

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年8月24日 (24.08.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/088155 A1(51) 国際特許分類:
H01P 1/20 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/302875

(22) 国際出願日: 2006年2月17日 (17.02.2006)

(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2005-041867 2005年2月18日 (18.02.2005) 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). 国立大学法人大阪大学 (OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松本直樹 (MATSUMOTO, Naoki) [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). 中川卓二 (NAKAGAWA, Takuji) [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). 安藤陽 (ANDO, Akira) [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). 坂部行雄 (SAKABE, Yukio) [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). 宮本欽生 (MIYAMOTO, Yoshinari) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 桐原聡秀 (KIRIHARA, Soshu) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP).

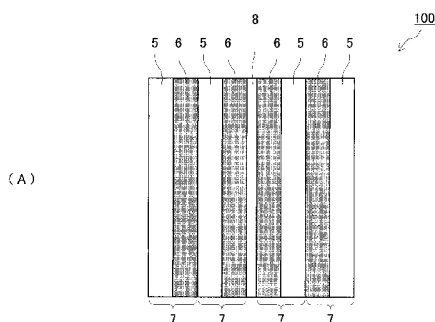
(74) 代理人: 小森久夫, 外 (KOMORI, Hisao et al.); 〒5400011 大阪府大阪市中央区農人橋1丁目4番34号 Osaka (JP).

(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,

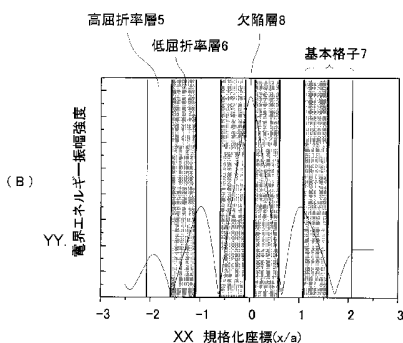
/ 続葉有 /

(54) Title: DIELECTRIC MULTILAYER PERIODIC STRUCTURE

(54) 発明の名称: 誘電体多層周期構造体



(A)

(57) Abstract: A relation $L_H/L_L > 1$ is set between the optical path length L_H of a high-refractive-index dielectric layer and the optical path length L_L of a low-refractive-index dielectric layer. A basic lattice is constituted of a multi-layer of the high-refractive-index dielectric layer and the low-refractive-index dielectric layer, and a dielectric layer having an optical path length different from those of two kinds of the above-mentioned dielectric layers is disposed as a defective layer sandwiched by the basic lattices.(57) 要約: 高屈折率誘電体層の光路長を L_H 、低屈折率誘電体層の光路長を L_L で表した時、 $L_H/L_L > 1$ となる関係とし、この高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層の積層体で基本格子を構成し、上記2種類の誘電体層とは異なる光路長を有する誘電体層を欠陥層として基本格子同士で挟まれる位置に設ける。

(B)

5... HIGH-REFRACTIVE-INDEX LAYER
 6... LOW-REFRACTIVE-INDEX LAYER
 7... BASIC LATTICE
 8... DEFECTIVE LAYER
 YY... ELECTRIC FIELD ENERGY AMPLITUDE INTENSITY
 XX... STANDARDIZED COORDINATES (x/a)



BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

誘電体多層周期構造体

技術分野

- [0001] この発明は、複数の誘電体を周期的に積層させた誘電体多層周期構造体に関するものであり、使用の対象とする電磁波領域を50GHz～3THzのミリ波ならびにテラヘルツ帯の周波帯域とするものである。

背景技術

- [0002] 従来の誘電体多層周期構造型フィルタとして、屈折率(誘電率)の異なった複数種の誘電体層を積層してなる所謂1次元フォトニック結晶構造のフィルタが提案されている(特許文献1, 特許文献2参照)。
- [0003] 特許文献1の誘電体多層基板は、一対の屈折率の異なる誘電体基板同士を積層させた基本格子を複数積層することによって多層周期構造体を構成し、それぞれの光路長(屈折率と誘電体層の厚さとの積)を1/4波長に固定している(特許文献1の段落[0026], [0027], [0092]参照)。
- [0004] ここで特許文献1の基本格子の構造を図1に示す。図1の(A)は基本格子に対する入射波と反射波の関係を示している。ここで、基本格子3は高屈折率誘電体層1と低屈折率誘電体層2の積層体からなり、高屈折率誘電体層1の屈折率を n_H 、低屈折率誘電体層の屈折率を n_L 、基本格子3以外の媒質の屈折率を n_o とすると、 $n_o < n_L, n_H > n_L$ の関係にある。高屈折率誘電体層1と低屈折率誘電体層2の層厚は、特定波長 λ_o の入射波の光路長が1/4波長($\lambda_o/4$)またはその奇数倍となるように定める。このような構造であれば、各誘電体層の界面で反射した波の位相が一致するため、この特定の波長 λ_o において反射率が最大となる。
- [0005] 上記基本格子を多層化する場合、図1の(B)に示すように、基本格子3を積層することになる。この積層体に入射した光(電磁波)は、各誘電体層の界面で反射するが、低屈折率誘電体層2aから高屈折率誘電体層1aへ進む光は、その界面paで位相反転して反射する。また、高屈折率誘電体層1aから低屈折率誘電体層2b方向へ進む光は、その界面qaで同位相で反射する。高屈折率誘電体層1aの層厚 d_1 の光路

長が $\lambda_o/4$ であれば、界面paで上記2つの反射波が同位相で合成される。このことは、高屈折率誘電体層1aと低屈折率誘電体層2bとの界面qaでの反射波と、低屈折率誘電体層2bと高屈折率誘電体層1bとの界面pbでの反射波との合成についても同様である。すなわち、高屈折率誘電体層1aから低屈折率誘電体層2bへ進む光は、その界面qaで同相で反射し、低屈折率誘電体層2bから高屈折率誘電体層1bへ進む光は、その界面pbで位相反転して反射する。低屈折率誘電体層2bの層厚d2の光路長が $\lambda_o/4$ であれば、上記2つの反射波が同位相で合成される。このようにして波長 λ_o の電磁波は反射され、この積層体は反射鏡として作用する。

[0006] 図2は、図1の(A)または(B)に示した誘電体多層基板の電磁波透過特性を示している。ここで横軸に電磁波の周波数を c/a (c =光速、 a =基本格子膜厚)で除した規格化周波数、縦軸に透過率をとっている。このように入射波の波長を変化させたとき、透過率が大きく減衰する阻止帯域をフォトニックバンドギャップ(PBG)と呼び、周期的に透過率が減衰する帯域が生じる。

[0007] また、誘電体基板の光路長が、入射する電磁波の $1/2$ 波長の整数倍であるときは、反射波の位相が打ち消し合うため透過率が最大になる(特許文献1の段落[0033]、[段落0034]参照)。

[0008] 特許文献2では、この2つの原理を応用し、誘電体多層膜の周期構造によって狭帯域通過フィルタの機能を得る一例について示したものである。その段落[0024]～[0028]および[0129]において、光路長 $\lambda_o/4$ の厚みを持った屈折率の高い光学薄膜Hと、光路長 $\lambda_o/4$ の厚みを持った屈折率の低い光学薄膜Lを基本的な光学薄膜とし、これら光学薄膜を1層ずつ重ねた2層を単位反射鏡層(以下 $\lambda_o/4$ 基本格子層と呼ぶ)とし、単位反射鏡層を複数回重ねたものを反射鏡層(以下 $\lambda_o/4$ 基本格子層と呼ぶ)としている。そして、反射鏡層間に光路長が $\lambda_o/2$ となるスペーサ層(以下 $\lambda_o/2$ 欠陥層と呼ぶ)を挟んで構成したものを単位キャビティ層とし、単位キャビティ層を連絡層を介して複数回多層化することにより多重薄膜光学フィルタを構成している。なお、本明細書ではこの単位キャビティ層の構造を($\lambda_o/4$ 基本格子層) $\ast$ ($\lambda_o/2$ 欠陥層) $\ast$ ($\lambda_o/4$ 基本格子層)と表記する。

