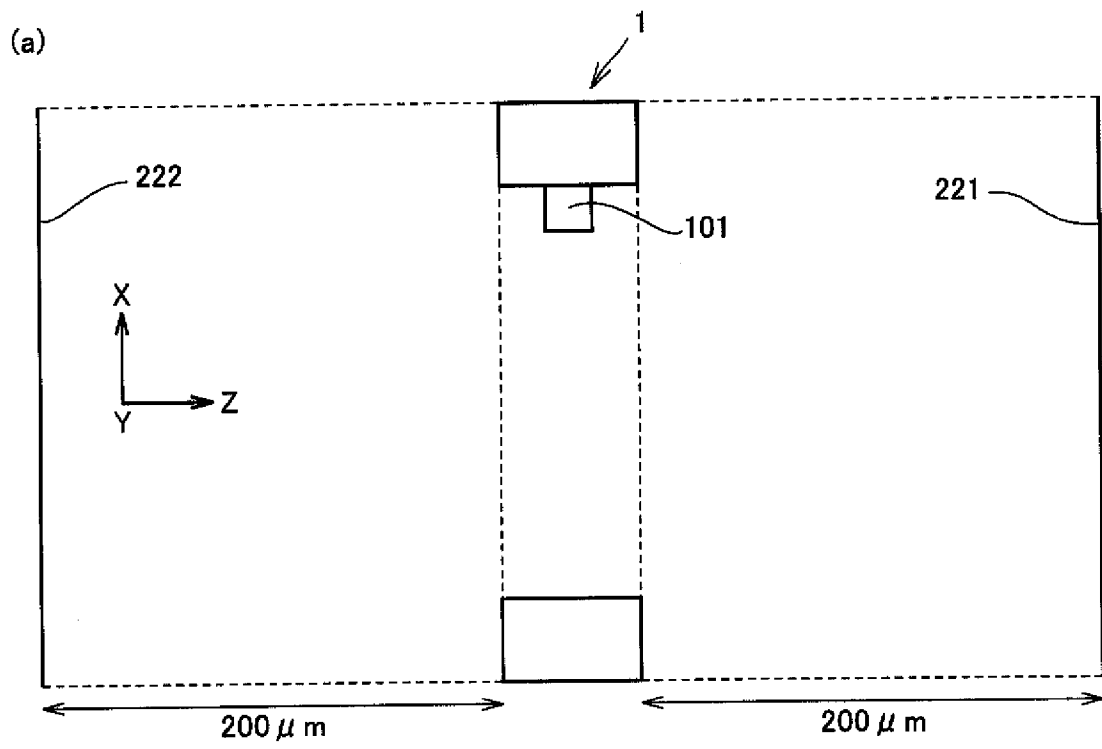
(a)



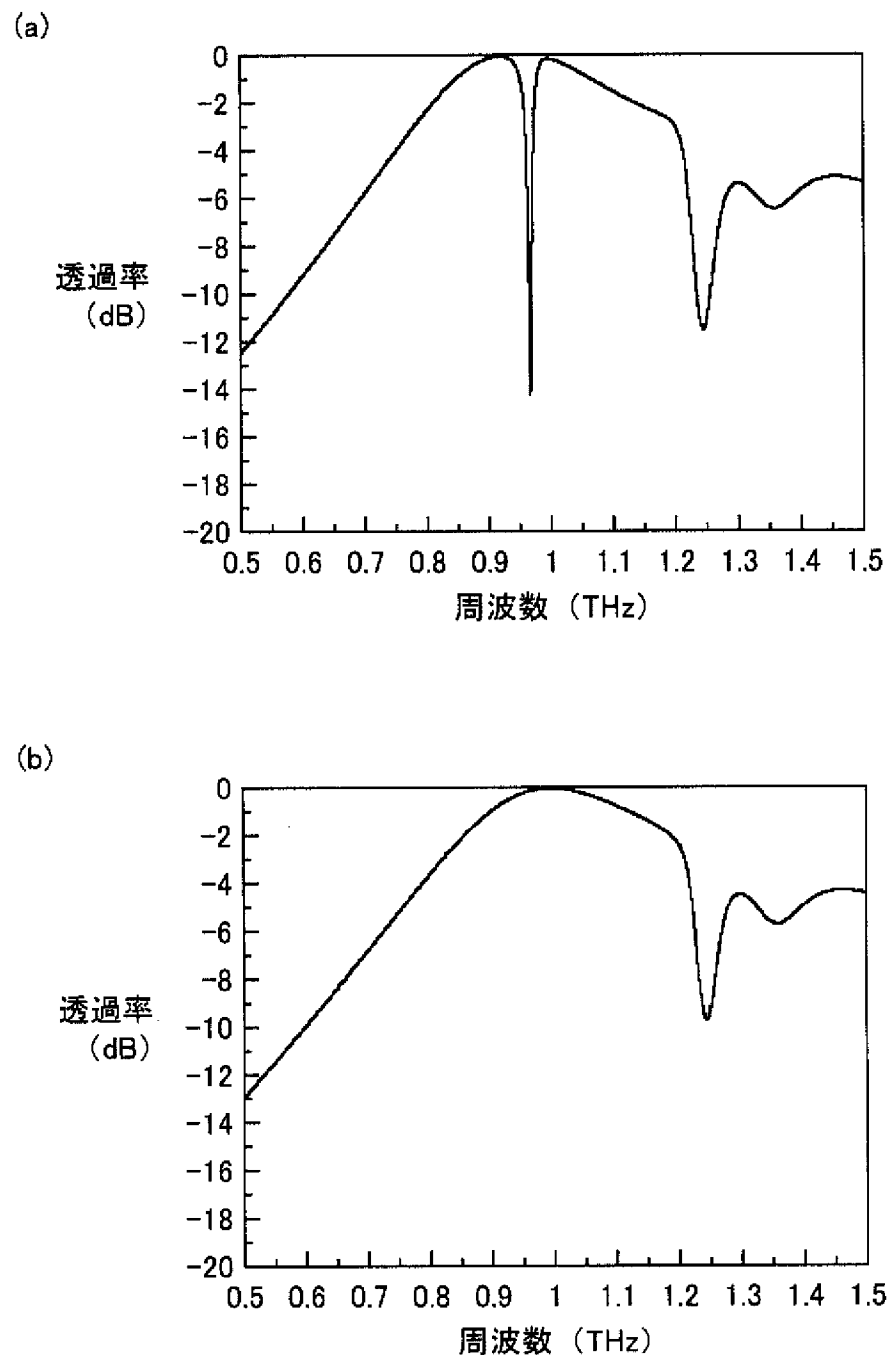
(b)



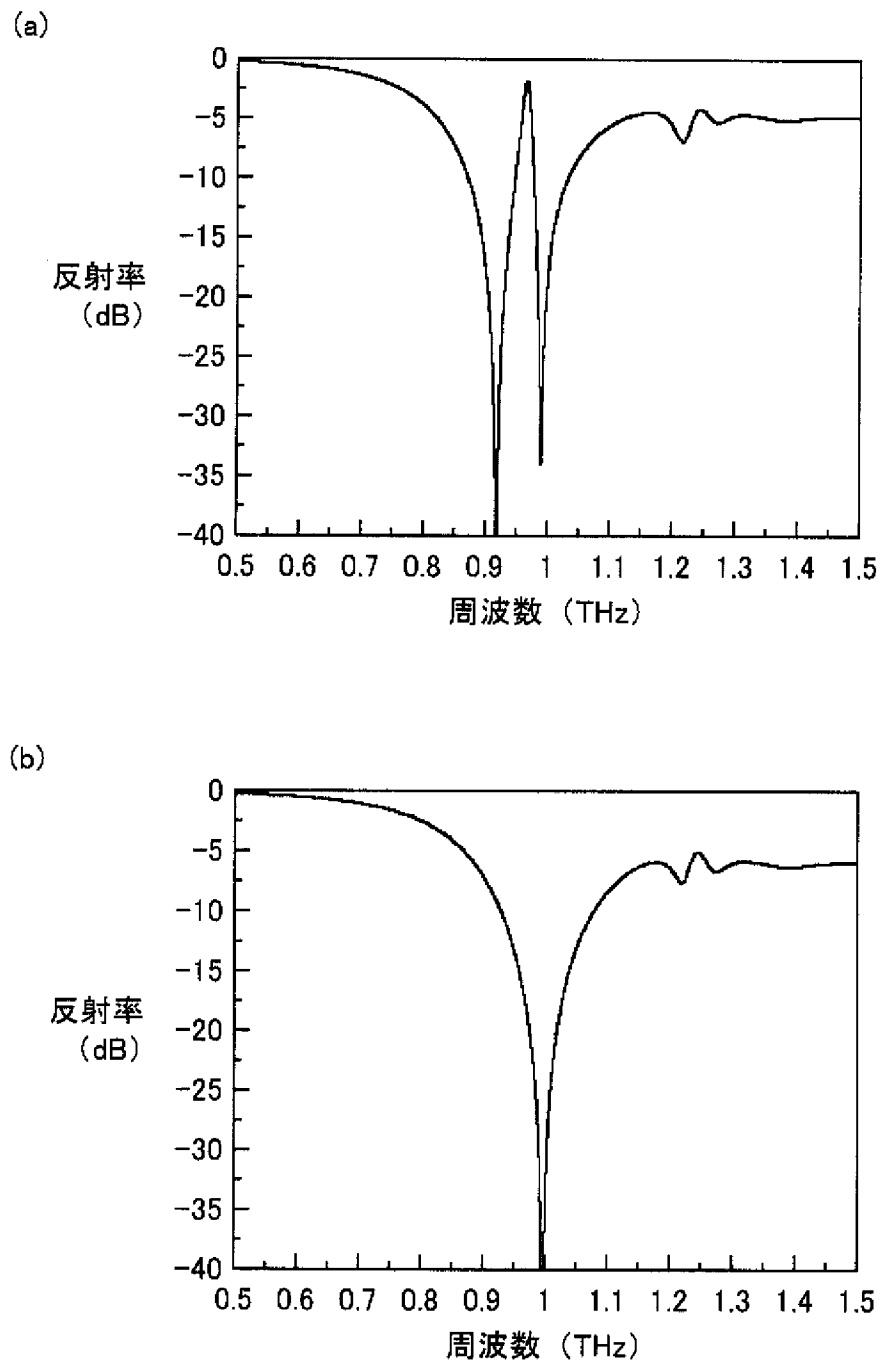
[図2]



[図3]

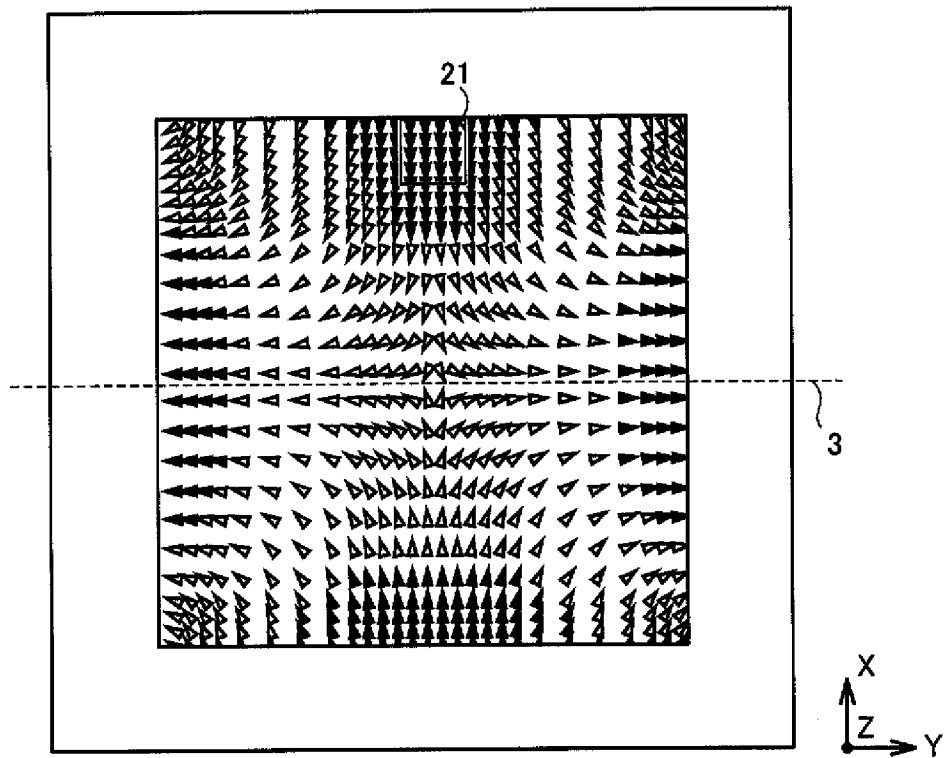


[図4]

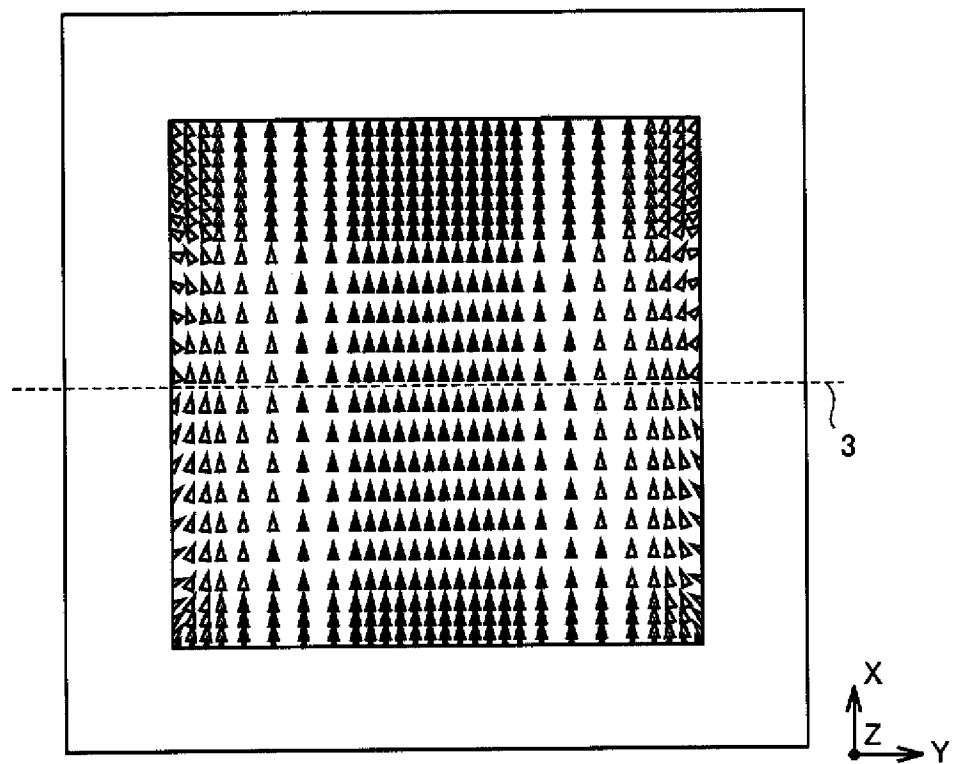


[図5]

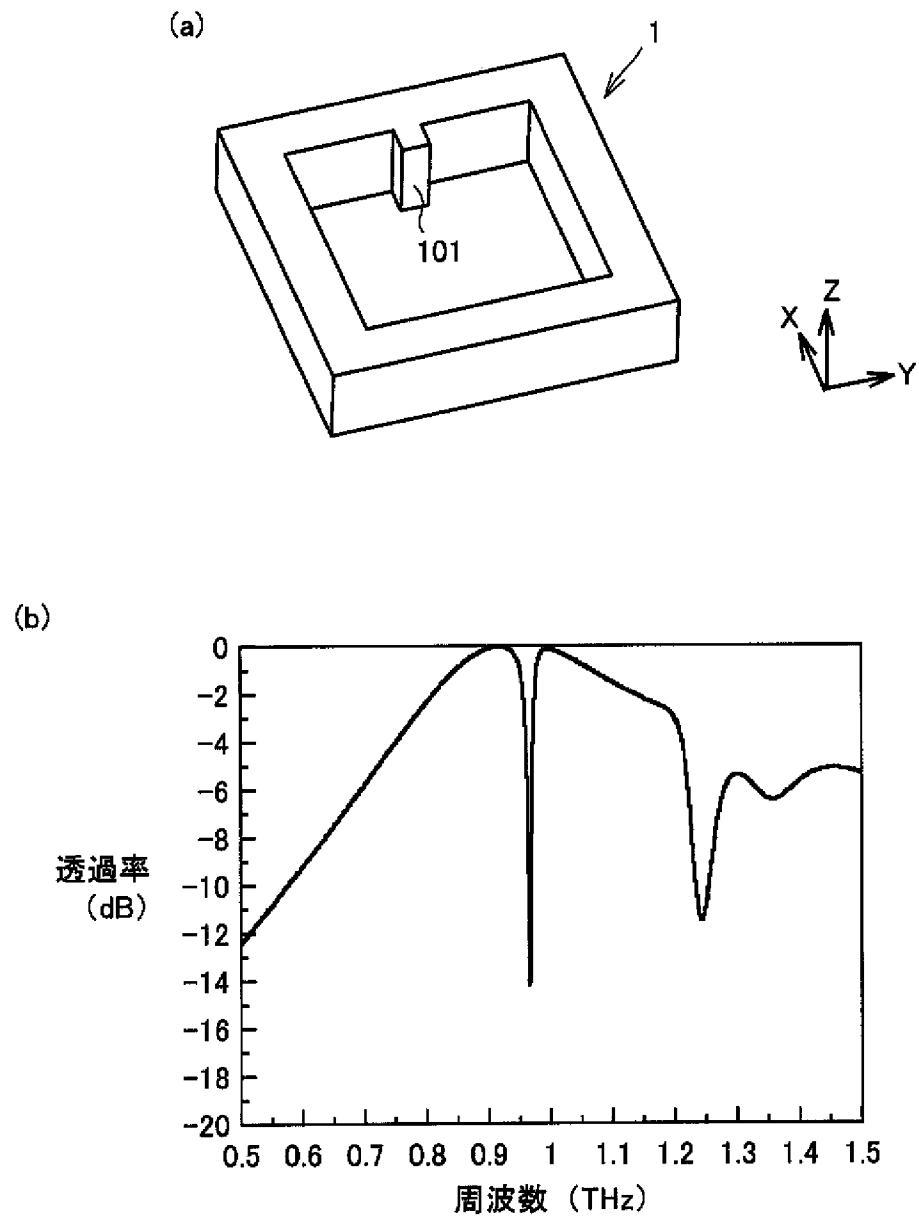
(a)



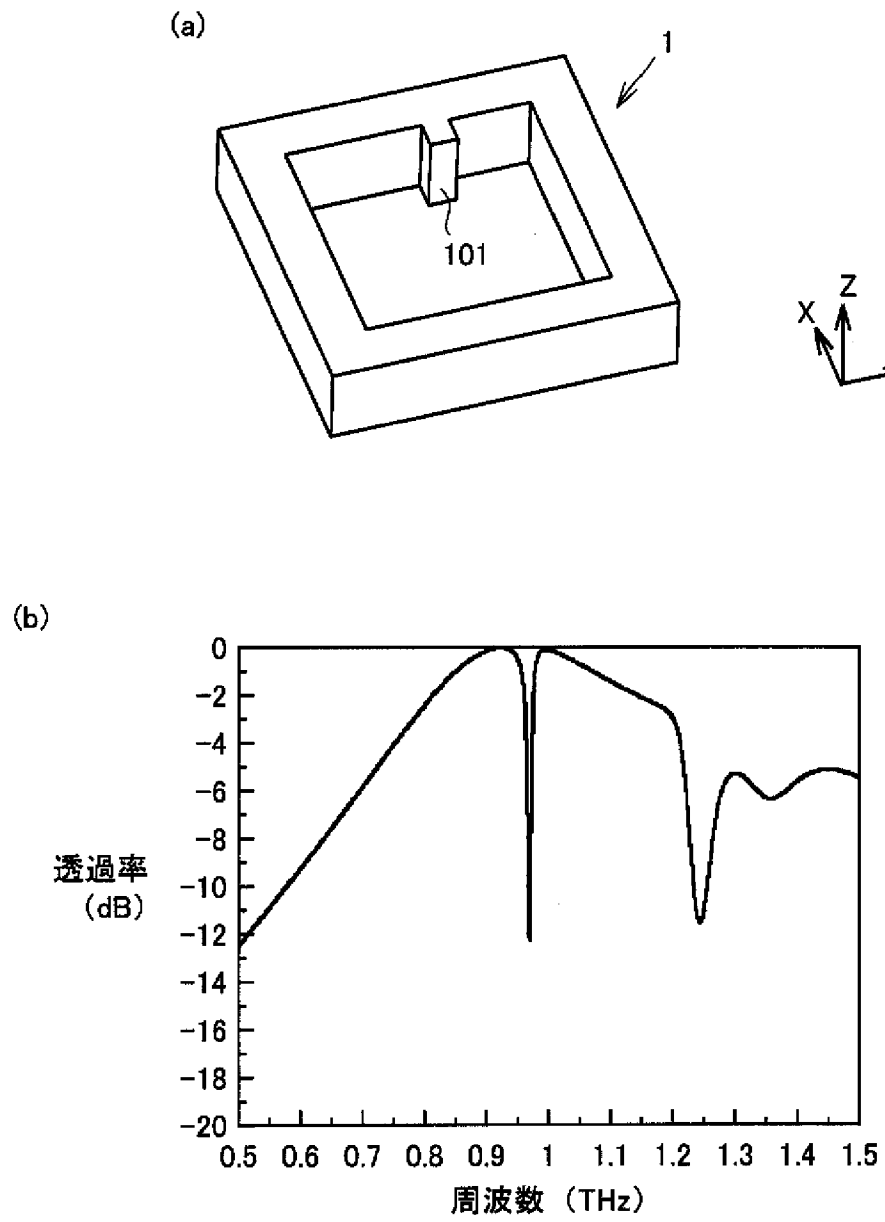
(b)