[0009] ここで、同文献にみられるような狭帯域通過フィルタの基本構成を図3(A)に示す。

このように、高屈折率誘電体層1と低屈折率誘電体層2から成る基本格子3を複数回積層させたものの一部に、欠陥層4を挿入すると、本来ならばフォトニックバンドギャップ中で電磁波が透過しない領域であっても、特定の波長の電磁波だけが透過する狭帯域通過モードを得ることができる。これは、欠陥層の挿入によってフォトニック結晶の周期性が崩れ、電磁波の共振現象(一般的には局在化という)が生じることに因る。特に、基本格子層を $\lambda_0/4$ の奇数倍になるような光路長周期で構成し、欠陥層の光路長を特定の電磁波の波長 λ_0 に対して $\lambda_0/2$ の整数倍となるように設計すると、この欠陥層と、その隣の基本格子層との境界における反射波の位相がちょうど入射波の位相と一致するため、波長 λ_0 の電磁波について強い局在化が起きる。

[0010] 図3(B)に、基本格子層を $\lambda_0/4$ 周期、欠陥層を $\lambda_0/2$ で構成したときに、波長 λ_0 の電磁波が局在化するときの電界振幅強度の様子をシミュレーションによって計算した結果を示す。同図縦軸は電界エネルギー振幅強度を示し、横軸は、多層膜の膜厚方向の位置を x とし、1単位基本格子の膜厚を a として、 x/a で規格化した座標で表している。同図から明らかなように、電磁波は $\lambda_0/2$ 欠陥層4内を共振領域として局在化する。

[0011] また、図3(B)に示す誘電体多層周期構造型フィルタの透過特性を図4に示す。ここで、横軸は規格化周波数であり、縦軸は透過率である。このように、ちょうど図2に示した阻止帯域(フォトニックバンドギャップ)の周波数軸上での中央に、透過率が高くなる狭帯域通過モードが生じる。

[0012] 以上に示すように、基本格子で挟まれる位置に欠陥層を挿入した多層周期構造体は狭帯域通過フィルタとして利用することができ、特に上記で示した($\lambda_0/4$ 基本格子層) $\times$ ($\lambda_0/2$ 欠陥層) $\times$ ($\lambda_0/4$ 基本格子層)の従来型の多層周期構造フィルタは、光学フィルタ一般に広く応用されている。

特許文献1:特開平10-290109号公報

特許文献2:特開2002-350633公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0013] ところが前記基礎概念に基づいて作製される($\lambda_0/4$ 基本格子層) $\times$ ($\lambda_0/2$ 欠

陷層) * ($\lambda_o/4$ 基本格子層)の従来型の多層周期構造フィルタを、ミリ波帯～テラヘルツ帯(50GHzから3THz)の電磁波領域で機能させようとする、次に述べるような問題が生じる。

- [0014] 上記周波数帯で最も問題になるのは、材料の誘電損失により電磁波の透過帯、特に前記狭帯域通過帯の透過強度が大きく減衰してしまうことである。
- [0015] 誘電体の誘電損失は、一般的に交流電場に対して分極の変化が追従できない場合に発生する。従来技術では、動作周波数が 10^{14} Hz台の可視光～赤外光領域を扱うものがほとんどであり、このような周波数帯では交流電場に対する応答特性の高い電子分極が主体であるため、その追従遅れが少なく誘電損失成分は小さい。そのため、特許文献2に示されているように、積層層数を数十層とする構成が一般的である。
- [0016] しかし、動作周波数がミリ波帯～THz帯を含む $10^{12} \sim 10^{15}$ Hz帯では、電子分極と比較して交流電場に対する追従性の悪いイオン分極が主体となるため、誘電損失の影響が非常に大きくなる。
- [0017] このように材料の誘電損失が大きくなる周波数帯で透過帯の透過率向上を図るには、積層層数をできるだけ減らし、素子厚も薄くすることが望ましい。
- [0018] ただし、単純に積層層数を減らしただけでは波の干渉効果が弱まるため、入射した波がほとんど透過することになり、そのままではフィルタとしての特性が劣化してしまう。
- [0019] この問題に対しては、積層材料の屈折率比を高めることが有効である。
- [0020] 屈折率比が高ければ、誘電体層間の界面における反射率が高まるため、少ない層数で十分なフォトニックバンドギャップを得ることができ、阻止帯の幅も広帯域化できる。また、屈折率比を高めるために高屈折率材料を用いることで、波長短縮効果によって、より素子厚を薄くできる利点がある。
- [0021] 以上の概念に従い、狭帯域通過帯の波長 λ_o を2mm(150GHz)として設計し、それに基づいて作製した($\lambda_o/4$ 基本格子層) * ($\lambda_o/2$ 欠陷層) * ($\lambda_o/4$ 基本格子層)の従来型の多層周期構造フィルタの透過特性を図5に示す。これは高屈折率誘電体層に $n_H = 10.4$ の TiO_2 、低屈折率誘電体層に $n_L = 3.5$ の Al_2O_3 を用いて、

屈折率比をおよそ3倍としたものである。全体層数は従来技術と比較して格段に少ない9層で、素子厚は0.84mmとなっている。100～200GHzの領域で阻止帯域の最小透過率($T_{\min}$)は－40dB程度となっており、強い阻止帯域を形成することができる。これはこの種のフィルタで一般的に必要とされる－30dBと比較しても遜色ない値である。

[0022] ところが、図5において狭帯域通過モードの強度に着目すると、誘電損失を考慮しないシミュレーション(上段)では透過損失が0であるが、実験結果(下段)では最大で－20dB程度の透過強度に留まっている。その他の透過帯(0～100GHz、200～300GHz)ではある程度の透過強度が得られていることを勘案すると、何らかの理由で欠陥層における電磁波の共振効果が弱まっているものと推測できる。

[0023] この原因には次のメカニズムが関係している。この従来型の $\lambda_0/2$ 欠陥層構造の場合、電磁波の共振領域は前述の通り欠陥層内のみとなり、この層内だけで波の局在化が起きる。局在化した電磁波は、欠陥層両端の $\lambda_0/4$ 基本格子層が反射鏡として作用するので、その間で多重反射し、欠陥層内に強く閉じ込められる。欠陥層の誘電体材料に誘電損失がある場合は、その多重反射の過程で、局在化した電磁波エネルギーが徐々に減衰してしまうため、外部への取り出し効率は著しく悪化する。それによって、狭帯域通過モードの透過強度は非常に小さなものとなるのである。

[0024] この例で用いた材料の誘電損失の値は、測定周波数100～300GHzの領域で、 TiO_2 が $\tan \delta = 8.7 \times 10^{-3}$ 、 Al_2O_3 が $\tan \delta = 7.5 \times 10^{-3}$ 程度であり、これはほとんど損失が無視できる可視光領域の周波数帯における値と比較すると非常に大きい。

[0025] 従って、以上のように($\lambda_0/4$ 基本格子層) $\times$ ($\lambda_0/2$ 欠陥層) $\times$ ($\lambda_0/4$ 基本格子層)の従来型の多層周期構造フィルタにおいて、単純に屈折率比を高め、低層数化しただけでは局在化した電磁波を外部へ効率的に取り出すことは難しい。

[0026] なお、特許文献1では、その請求項6, 7, 19, 20に、光路長を $\lambda/2$ から所定の第3の値(x)だけずらした層を挿入し、それによってバンドパスフィルタの機能を得る旨記載されている。しかし、段落[0034], [0046]～[0048]に述べられているように、これは $\lambda/2 \pm x$ の層を2層挿入した構成法についてのみ示しており、その具体例とその特性については何ら触れられておらず、前述のミリ波帯～テラヘルツ帯の電磁

波領域における狭帯域通過帯の強度減衰の問題を解消するものではない。

[0027] また、特許文献2では、前記従来型の多層周期構造フィルタを基礎として、フルビッツ多項式により所望の透過特性および反射特性に応じたフィルタを構成する手法について示しているが、段落[0021]で述べているように、これは通過帯における直線ひずみが少ないフィルタの設計に関するものであって、透過信号の透過強度を向上させることに関しては何ら触れられておらず、さらに全体層数が数十層になることから、前述のミリ波帯～テラヘルツ帯の電磁波領域における狭帯域通過帯の強度減衰の問題を解消するものではない。

[0028] そこで、本発明の目的は、フォトニック結晶の構成法を変えることによって狭帯域通過モードの透過強度を向上させることにある。

課題を解決するための手段

[0029] この発明は、上述の問題を解消するために、次のように構成する。

(1) 屈折率が異なる2種類の誘電体層を積層した基本格子を複数備えた誘電体多層周期構造体であって、前記2種類の誘電体層のうち、屈折率の高い誘電体層の光路長を L_H 、屈折率の低い誘電体層の光路長を L_L で表したとき、 $L_H/L_L > 1$ となる関係を満たし、前記基本格子同士で挟まれる位置に、前記基本格子を構成する前記2種類の誘電体層とは異なる光路長を有する誘電体層を欠陥層として設けた多層周期構造とする。

[0030] (2) 前記2種類の誘電体層の屈折率比は、前記屈折率の高い誘電体層と、前記屈折率の低い誘電体層との屈折率比を2以上とする。

[0031] (3) 前記欠陥層の光路長を狭帯域通過帯の中心波長の $1/2$ より小さくする。

[0032] (4) 前記欠陥層の光路長を、前記基本格子を構成する誘電体層のうち欠陥層と同じ誘電体材料からなる誘電体層の光路長より小さくする。

[0033] (5) 前記誘電体多層周期構造体の最外部の基本格子のうち、外側の誘電体層を取り除いた構造とする。

[0034] (6) 前記誘電体多層周期構造体による狭帯域通過モードが、周波数50GHz～3THzのミリ波帯またはテラヘルツ帯の周波数域に生じるものである。

[0035] (7) 前記誘電体多層周期構造体は、屈折率の異なる複数の誘電体セラミックスのグ

リーンシートを周期構造をなすように所定の順序で積層した積層体を同時焼成したものとする。

発明の効果

- [0036] 本発明は、フォトニック結晶におけるバンドギャップが、前記従来技術に記載のように基本格子の光路長を入射する電磁波の波長 λ_0 に対して $1/4$ の長さにならずとも、あくまで屈折率の異なる誘電体層を周期的に配置することによって得られるものであることに着目し、その光路長を $\lambda_0/4$ 、すなわち光路長比率の条件を $L_H/L_L=1$ からずらした構成とすることによって、欠陥層内部で局在化した電磁波が欠陥層内部で多重反射されず、外部に取り出され易くなるようにするものである。本発明の構成においては、狭帯域通過モードが得られる時の波長 λ_0 のとき、基本格子層において反射される波の位相整合条件が $\lambda_0/4$ 基本格子の場合と異なって満たされにくい状態になるため、欠陥層を中心として局在化した電磁波が両端の基本格子層で多重反射されずに外部へ取り出しやすい状態とすることができる。これにより狭帯域通過モードの透過率を向上させることができる。
- [0037] 特に前記光路長比率 L_H/L_L を1より高めることによって、系全体の平均屈折率が向上するため、波長短縮効果により素子厚を低減することができる。これは、平均屈折率を n_a で表すと、誘電体中を伝搬する電磁波の波長 λ と誘電体層の厚さ d との関係が、 $d=\lambda/n_a$ で表されるように、同じ波長 λ であれば、分母の平均屈折率 n_a の値が大きいほど誘電体層の厚さ d を小さくできることに起因する。
- [0038] 屈折率の高い誘電体層（以下、「高屈折率誘電体層」という。）と、屈折率の低い誘電体層（以下、「低屈折率誘電体層」という。）の屈折率比を2以上とすることによって、10層前後の少ない層数でも十分なバンドギャップ幅および阻止利得が得られる。
- 欠陥層の光路長を狭帯域通過帯の中心波長の $1/2$ より小さくすることにより、欠陥層の膜厚を薄くすることができ、素子厚の低減を図ることができる。
- [0039] また、欠陥層を構成する誘電体層の光路長を、基本格子層を構成する同じ誘電体材料からなる誘電体層の光路長より小さくすることにより、電磁波の局在領域が欠陥層に隣接する他の層にまで広がり、外部への取り出し効率が向上する。すなわち、欠陥層の導入による電磁波の局在化に関しては、複数層にまたがる電磁波の共振モ

ードを利用することで、局在化した電磁波が欠陥層の両側の基本格子層で反射することによって損失となる割合を低減できる。また、欠陥層の光路長を小さくすることができるので、積層体の総膜厚(素子厚)が低減できる。

[0040] 前記誘電体多層周期構造体の最外部の基本格子のうち、外側の誘電体層を取り除いた構造とすることにより、素子厚が低減でき、透過率の向上が図れる。また、素子作製プロセスの簡略化および素子の小型化が図れる。

[0041] 前記多層誘電体を、誘電体セラミックグリーンシートを用いたシート工法で作製することにより、特性の均質な素子を量産でき、低コスト化が図れる。

図面の簡単な説明

[0042] [図1]特許文献1の誘電体多層基板の構成を示す図である。

[図2]同誘電体多層基板の阻止帯域の例を示す図である。

[図3](A)は欠陥層を挿入した多層周期構造体の基本構成を示す図である。(B)は($\lambda_0/4$ 基本格子) $\times$ ($\lambda_0/2$ 欠陥層) $\times$ ($\lambda_0/4$ 基本格子)型で構成した多層周期構造体において、狭帯域透過帯の中心波長 λ_0 のときの電界振幅強度の分布を示す図である。

[図4]同フィルタの電磁波透過特性の例を示す図である。

[図5]高屈折率誘電体層に TiO_2 、低屈折率誘電体層に Al_2O_3 を用いて実際に構成した従来型の多層周期構造フィルタの透過率特性を示す図である。

[図6](A)は第1の実施形態に係る多層周期構造体の基本構成を示す図である。

[0043] (B)は、同構造において、狭帯域透過帯の中心波長 λ_0 のときの電界振幅強度の分布を示す図である。

[図7](A)は($\lambda_0/4$ 基本格子) $\times$ ($\lambda_0/2$ 欠陥層) $\times$ ($\lambda_0/4$ 基本格子)型で構成した多層周期構造において、高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層の屈折率比によって阻止帯域の最小透過率(Tmin)がどのように変化するかを示す図である。(B)は、上記構造で屈折率比を2とし、狭帯域通過モードが得られる中心周波数を150GHzに設定したときに必要な素子厚が、低屈折率材料の屈折率によって変化することを示す図である。

[図8]高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層の光路長比 L_H/L_L の値を変化させた

時に得られた透過特性の変化の例を示す図である。

[図9]高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層の光路長比 L_H/L_L の違いによる素子各部の厚さの違いを示す図である。

[図10]欠陥層の光路長 L_c と狭帯域通過モードの中心周波数との関係を示す図である。

[図11]光路長の異なる欠陥層を有する誘電体多層周期構造体の透過特性を示す図である。

[図12]高屈折率誘電体層と低屈折率誘電体層の光路長比率 L_H/L_L に対する透過率の変化の例を示す図である。

[図13]第2の実施形態に係る誘電体多層周期構造体の構成を示す図である。

[図14]第2の実施形態における誘電体多層周期構造体の透過率特性の例を示す図である。

[図15]第3の実施形態に係る誘電体多層周期構造体の製造工程を示す図である。

符号の説明

- [0044] 1, 5, 9—高屈折率誘電体層
2, 6, 10—低屈折率誘電体層
3, 7, 11—基本格子
4, 8, 12—欠陥層
13—最外層
100, 101—誘電体多層周期構造体

発明を実施するための最良の形態

- [0045] 第1の実施形態に係る誘電体多層周期構造体について図6～図12の各図を参照して説明する。

図6は本実施形態における誘電体多層周期構造体を示す図であり、(A)は周期構造体の断面図、(B)は電磁波が局在化するときの電界エネルギーの振幅強度の分布を素子の膜厚方向において表した図である。

- [0046] この第1の実施形態では、屈折率 n_H 、膜厚 d_H の高屈折率誘電体層5と、屈折率 n_L 、膜厚 d_L の低屈折率誘電体層6をそれぞれ1層ずつ交互に積層し、その2層を1単位

基本格子7とした構成から成り、フォトニックバンドギャップは、この基本格子7を2つ以上設けることで形成することができる。この実施形態では9層の多層構造としているが、層数はこれより多くても構わない。ここで、本発明における誘電体材料の比誘電率の値と屈折率値との対応に関しては、真空の誘電率を ϵ_0 、誘電体材料の誘電率を ϵ_s とすると、屈折率 n は $n = \sqrt{(\epsilon_s / \epsilon_0)}$ となり、 ϵ_s / ϵ_0 は比誘電率 ϵ' であるから、