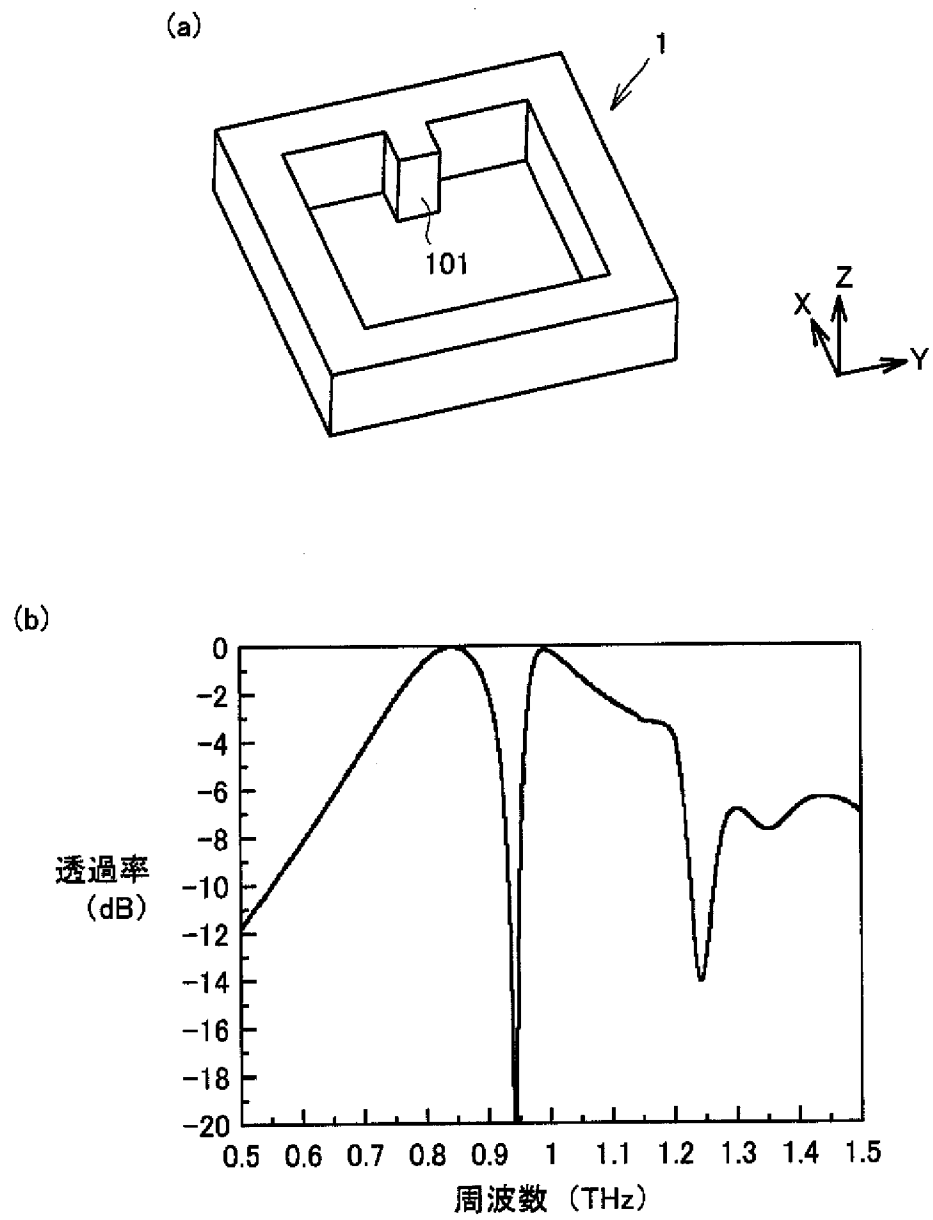
[図6]



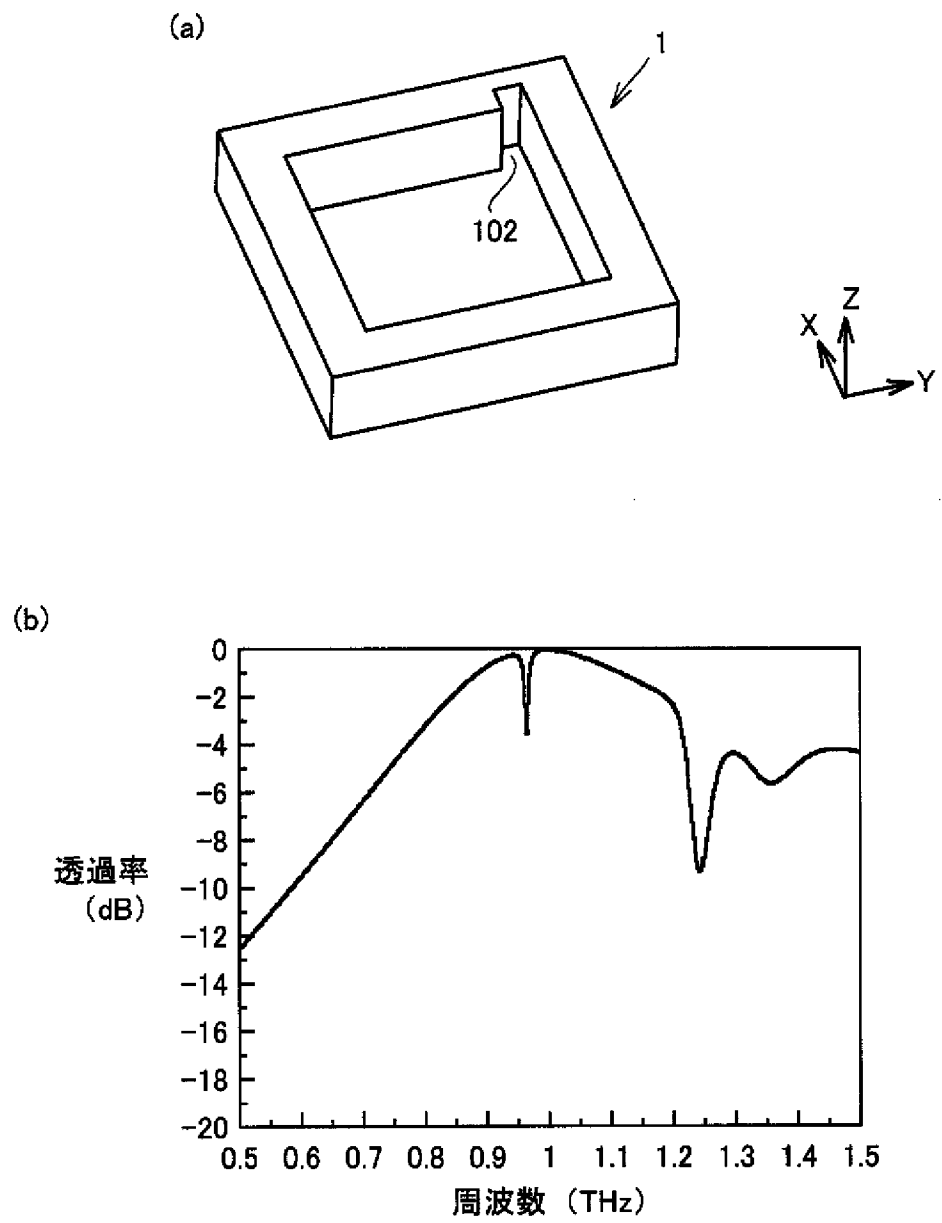
[図7]



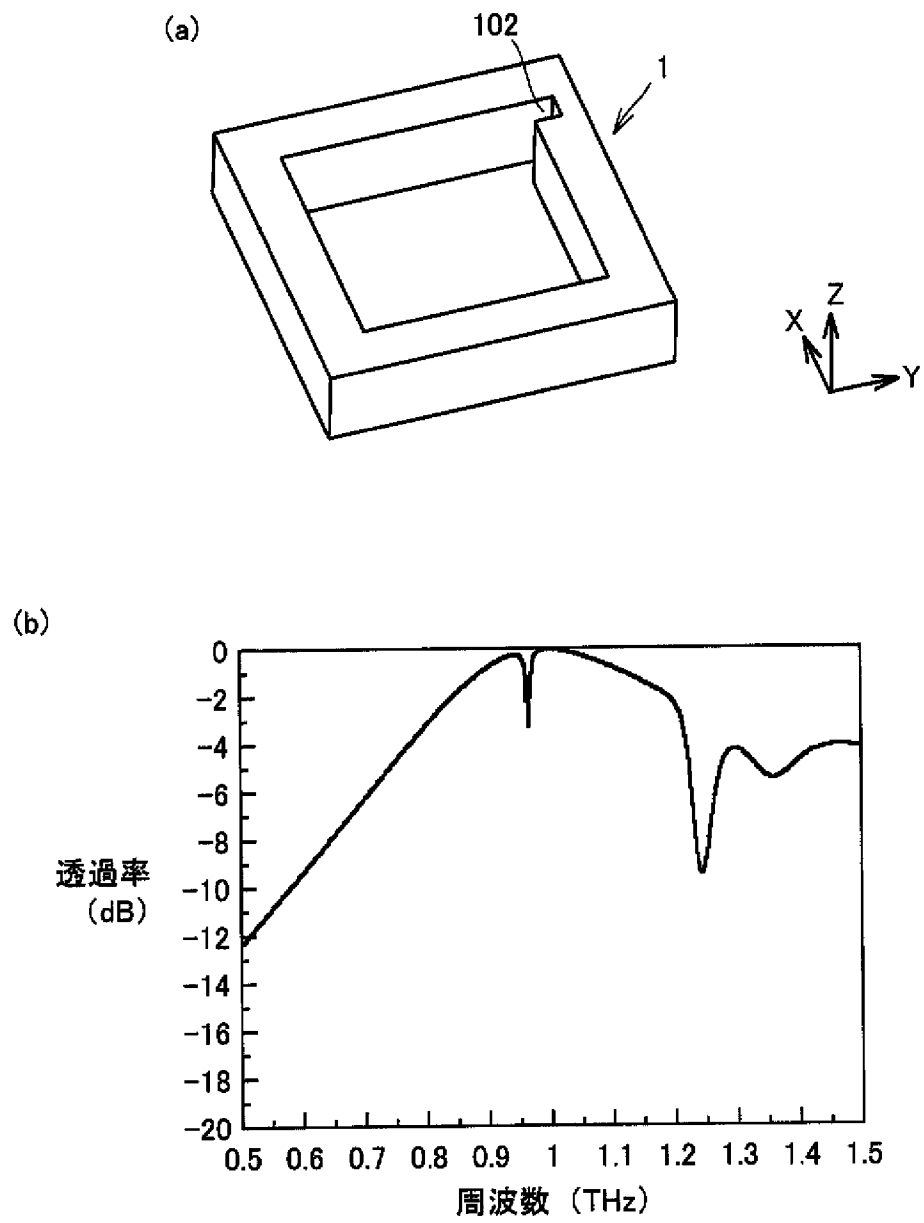
[図8]