$n = \sqrt{(\epsilon')}$ として扱う。なお、ここでは複屈折率の概念を扱わないものとする。

[0047] 欠陥層8は、基本格子7を構成する誘電体層5, 6とは光路長が異なる誘電体層によって形成し、その両端に基本格子7を設ける。この欠陥層の導入により、基本格子7で形成される周期性の一部が崩れるため、図6(B)に示すように欠陥層8を中心とする電磁波の局在化が起き、それによりフォトニックバンドギャップ中で狭帯域通過モードが発現する。図6では高屈折率材料を欠陥層に用いた構成を示しているが、これは低屈折率材料を用いた構成としても構わない。

[0048] 次に、前記基本格子を構成する高屈折率誘電体と低屈折率誘電体との屈折率比について説明する。

[0049] 基本的には屈折率に周期性を持たせればフォトニックバンドギャップが得られるので、フォトニックバンドギャップを得るという点では上記屈折率比は必須の条件ではない。

[0050] しかし、フォトニックバンドギャップ内における最小透過率($T_{\min}$)は屈折率比に強く依存する。具体的に示すと、 $(\lambda_0 / 4 \text{ 基本格子層}) * (\lambda_0 / 2 \text{ 欠陥層}) * (\lambda_0 / 4 \text{ 基本格子層})$ 型の多層周期構造フィルタにおける $T_{\min}$ は、高屈折率誘電体の屈折率を n_H 、低屈折率誘電体の屈折率を n_L 、積層層数を N とおくと、近似的に次の式で与えられる。

[0051] [数1]

$$T_{\min} = 1 - \left| \frac{1 - (n_H / n_L)^{N-1}}{1 + (n_H / n_L)^{N-1}} \right|$$

[0052] この式に基づいて屈折率比に対する $T_{\min}$ の値を求めた結果を図7(A)に示す。同図から明らかなように、屈折率比が小さいと $T_{\min}$ が 0dB に近づき、また層数が少

なくなるとさらにTminの値が0dBに近づく。よって、フィルタの設計を行う上では十分な阻止利得が得られるように屈折率比および積層層数を決定する必要がある。具体的な例を示すと、屈折率比1.5の光学多層周期構造フィルタでTmin=-30dBを得ようとする場合、積層層数は約20層必要である。

[0053] 但し、前述したように本発明が目的とするミリ波からテラヘルツ帯の電磁波帯域では誘電体材料の誘電損失の影響が大きい問題があり、また素子の小型化を図るためにもできるだけ積層層数は抑えることが望ましい。そこで、一般的なフィルタに要求される-30dBの阻止利得を得て、かつ積層層数を抑えるためには、屈折率比を最低でも2以上にすることが必要である。例えば、屈折率比2の条件に従い阻止利得-30dBの多層周期構造フィルタを構成する場合は、積層層数を13層程度に抑えることができる。但し、屈折率比を高めすぎると素子に入射した電磁波が透過せずに反射されてしまう割合が高まるため、帯域通過フィルタとして使用する上では、屈折率比は最大でも5程度に留めることが望ましい。

[0054] また、低屈折率材料の屈折率を大きくすることで、より阻止帯域の最小透過率を低く抑えることができ、素子厚も減らすことができる。図7(B)は上記条件において、屈折率比を2、層数を9層に固定し、低屈折率材料の屈折率を1~5の範囲で変えたときに、150GHzで狭帯域通過モードを得ようとする場合に必要な素子厚を示したものである。低屈折率材料の屈折率が低い場合は、系全体の平均屈折率も減少するため、前記波長短縮効果が得られず素子厚は非常に厚いものとなる。従って、低屈折率材料に用いる誘電体材料の屈折率はある程度高い方がよく、およそ屈折率2以上のものを使用することが望ましい。

[0055] 前記低屈折率誘電体層の材料としては、例えば Al_2O_3 、 $2\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 、 SiO_2 、 $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 MgAl_2O_4 、 ZrO_2 、 MgTiO_3 、 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}, \text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ 、 $\text{Ba}(\text{Mn}_{1/3}, \text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ などのセラミック材料が挙げられ、これらを用いることにより、低屈折率誘電体層に用いる媒質の最低屈折率は2以上とすることが望ましい。

[0056] また、前記高屈折率誘電体層の材料としては、例えば TiO_2 や CaTiO_3 、 $\text{BaO}-\text{TiO}_2$ 系、 $\text{ZrO}_2-\text{SnO}_2-\text{TiO}_2$ 系、 $\text{Pb}(\text{Mg}, \text{Nb})\text{O}_3$ 系、 $\text{Pb}(\text{Zn}, \text{Nb})\text{O}_3$ 系、 $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系、 $\text{BaO}-\text{Sm}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系、 $(\text{CaSrBa})\text{ZrO}_3$ 系、 $\text{BaO}-\text{TiO}_2-\text{WO}_3$ 系、 $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{O}-\text{Sm}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系、 Ca

$\text{O}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ 系、 $\text{BaO}-\text{PbO}_3-\text{NdO}_3-\text{TiO}_2$ 系、 $\text{Ba}(\text{Zn},\text{Nb})\text{O}_3$ 系、 $\text{Ba}(\text{Zn},\text{Ta})\text{O}_3$ 系、 $\text{MgTiO}_3-\text{CaTiO}_3$ 系、 $\text{CaTiO}_3-(\text{Li}_{1/2}\text{Re}_{1/2})\text{TiO}_3$ 系、 $(\text{Ca},\text{Re})(\text{Ti},\text{Al})\text{O}_3$ 系、 $(\text{Sr},\text{La})(\text{Ti},\text{Al})\text{O}_3$ 系、 $\text{CaTiO}_3-\text{Re}(\text{Mg}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ 、 $\text{CaTiO}_3-\text{Ca}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ などのセラミック材料が挙げられる(但し $\text{Re}=\text{La},\text{Nd},\text{Sm}$)。

[0057] また、上記材料には例えば結晶化ガラスや焼結助剤となる各種元素を添加することにより低温焼結を可能にした複合材料を用いても構わない。

[0058] これらを前記低屈折率材料と組み合わせる際は、その屈折率比が2以上になるよう材料を適宜選択する。なお、前記低屈折率誘電体材料および高屈折率誘電体材料の例はあくまで実施形態の一例であり、例えば前記記載の高屈折率誘電体材料群の中から屈折率比が2以上になるような材料の組み合わせを選択しても構わない。また、ここに挙げた材料群は望ましい実施形態の一例であり、本発明で使用する材料の種類がこれらに限定されるものではない。

[0059] 図6に示すこの第1の実施形態では、高屈折率誘電体層5の高屈折率材料に TiO_2 ($n_H=10.4$)、と低屈折率誘電体層6の低屈折率材料に Al_2O_3 ($n_L=3.5$)を用い、屈折率比を約3としている。また、欠陥層8を高屈折率誘電体層とし、その誘電体材料は上記高屈折率誘電体層4の高屈折率材料と同様の TiO_2 ($n_H=10.4$)を用いている。

[0060] 次に、図6に示す第1の実施形態において、基本格子7を構成する2つの誘電体層の膜厚を、その光路長の比(L_H/L_L)が1より大きくなるように設計することで、狭帯域通過モードの透過率を高める事が可能であることを実験によって検証した結果を以下に示す。

[0061] まず、狭帯域通過モードの中心周波数 f_0 はおよそ150GHz($\lambda_0=2\text{mm}$)として設計し、全体層数は9層として前記誘電体多層周期構造体を作製した。

[0062] 図8は、 L_H/L_L の値を従来技術に従って1.0とした場合と、3.3, 7.6とした場合の、前記誘電体多層周期構造体における狭帯域通過モードの最大透過率の変化を示したもので、図中下向き三角記号は狭帯域通過モードを示している。同図から明らかのように、狭帯域通過モードの透過率は $L_H/L_L=1.0$ のものでは-19dB程度に留まっているが、 L_H/L_L の値が増すに連れてその強度は増大し、 $L_H/L_L=3.3$ で