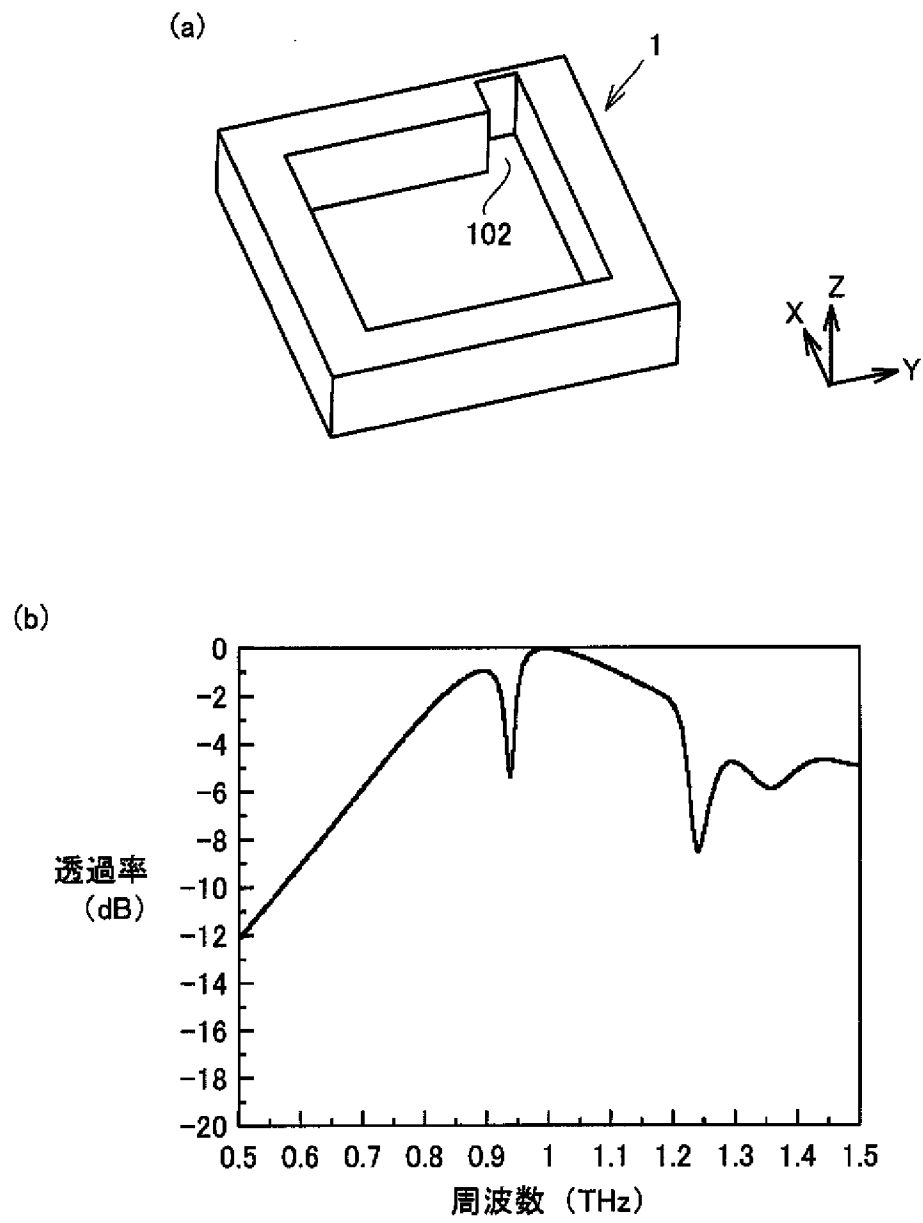
[図9]



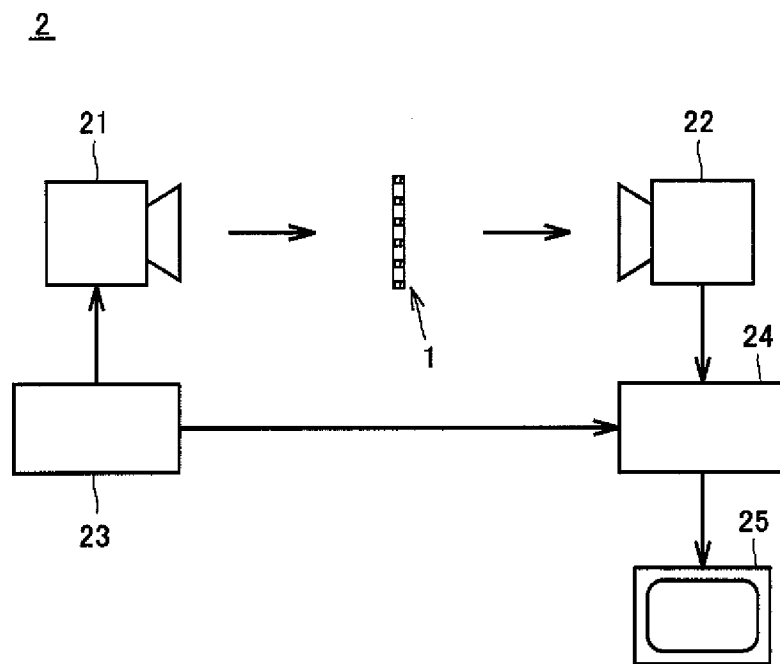
[図10]



[図11]

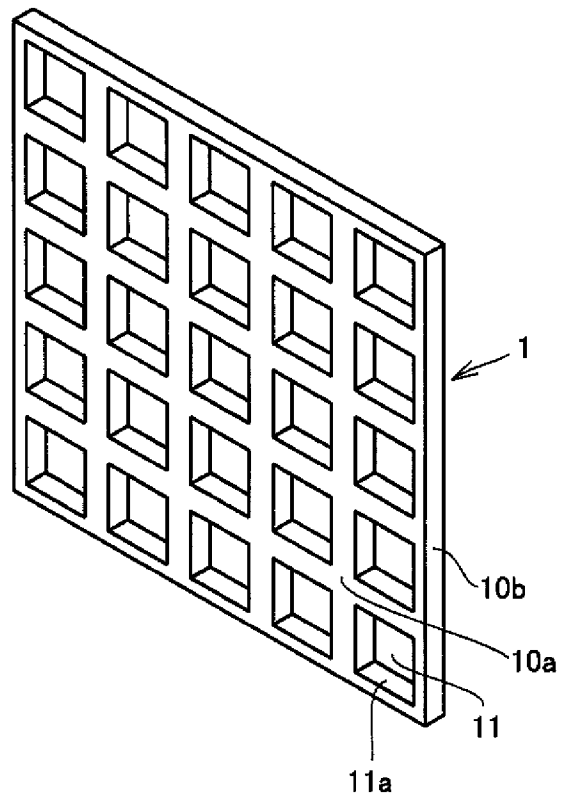


[図12]

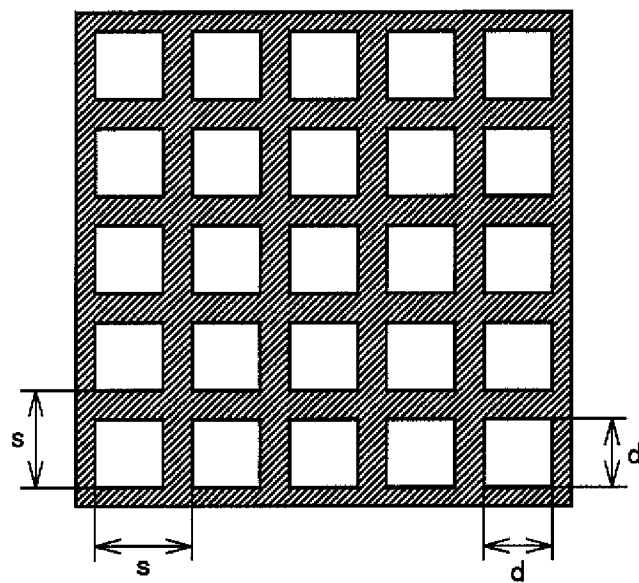


[図13]

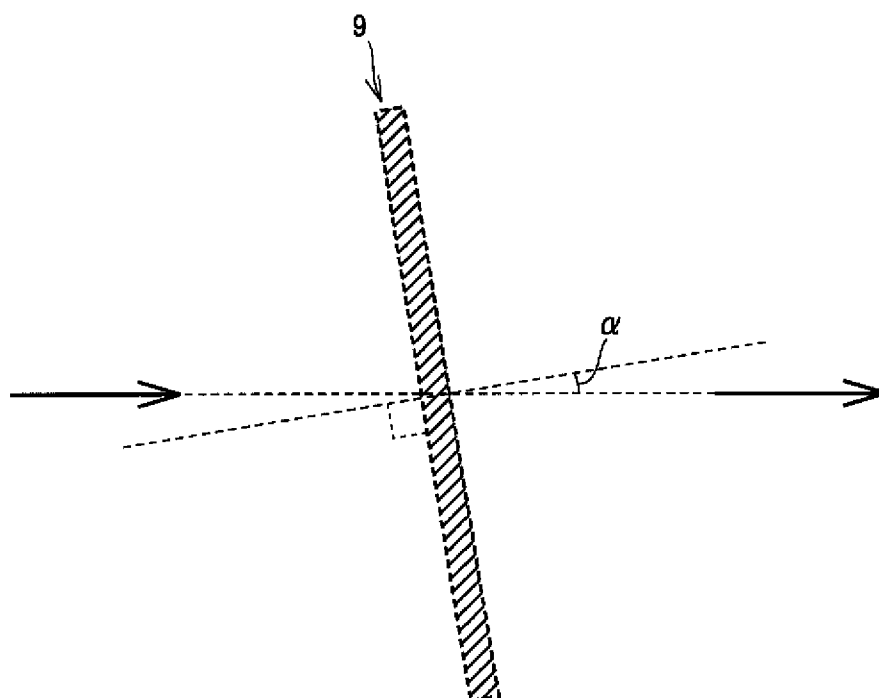
(a)



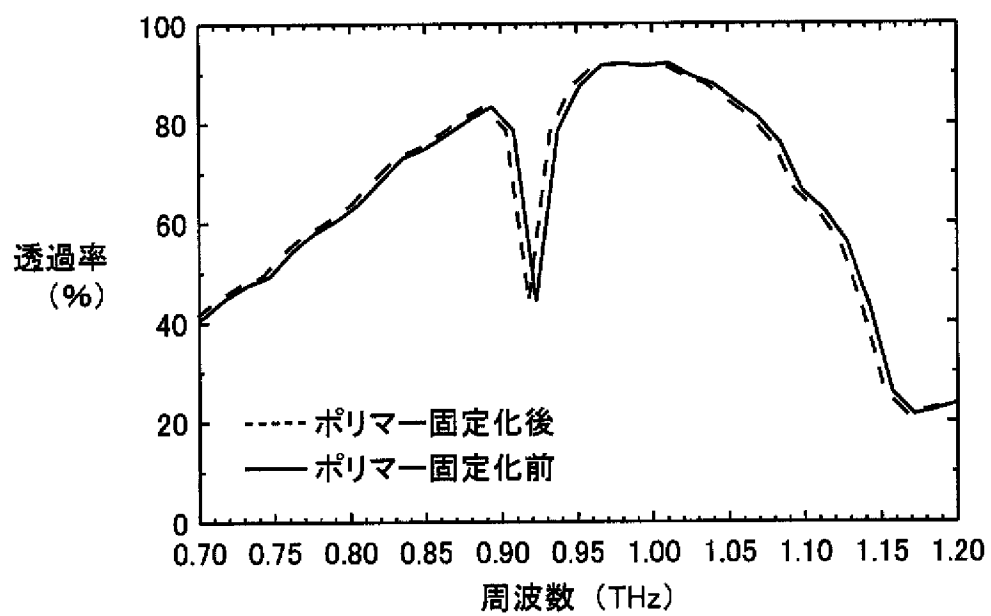
(b)



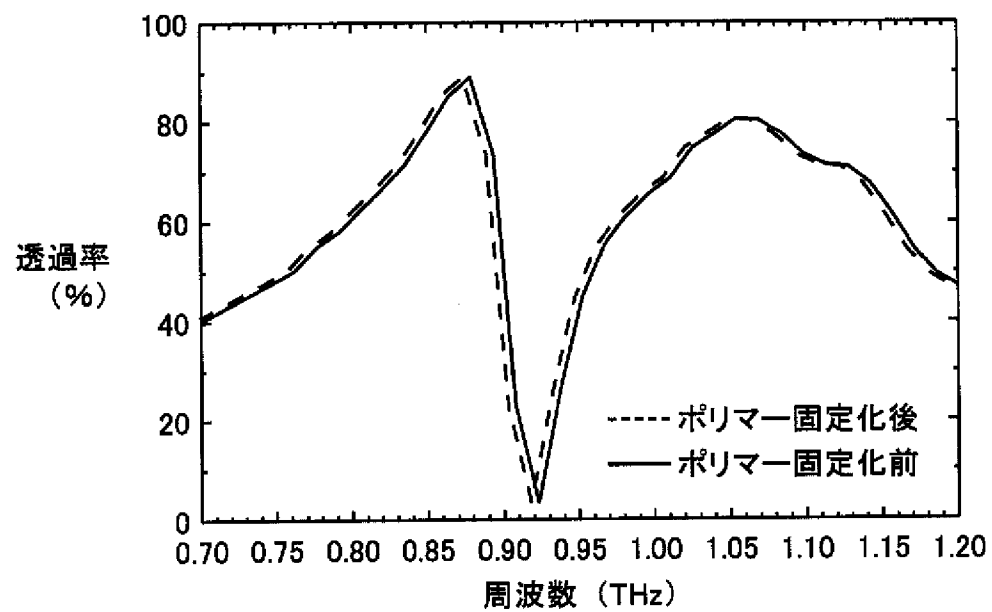
[図14]



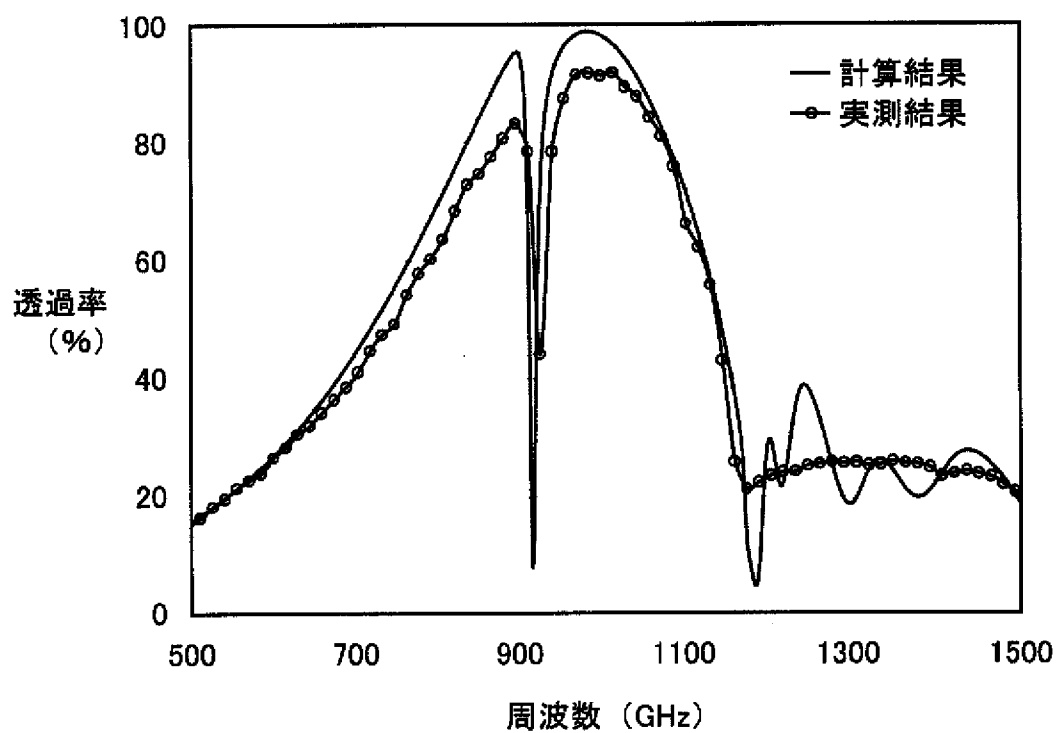
[図15]



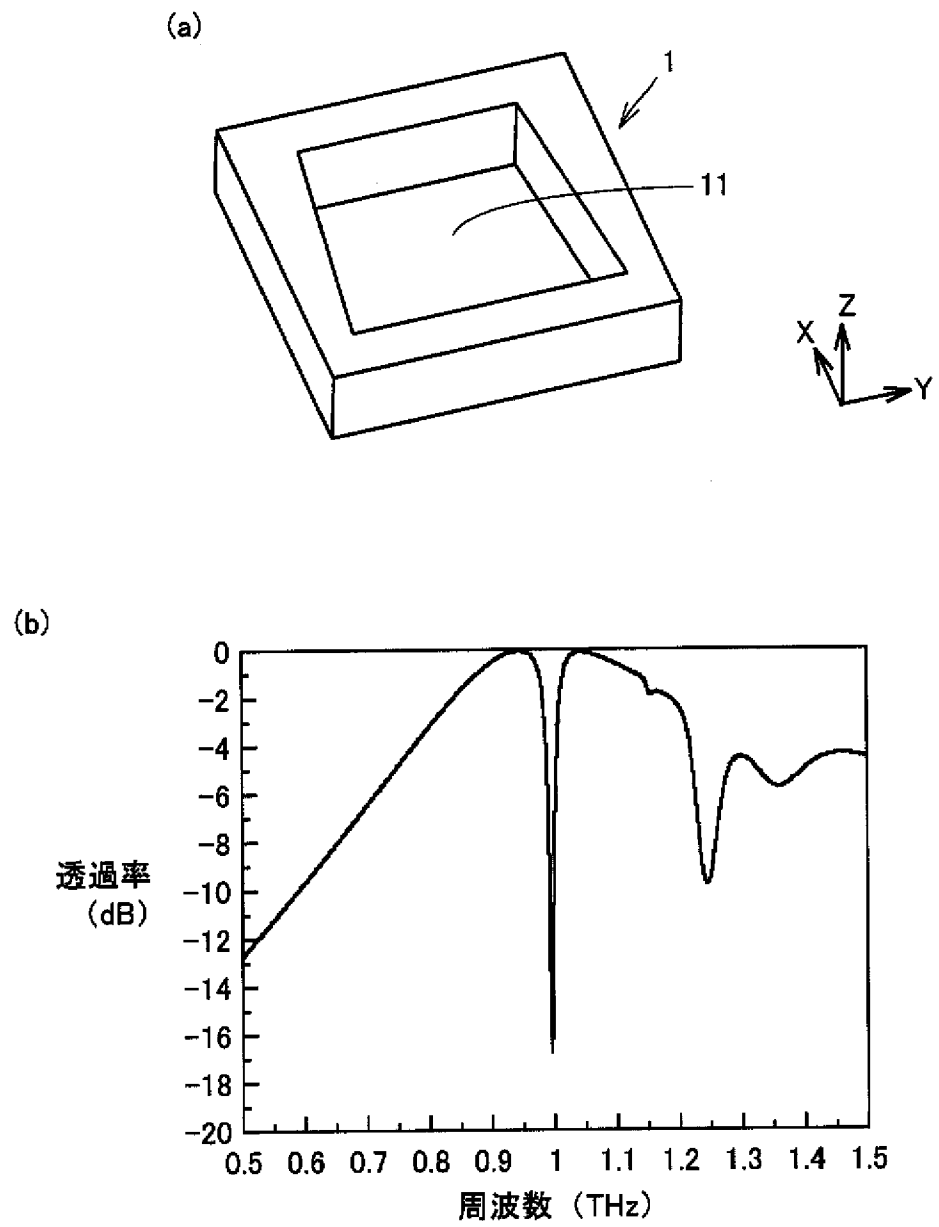
[図16]



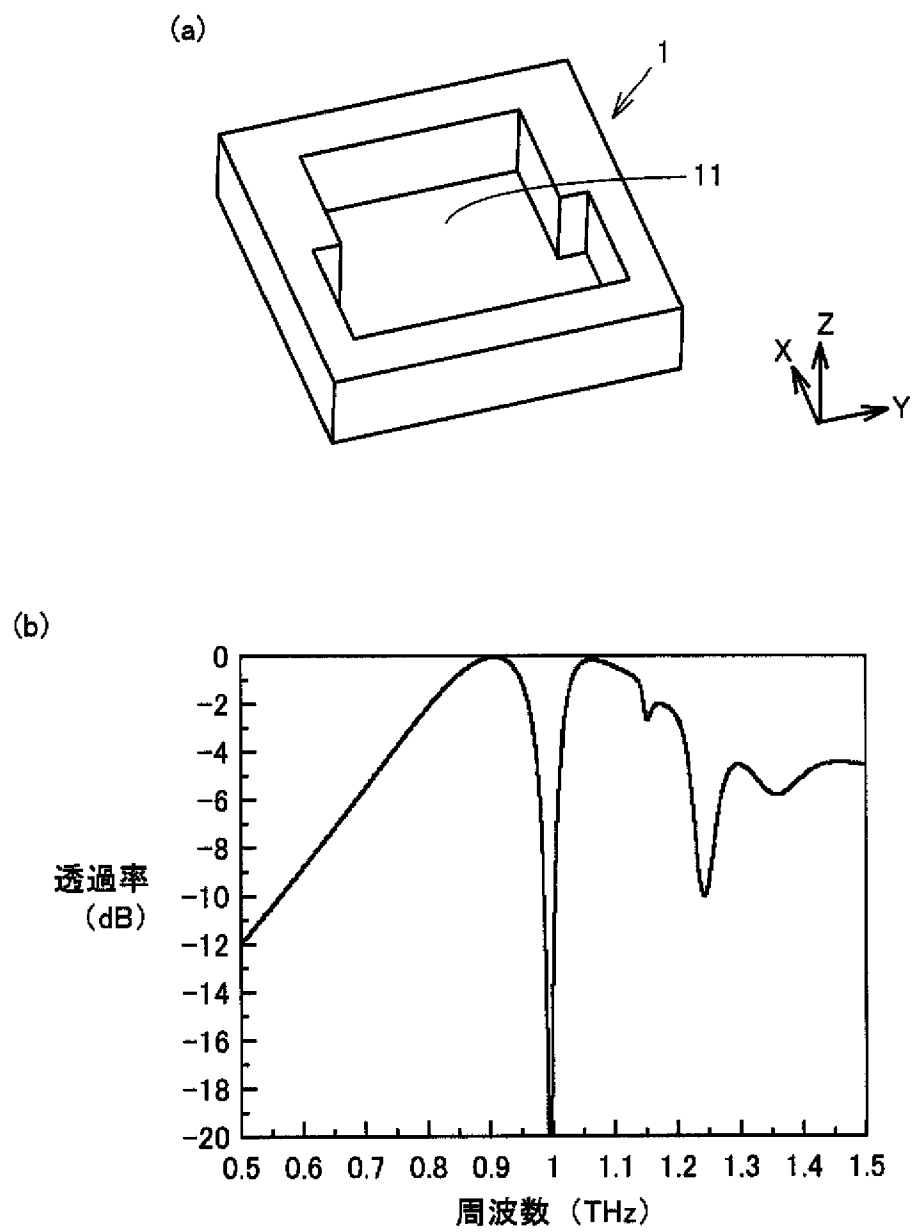
[図17]