は -6dB 、 $L_H/L_L = 7.6$ では -3dB まで向上している。

- [0063] この第1の実施形態における単位基本格子の光路長 $L_H + L_L$ の値を図9に示す。狭帯域通過モードが得られた中心周波数での $1/2$ 波長($\lambda_o/2$)と比較すると、 $L_H + L_L$ の値はいずれも $(L_H + L_L) < \lambda_o/2$ なる関係を満たしている。
- [0064] なお、欠陥層に用いる材料は前記高屈折率材料に限らず、前記低屈折率材料を用いることもでき、さらに基本格子を構成する材料とは異なる第3の媒質を、前記低屈折率誘電体層と高屈折率誘電体層の例として挙げた材料群の中から選択することもできる。
- [0065] 積層体の素子厚は図9に示すように L_H/L_L の値が大きいほど薄型化することができる。但し、 L_H/L_L の値を大きくし過ぎると、低屈折率誘電体層の膜厚の割合が減少し、高屈折率誘電体層の膜厚の割合が増加しすぎることにより、フォトニックバンドギャップの発現効果が弱まるため、その値の上限は10程度に留めることが望ましい。
- [0066] なお、 $L_H/L_L = 1.0$ の試料では、基本格子長 $L_H + L_L$ と欠陥層光路長 L_c の値が $\lambda_o/2$ とほぼ等しく、従来技術に従った構成となっている。
- [0067] 次に、欠陥層の設計手法について述べる。
- [0068] この実施形態では、前述したように電磁波の共振領域を欠陥層内に限定しないので、所望の周波数位置で狭帯域通過モードを得るためには、従来のように単純に $\lambda_o/2$ となるような光路長で欠陥層の膜厚を決めることはできない。すなわち、系全体での干渉効果を考慮した膜厚設計が必要となる。そこで、この実施形態では L_H/L_L の値を固定し、欠陥層の膜厚のみをある一定の範囲で変化させた場合に、狭帯域通過モードの中心周波数がどのようにシフトするかを予めシミュレーションにより検討した。
- [0069] 図10は、前述の実施形態で L_H/L_L の値を3.3とし、欠陥層光路長 L_c を変化させた場合に、狭帯域通過モードの中心周波数の関係がどのように変化するかをシミュレーションにより求めたものである。なお、本明細書で記載するシミュレーション結果は、すべて多層周期構造の各界面における電界および磁界成分をマクスウェルの方程式に基づいて解き透過率を算出している。
- [0070] 同図について説明すると、欠陥層の光路長を0から $800\text{ }\mu\text{m}$ に増していった場合は

、狭帯域通過モードの中心周波数が190GHzから110GHzに変化しており、さらに光路長を増した場合は、中心周波数が再び190GHzにシフトする。これは、上下の破線で挟まれる領域が阻止帯域であり、その中に狭帯域通過モードの中心周波数が存在することを意味する。従って、欠陥層の光路長を適切に設定すれば、阻止帯域内の任意の周波数において、狭帯域通過モードが得られる欠陥層の膜厚条件を決定することができる。

- [0071] 図8に示した実施形態では上記シミュレーション結果に基づき、150GHzで狭帯域通過モードが得られるときの欠陥層の光路長 L_c を約 $180\mu\text{m}$ として設計した。この欠陥層の光路長 L_c は、狭帯域通過帯の中心波長の $1/2(\lambda_o/2)$ より小さくすることで、素子厚の低減を図っている。
- [0072] この実施形態では必ずしも欠陥層内のみを電磁波の共振領域として扱わないので、欠陥層の光路長 L_c は $\lambda_o/2$ より小さくすることができる。さらに、本実施例では図9を参照すれば明らかなように、欠陥層の光路長 L_c は同じ高屈折率材料で構成される基本格子の光路長 L_H よりも短くすることができる。このように欠陥層の膜厚を薄くすることは、素子厚を低減する上で有効である。
- [0073] 一方、欠陥層の光路長 L_c を $\lambda_o/2$ よりも大きくした場合についても検討した。図11は、 L_H/L_L の値を3.3、狭帯域通過モードの中心波長 λ_o を2mm、欠陥層の光路長 L_c を $\lambda_o/2$ 、 λ_o 、 $3\lambda_o/2$ となるように構成された3つの構造体の透過スペクトルを示したものである。この構成では、いずれも基本格子は欠陥層の両端でそれぞれ1.5周期(3層)としており、欠陥層の厚みのみを変えている。
- [0074] 図11は欠陥層の光路長によって、狭帯域通過モードの帯域幅を制御できることを示している。狭帯域通過モードの帯域幅は、欠陥層の光路長を増やすほど狭まっており、図11の範囲では、ピーク半値幅が2.1GHz～4.3GHzの間で変化している。このとき狭帯域通過モードの透過率は-5.3dBから-6.2dBであり、欠陥層の光路長を $\lambda_o/2$ より小さくした図10の $\langle L_H/L_L = 3.3 \rangle$ の結果と比較して同程度の透過率が得られている。よって、欠陥層の光路長を $\lambda_o/2$ よりも大きくした場合は、透過率を大きく減衰させることなく、狭帯域通過モードの帯域幅を制御することができる。

但し、欠陥層の光路長を $\lambda_0/2$ より大きくした場合は、素子厚低減のメリットが得られない点に留意する必要がある。

[0075] この実施形態の作用・効果について次に述べる。

この実施形態では、基本格子の光路長比率 L_H/L_L の値を1より大きくすることで、反射波の位相整合条件が満たされにくい状態を形成することができ、それによって内部で局在化した電磁波が基本格子層で多重反射されて損失となる割合を減らすことができる。

[0076] この実施形態では L_H/L_L の値を1より大きくした場合についての結果を示したが、局在化した電磁波が外部に抜けやすいようにするためには、基本格子層での反射波の位相整合条件を崩せばよいので、 L_H/L_L の値が1より少ない場合についても同様の検討を行う必要がある。そこで、図12に、 L_H/L_L の値を0.15～7.03まで変化させたときの狭帯域通過モードの最大透過率($T_{\max}$)と阻止帯域の最小透過率($T_{\min}$)をシミュレーションにより求めた値(図中中抜き点)と、前述した実験結果の値(図中塗り潰しの点)を示す。

[0077] 狭帯域通過モードの最大透過率は $L_H/L_L = 1.0$ の場合に最小値をとっており、 $L_H/L_L > 1$ のこの実施形態はシミュレーション結果と実験結果はよく一致している。

[0078] L_H/L_L の値が1以下の場合については、シミュレーション上では $L_H/L_L > 1$ の場合と同様の傾向になっているが、注意しなければならないのは、この場合系全体の平均屈折率が低下するため、それに伴い素子厚を厚くしなければならないということである。これは、誘電体中を伝搬する電磁波の波長 λ と誘電体の厚さ d との関係が、前記記載のように同じ波長 λ であれば平均屈折率の値が大きい方が d の値を小さくできることに起因する。この $L_H/L_L < 1$ の場合と $L_H/L_L > 1$ の場合とで、ほぼ同じ透過強度が得られる条件(図12中AとA')においてその素子厚を計算すると、その差はおよそ2倍になる。このように素子厚が大幅に増大することは素子厚低減のメリットが失われることなどから、 $L_H/L_L > 1$ とする方が有利である。

[0079] 同じ狭帯域通過モードの中心周波数 f_0 を指定したときの素子厚に関しては、 $f_0 = 150\text{GHz}$ とした前述の試料において、 $L_H/L_L = 1.0$ では $844\mu\text{m}$ となるが、この実施形態の一例である $L_H/L_L = 7.6$ では $455\mu\text{m}$ と約5割薄型化することが可能で

ある。これにより、作製プロセスの簡略化と素子の小型化が図れる。

[0080] また、この実施形態では電磁波の共振領域を欠陥層の近傍に広げることで、局在領域が欠陥層内だけに限定されないようになり、従来技術で問題となっていた両側の基本格子層で電磁波が多重反射して損失になる割合を低減することができる。

[0081] 以上に示したように、この実施形態では少ない層数および薄い素子厚による誘電体多層周期構造の構成で、所望の周波数の電磁波を選択的に透過させることができる狭帯域通過フィルタの透過強度向上を図る事ができる。

[0082] なお、この実施形態では欠陥層の厚みを変えることで光路長を変更しているが、光路長を変える手段としては厚みだけに限られるものではなく、屈折率を変えることによっても光路長を変更できることは言うまでもない。