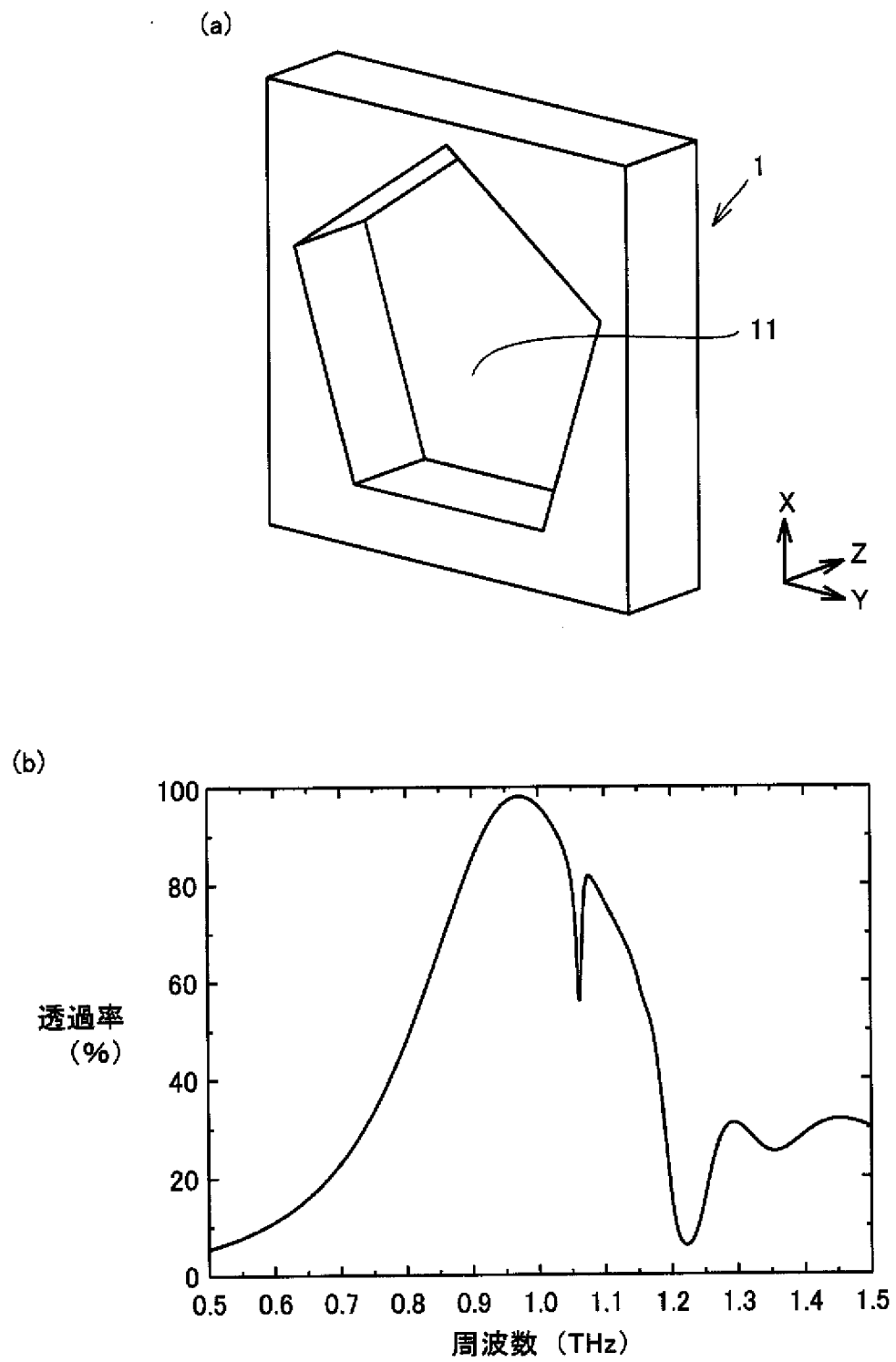
[図18]



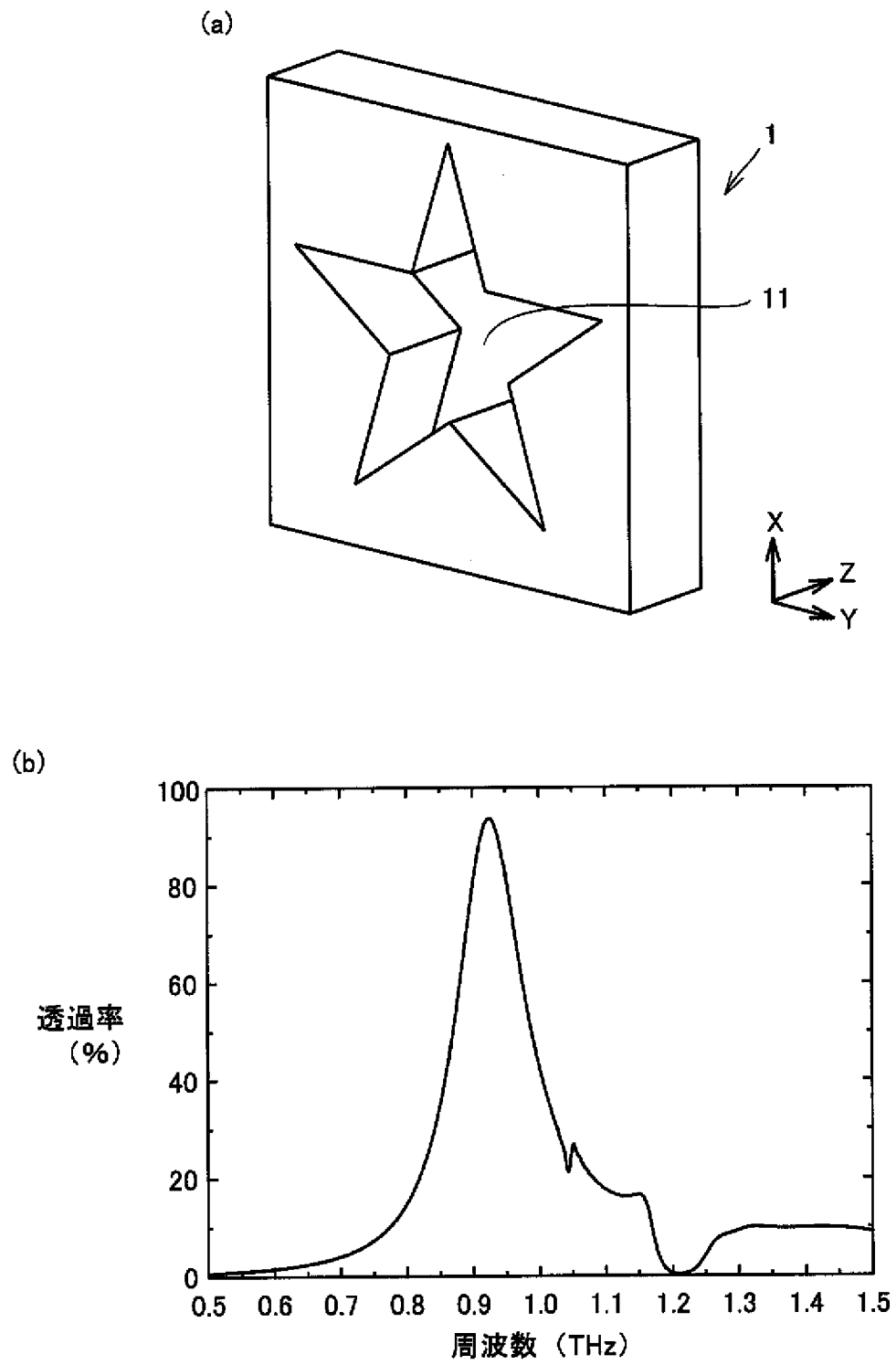
[図19]



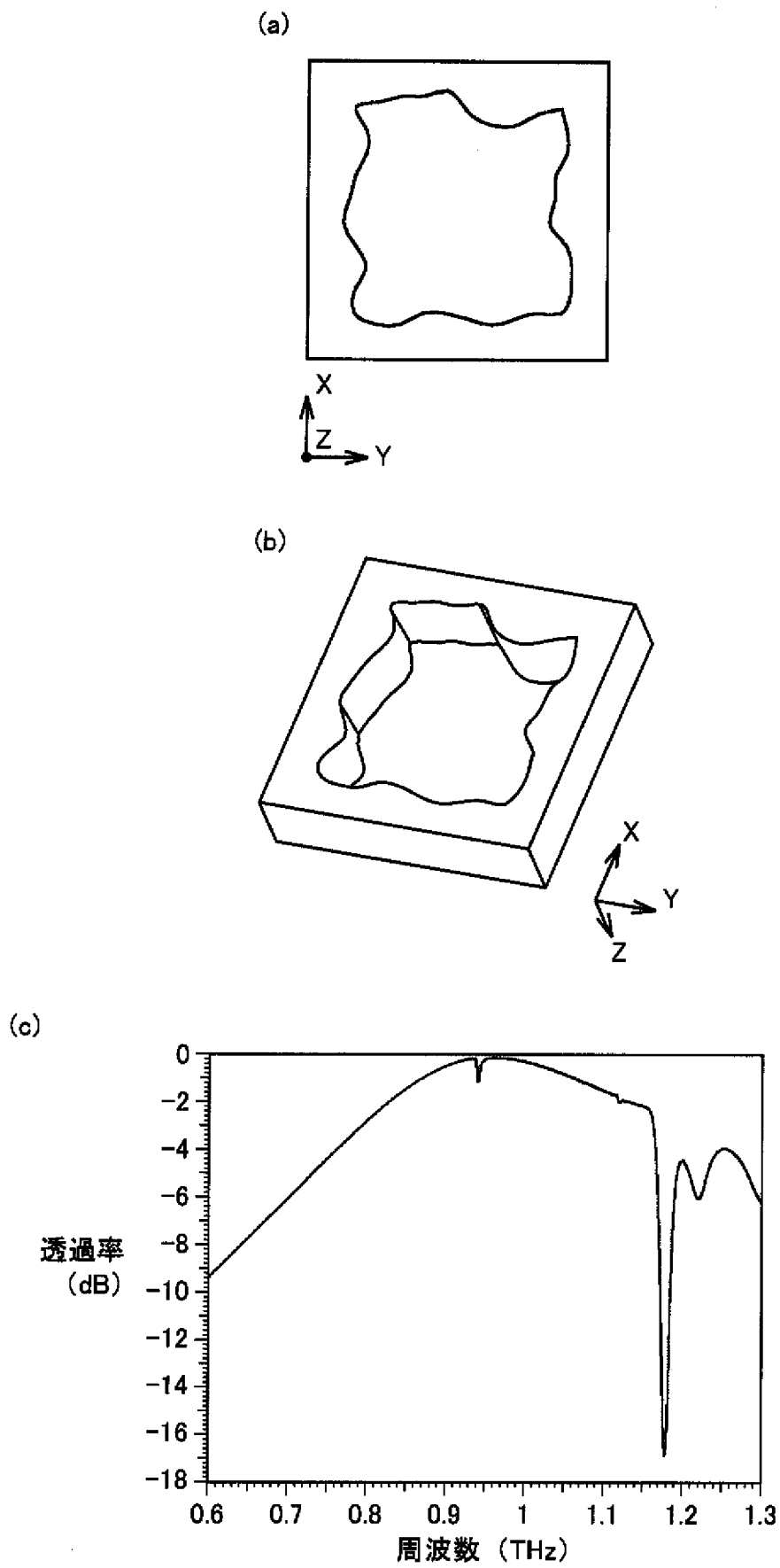
[図20]



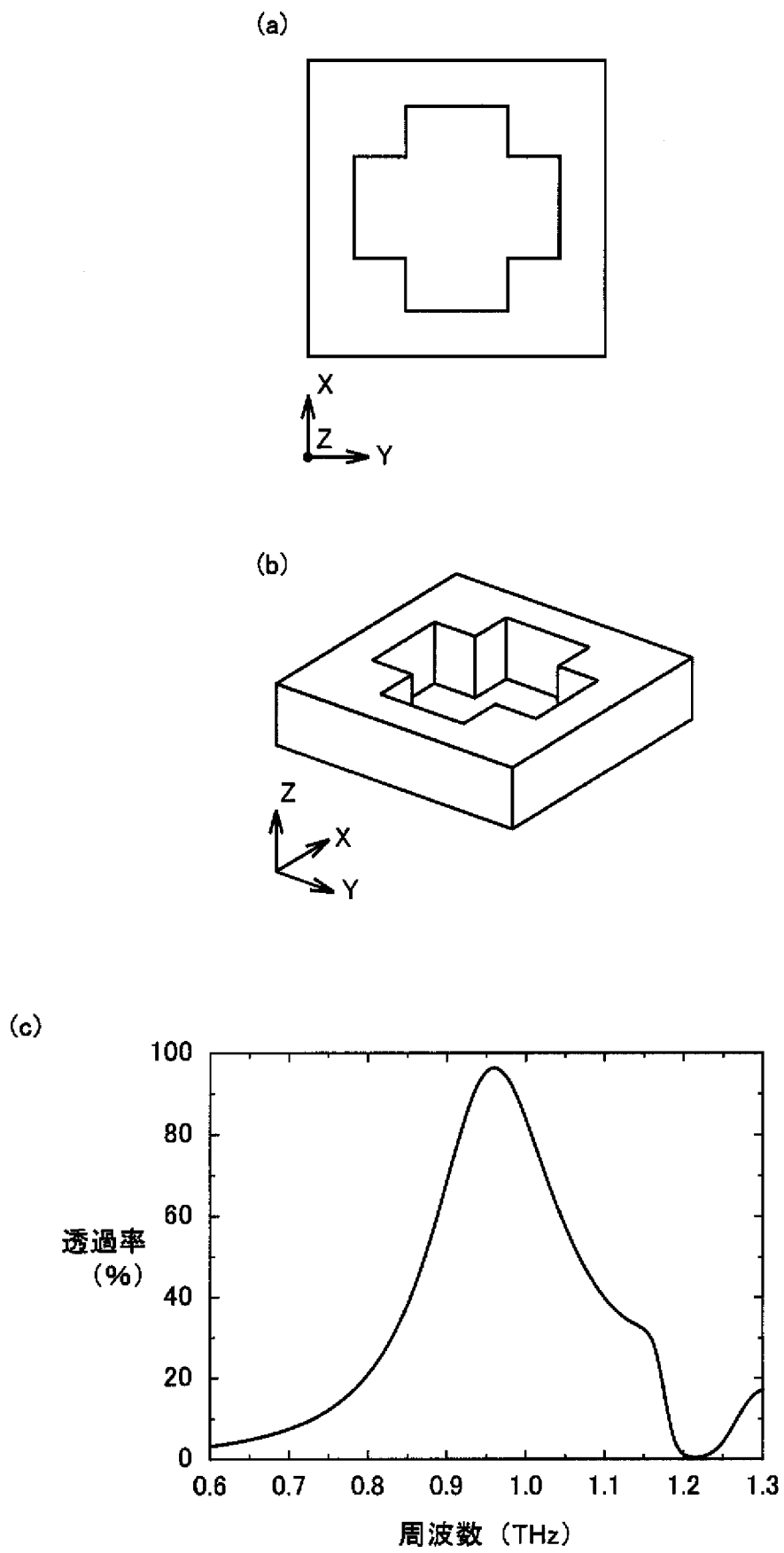
[図21]



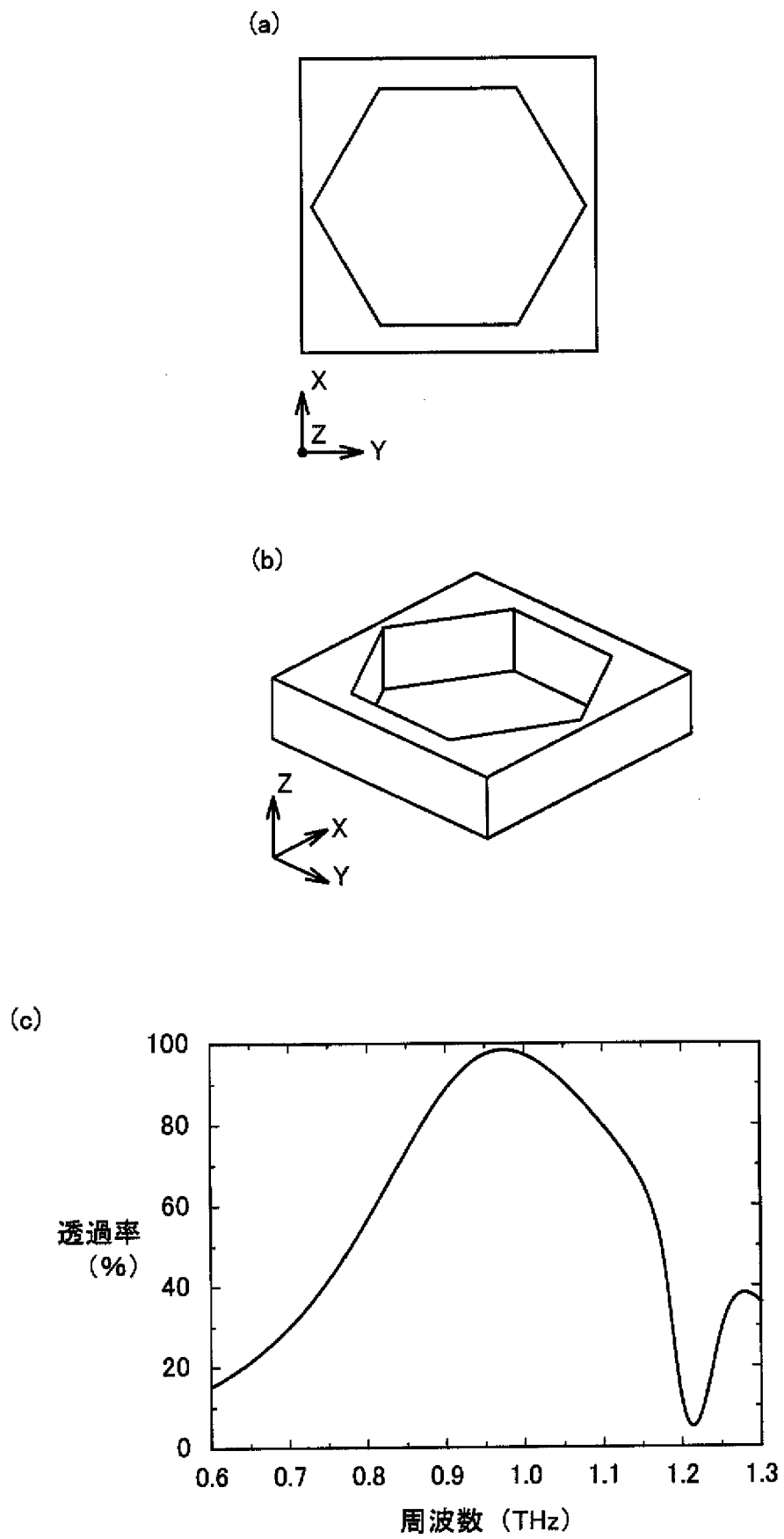
[図22]



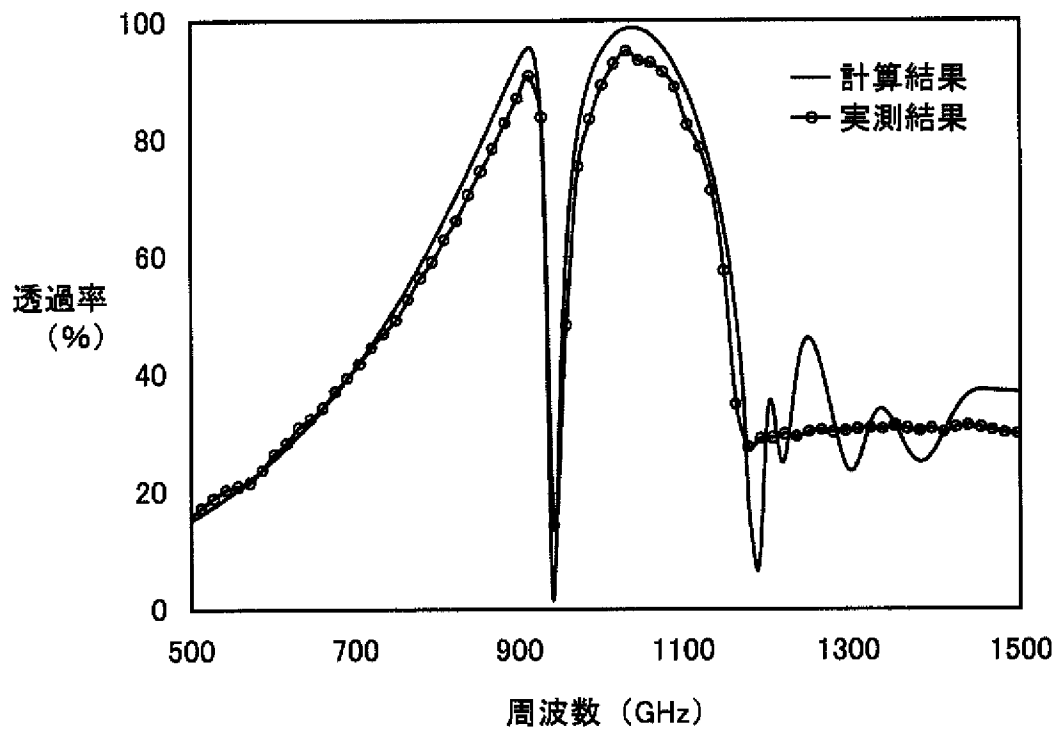
[図23]



[図24]