[0083] 次に、第2の実施形態に係る誘電体多層周期構造体について、図13・図14を参照して説明する。

図13は第2の実施形態に係る誘電体多層周期構造体の基本構造図である。この第2の実施形態は、第1の実施形態と同様に、屈折率 n_H 、膜厚 d_H の高屈折率誘電体層9と、屈折率 n_L 、膜厚 d_L の低屈折率誘電体層10をそれぞれ1層ずつ交互に積層し、その2層を単位基本格子11とする誘電体多層構造であり、誘電体多層周期構造体の最外部の基本格子11のうち、外側の誘電体層13を取り除いた構造となっている。

[0084] また、図13の構造は第1の実施形態で示した図6(A)と同様に、基本格子の光路長に対して薄い光路長を有する欠陥層12を多層周期構造体101の中央に挿入し、それにより狭帯域通過フィルタの機能を得るものである。

[0085] 上記誘電体多層周期構造体の作用・効果は次のとおりである。

この第2の実施形態では、フォトリソバンドギャップの発現に関して、その作用が小さい端面の層を意図的に取り除く事により、全体の層数を抑え、透過率の向上を図ることができる。それにより、第1の実施形態の場合と同様の阻止帯域を有し、かつ強い透過率を有する狭帯域通過モードを得る事が出来る。

[0086] 図14は、この第2の実施形態に従い、約150GHzを狭帯域通過モードの中心周波数 f_0 とし、 $L_H / L_L = 3.4$ として設計、作製した7層多層構造体の透過特性を示したものである。同図には、 L_H / L_L の値がほぼ同じである第1の実施形態($L_H / L_L = 3$

. 3)の結果も併せて示しており、図中下向き三角記号は狭帯域通過モードを示している。高屈折率誘電体層9には TiO_2 、低屈折率誘電体層10には Al_2O_3 、欠陥層12には Al_2O_3 を用いており、各層の光路長については、高屈折率誘電体層の光路長 $L_H = 620 \mu\text{m}$ 、低屈折率誘電体層の光路長 $L_L = 180 \mu\text{m}$ としている。また、欠陥層の光路長は、 $\lambda_0/2$ の値($968 \mu\text{m}$)より小さい $L_c = 25 \mu\text{m}$ としている。

[0087] なお、この第2の実施形態では、欠陥層12に低屈折率材料を用いたが、第1の実施形態で示した例のように、欠陥層に高屈折率材料を用いてもよい。

[0088] 欠陥層12の光路長は、同じ誘電体材料から成る基本格子を構成する1層の光路長よりも少なくすることができ、欠陥層に低屈折率材料を使用した本実施例の場合でも、前記記載の光路長の値からわかるように、欠陥層の光路長 L_c は同じ Al_2O_3 から成る基本格子を構成する1層の光路長 L_L よりも短くなる。

[0089] この構造においては、最大透過率 -4dB の狭帯域通過モードが得られる。この最大透過率の値は、第1の実施形態(L_H/L_L の値が第2の実施形態で示したものとほぼ等しい $L_H/L_L = 3.3$ のもの)で示した最大透過率の値(-6dB)に対して約30%向上している。

[0090] なお、この第2の実施形態における電磁波局在化の効果は第1の実施形態の場合と同様である。

[0091] 次に、第1・第2の実施形態で示した誘電体多層周期構造体の製造方法を第3の実施形態として説明する。

図15はその製造工程を示す図である。

まず、図15の(A)に示すように、高屈折率誘電体層となるべき高屈折率誘電体材料のセラミックグリーンシート5'と、低屈折率誘電体層となるべき低屈折率誘電体セラミックのグリーンシート6'とをそれぞれ交互に配置した基本格子と、欠陥層となるべき高屈折率誘電体材料、低屈折率誘電体材料または基本格子を構成する材料とは異なる第3の誘電体材料のセラミックグリーンシート8'を基本格子の間に配置して積層、圧着し、同図の(B)に示すようにセラミックグリーンシートの積層体100'を構成する。

[0092] この際、高屈折率誘電体層、低屈折率誘電体層および欠陥層の光路長が所定寸

法となるようにセラミックグリーンシート5' , 6' , 8' の厚みを調節する。

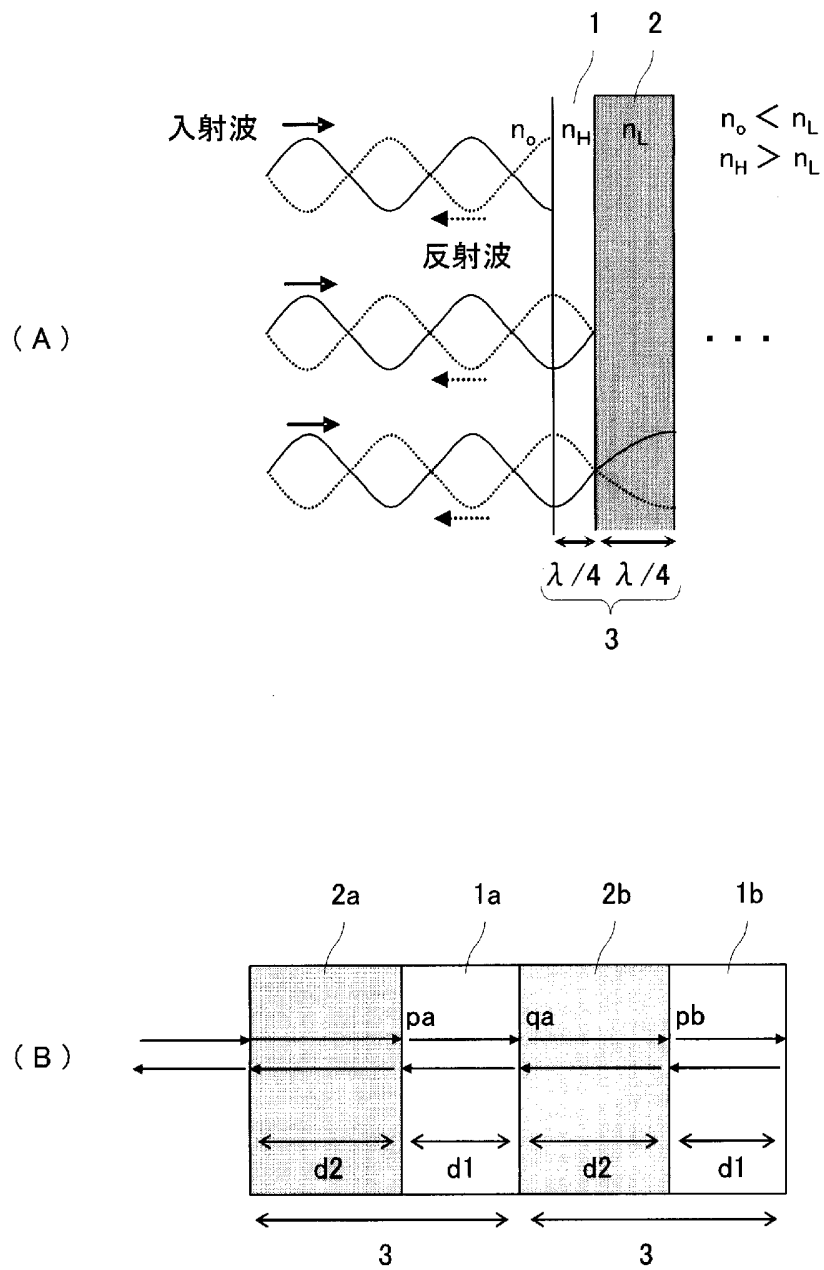
その後、(C)に示すように、上記積層体100' から所定サイズのチップ100'' を切り出し、所定の雰囲気中で焼成して完成素子100とする。

なお、図15(B)～(D)では第1の実施例の9層構造となっているが、第2の実施例の場合は7層にすればよいことは言うまでもない。

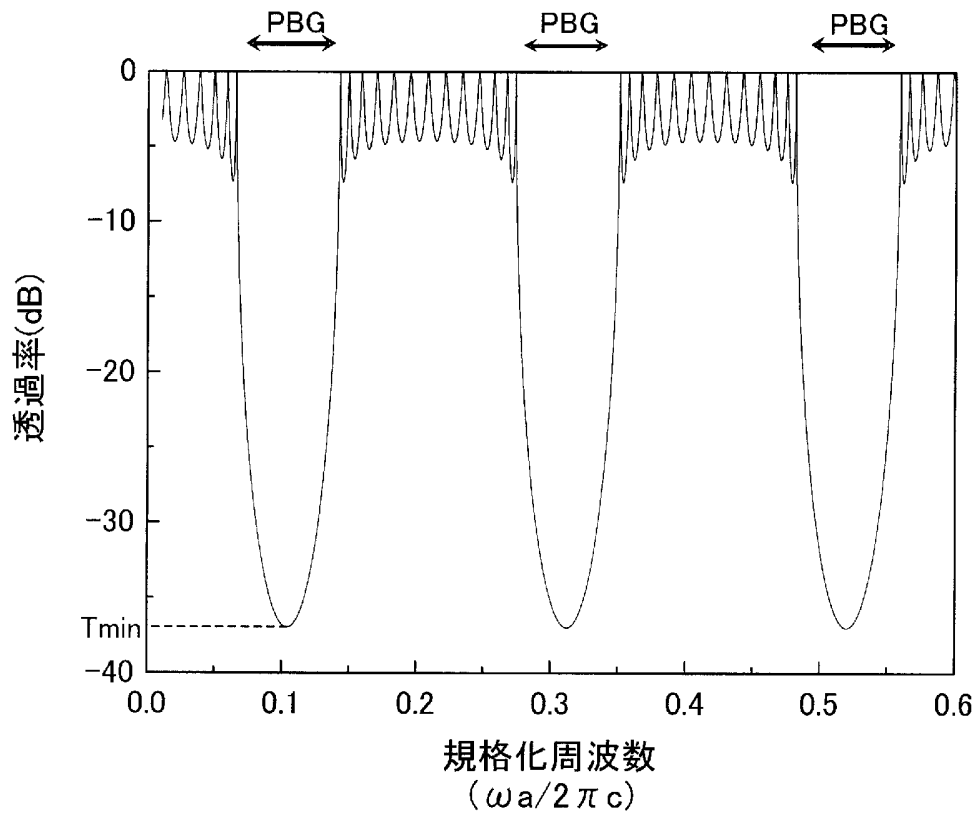
請求の範囲

- [1] 屈折率が異なる2種類の誘電体層を積層した基本格子を、周期構造をなして複数備えた誘電体多層周期構造体であって、
- 前記2種類の誘電体層のうち、屈折率の高い誘電体層の光路長を L_H 、屈折率の低い誘電体層の光路長を L_L で表したとき、 $L_H / L_L > 1$ となる関係を満たし、
- 前記基本格子同士で挟まれる位置に、前記基本格子を構成する前記2種類の誘電体層とは異なる光路長を有する誘電体層を欠陥層として設けた誘電体多層周期構造体。
- [2] 前記2種類の誘電体層のうち、前記屈折率の高い誘電体層と、前記屈折率の低い誘電体層との屈折率比を2以上とした請求項1に記載の誘電体多層周期構造体。
- [3] 前記欠陥層の光路長を狭帯域通過帯の中心波長の $1/2$ より小さくした請求項1または2に記載の誘電体多層周期構造体。
- [4] 前記欠陥層の光路長を、前記基本格子を構成する誘電体層のうち、前記欠陥層と同じ誘電体材料から成る誘電体層の光路長よりも小さくした請求項1～3のうちいずれかに記載の誘電体多層周期構造体。
- [5] 前記誘電体多層周期構造体の最外部の基本格子のうち、外側の誘電体層を取り除いた構造とした請求項1～4のうちいずれかに記載の誘電体多層周期構造体。
- [6] 前記誘電体多層周期構造体による狭帯域通過モードが、周波数50GHz～3THzのミリ波帯またはテラヘルツ帯の周波数域に生じるものである請求項1～5のうちいずれかに記載の誘電体多層周期構造体。
- [7] 前記誘電体多層周期構造体は、屈折率の異なる複数の誘電体セラミックスのグリーンシートを周期構造をなすように所定の順序で積層した積層体を同時焼成したものである請求項1～6のうちいずれかに記載の誘電体多層周期構造体。

[図1]

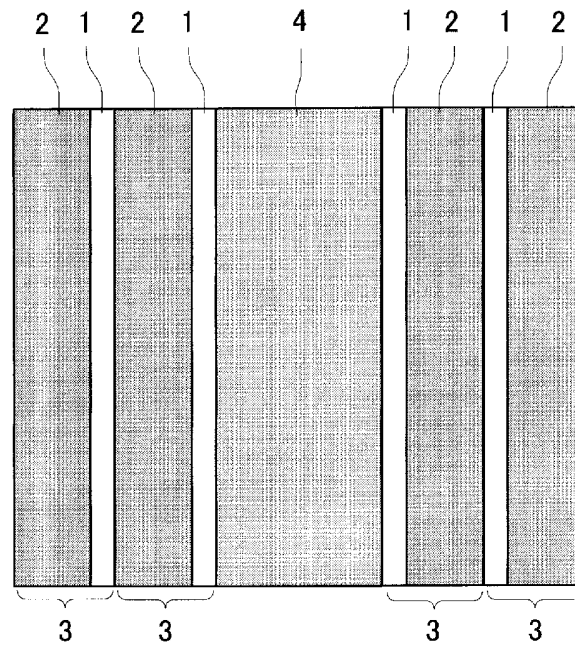


[図2]

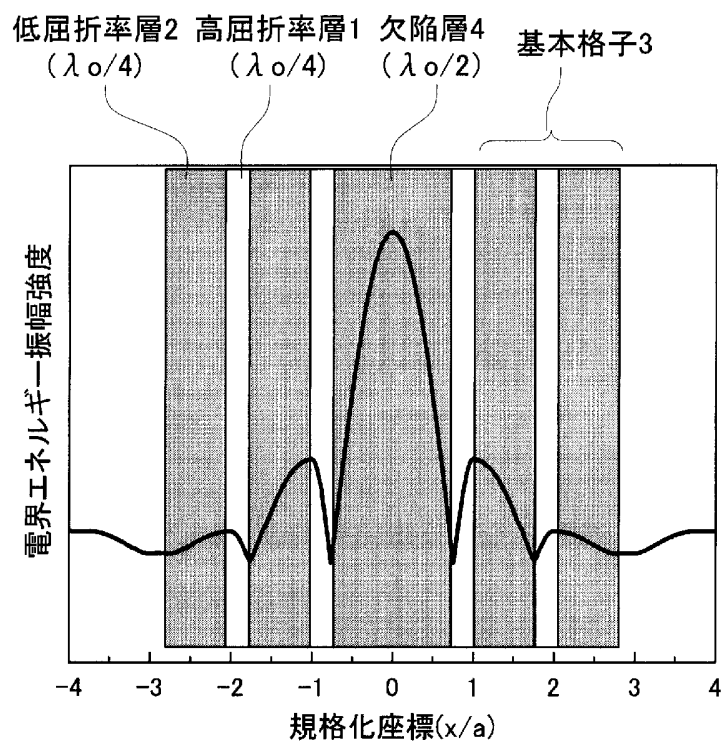


[図3]

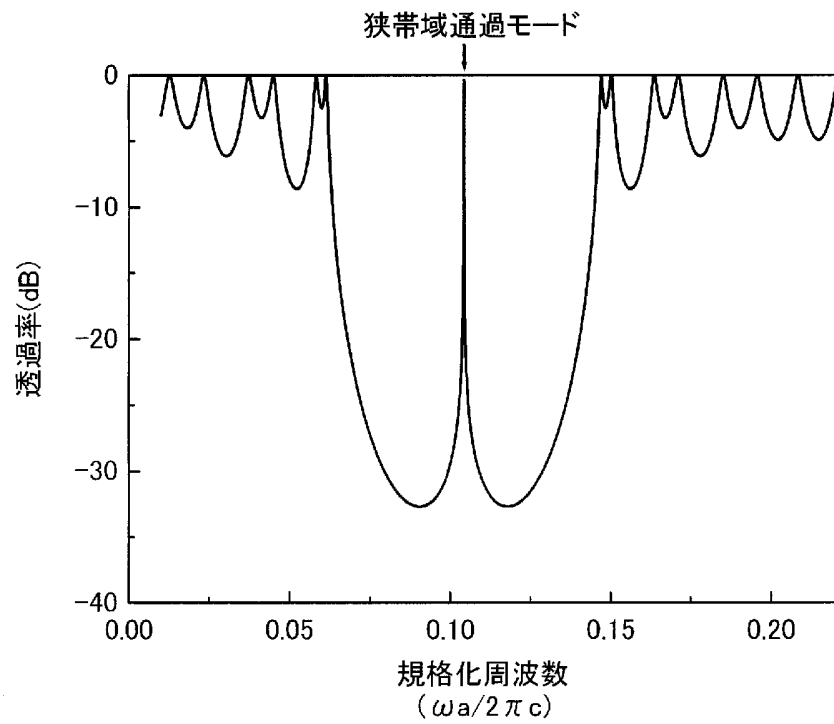
(A)