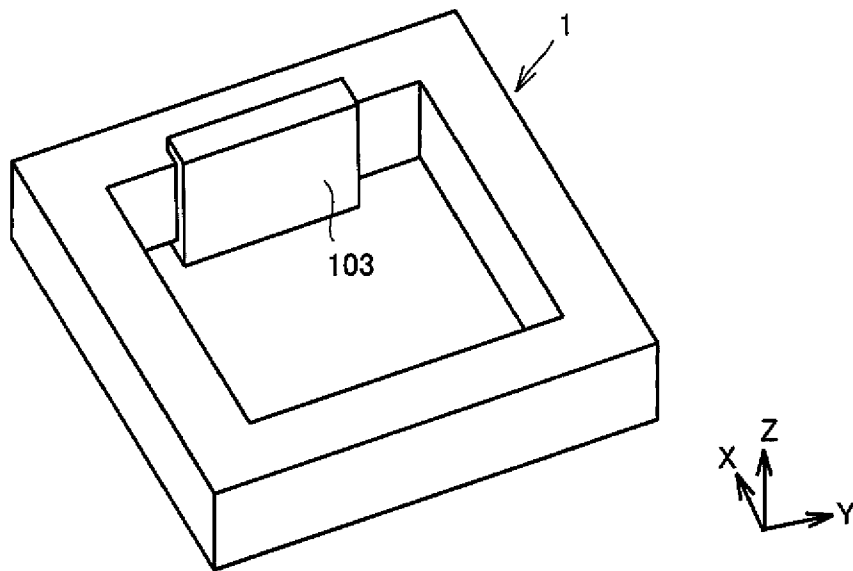


[図25]

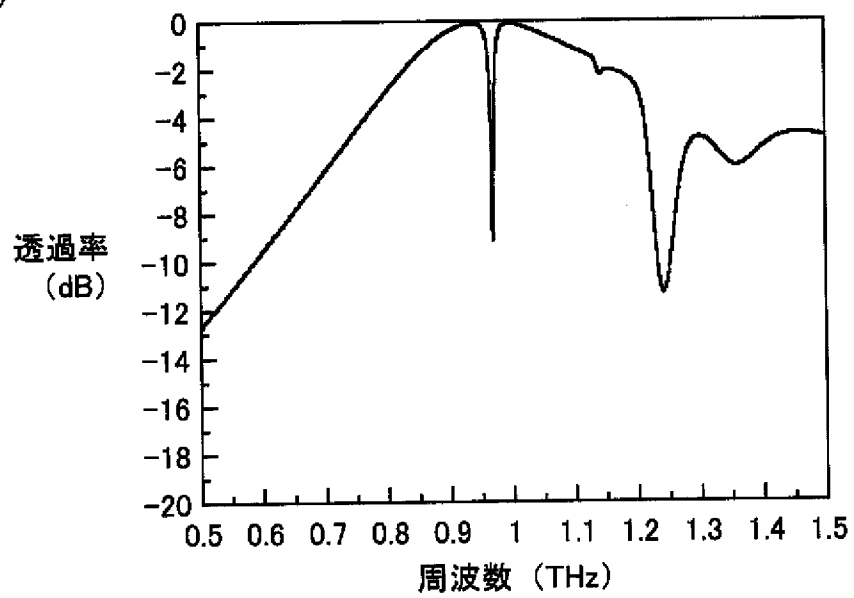


[図26]

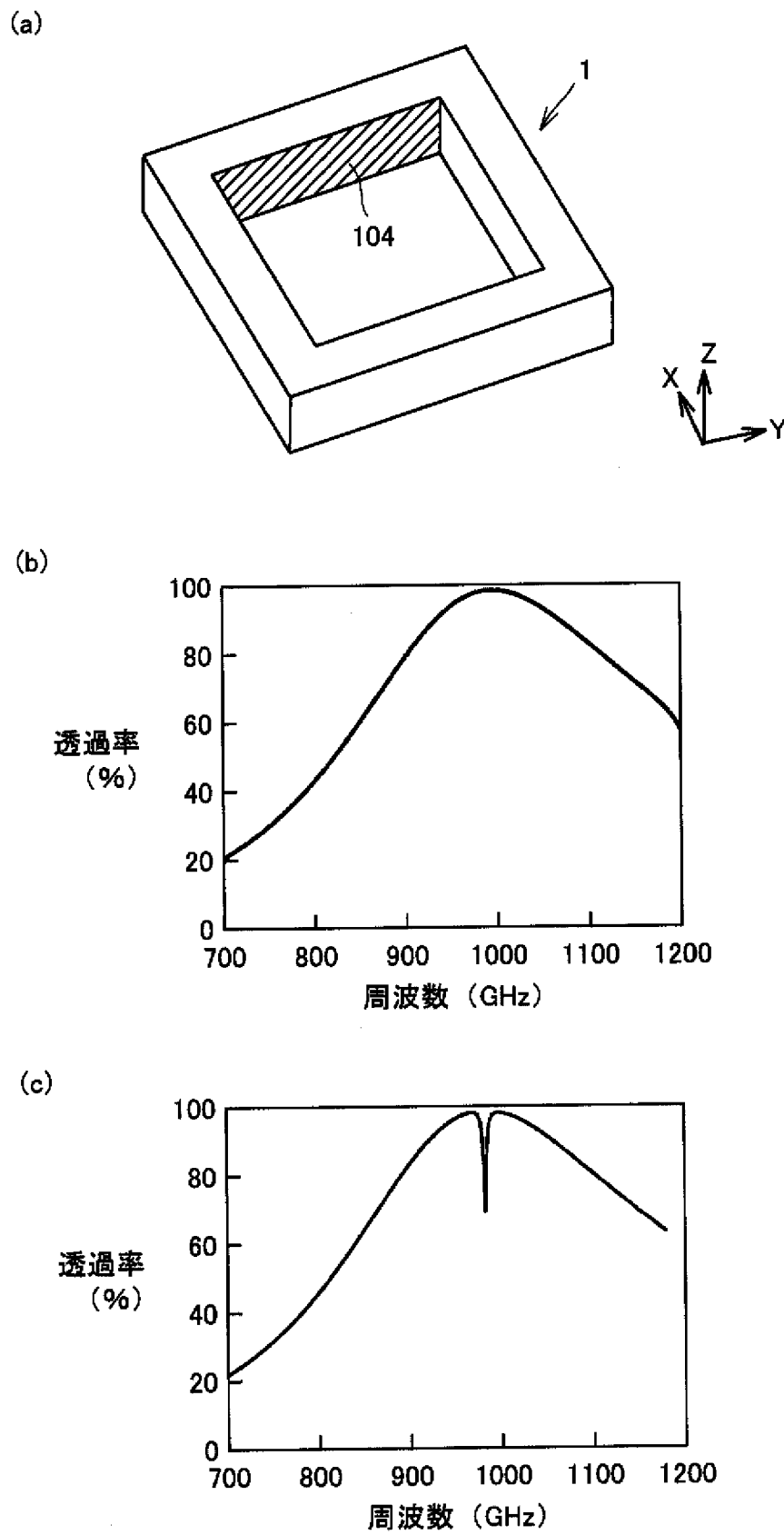
(a)



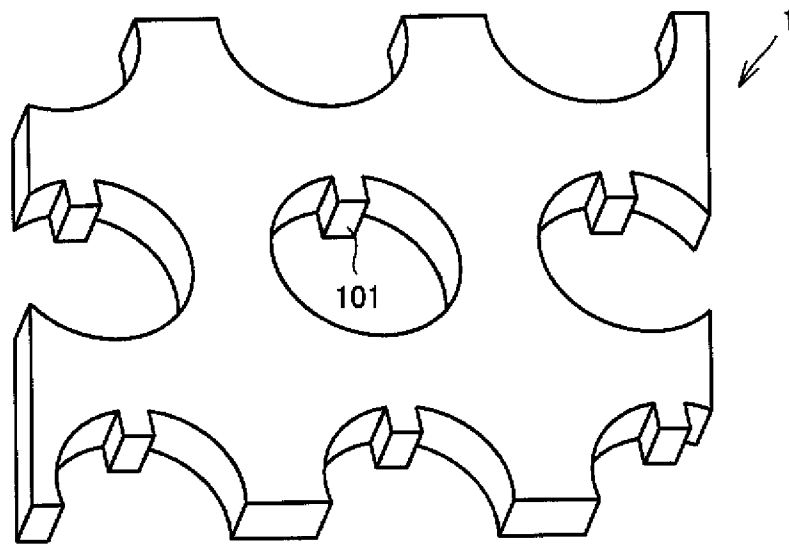
(b)



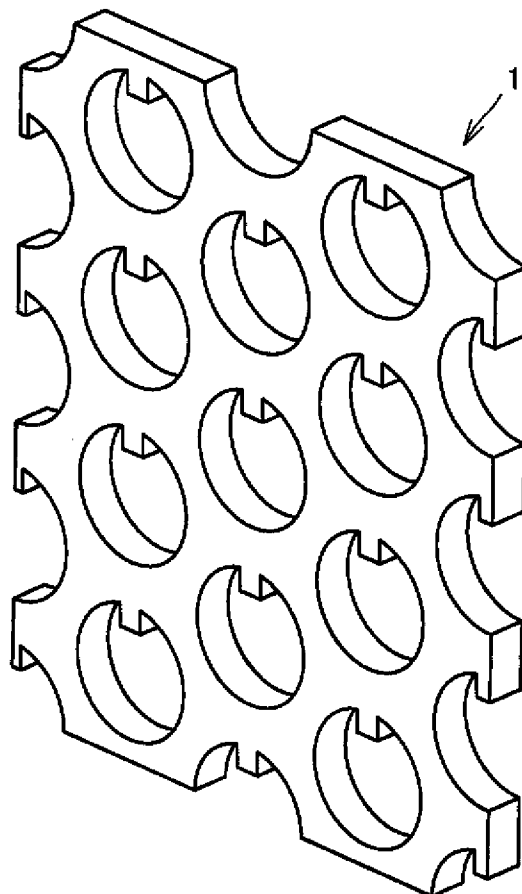
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/063186

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/35 (2006.01) i, G01N21/01 (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)

G01N21/00-21/01, G01N21/17-21/61

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/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-185552 A (Tohoku University, Advantest Corp.), 14 August 2008 (14.08.2008), paragraphs [0030] to [0037]; fig. 1, 6 & US 2010/0025586 A & EP 2116838 A1 & WO 2008/093729 A1	1-13
Y	JP 2006-344679 A (Japan Science and Technology Agency), 21 December 2006 (21.12.2006), paragraph [0019] (Family: none)	1-13
Y	Masanori HANGYO, Fumiaki MIYAMARU, "Development and applications of metamaterials in terahertz region", Oyo Butsuri, 10 June 2009 (10.06.2009), vol.78, no.6, pages 511 to 517	4-6, 8-13

☐ 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
06 September, 2010 (06.09.10)

Date of mailing of the international search report
21 September, 2010 (21.09.10)

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. G01N21/35 (2006.01)i, G01N21/01 (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. G01N21/00-21/01, G01N21/17-21/61

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/JST7580 (JDreamII)

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
Y	JP 2008-185552 A (国立大学法人東北大学、株式会社アドバンテスト) 2008.08.14, 段落 0030-0037, 図 1, 図 6 & US 2010/0025586 A & EP 2116838 A1 & WO 2008/093729 A1	1-13
Y	JP 2006-344679 A (独立行政法人科学技術振興機構) 2006.12.21, 段落 0019 (ファミリーなし)	1-13

☒ 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

0 6 . 0 9 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 9 . 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)

田中 洋介

2 W

4 7 4 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

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
Y	萩行正憲、宮丸文章，テラヘルツ帯におけるメタマテリアルの開発と応用，応用物理，2009.06.10，第78巻，第6号，511頁-517頁	4-6, 8-13