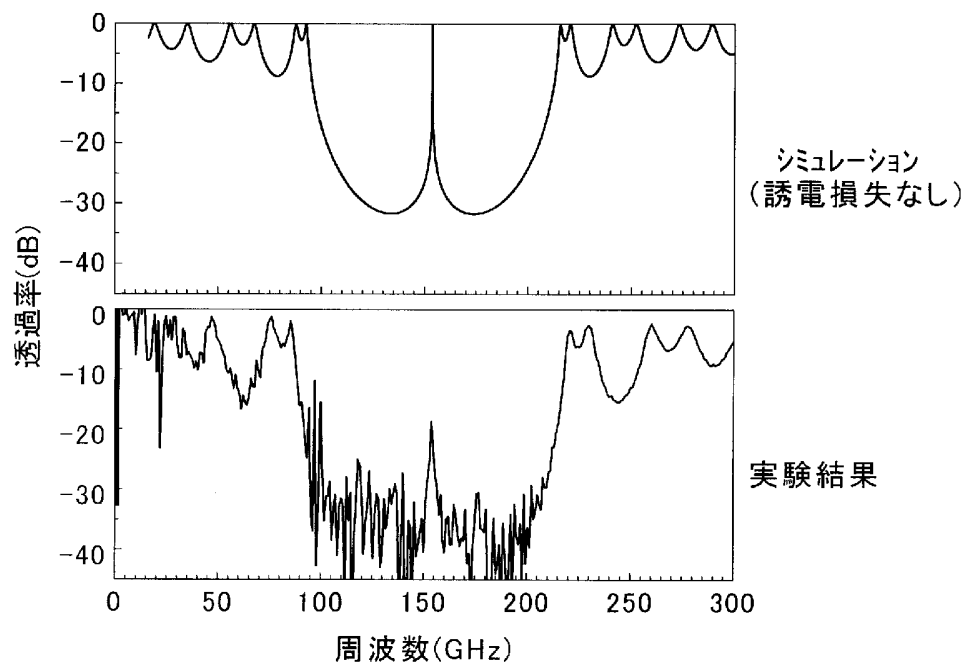
(B)



[図4]

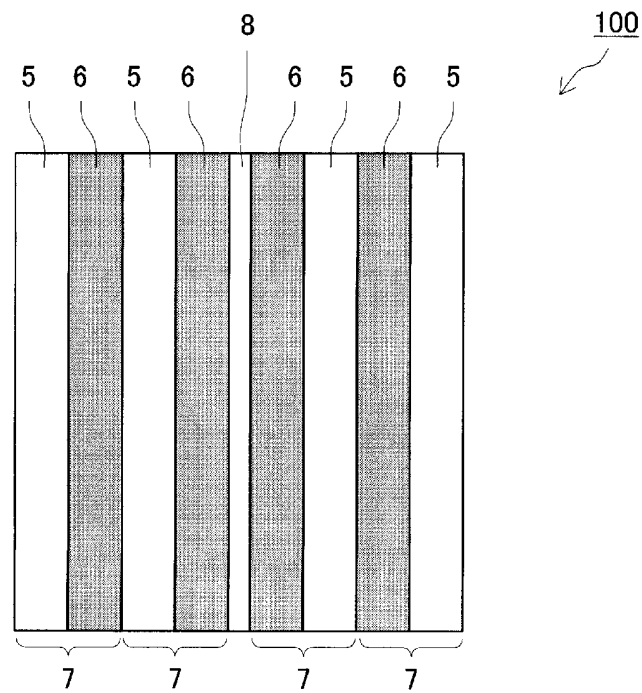


[図5]

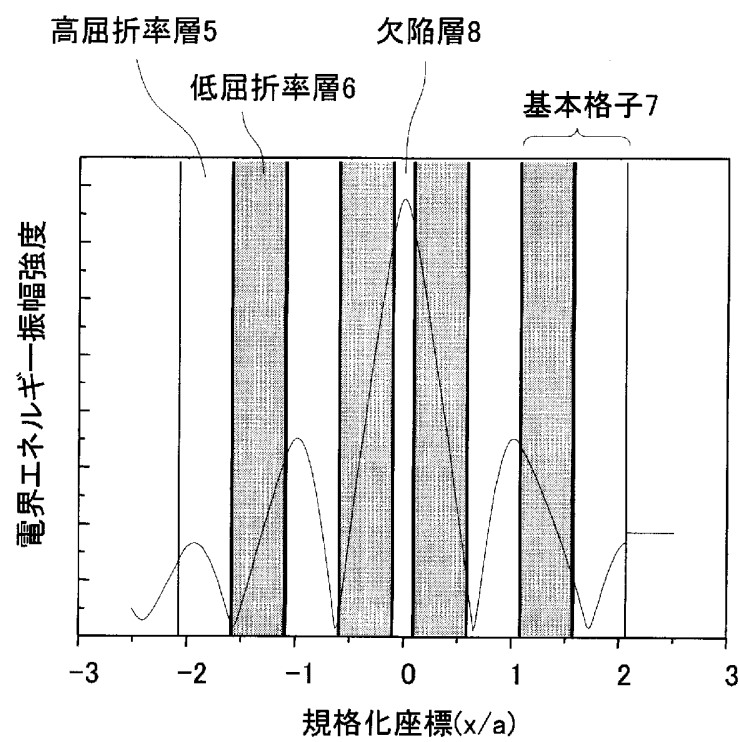


[図6]

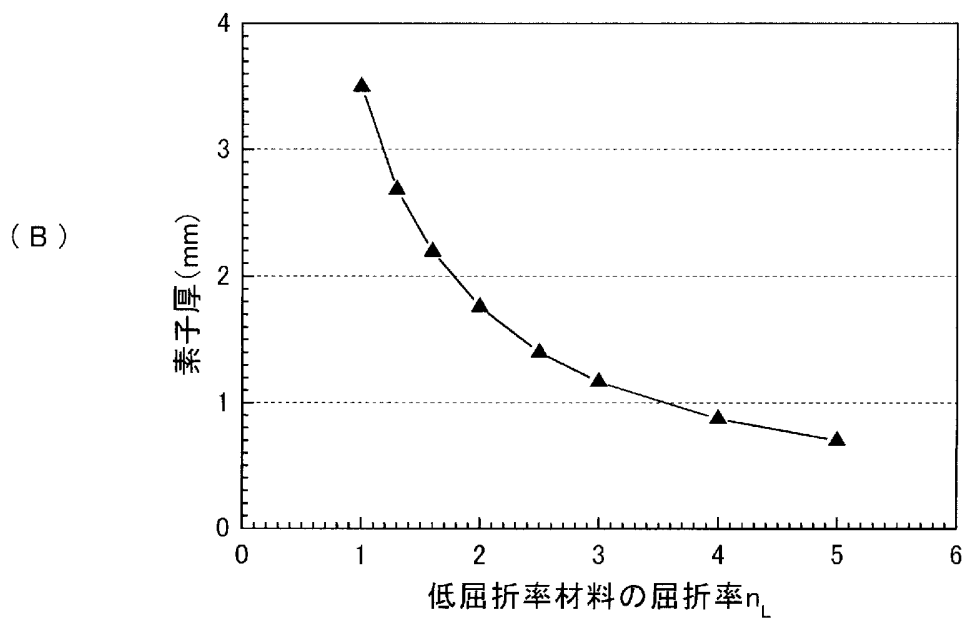
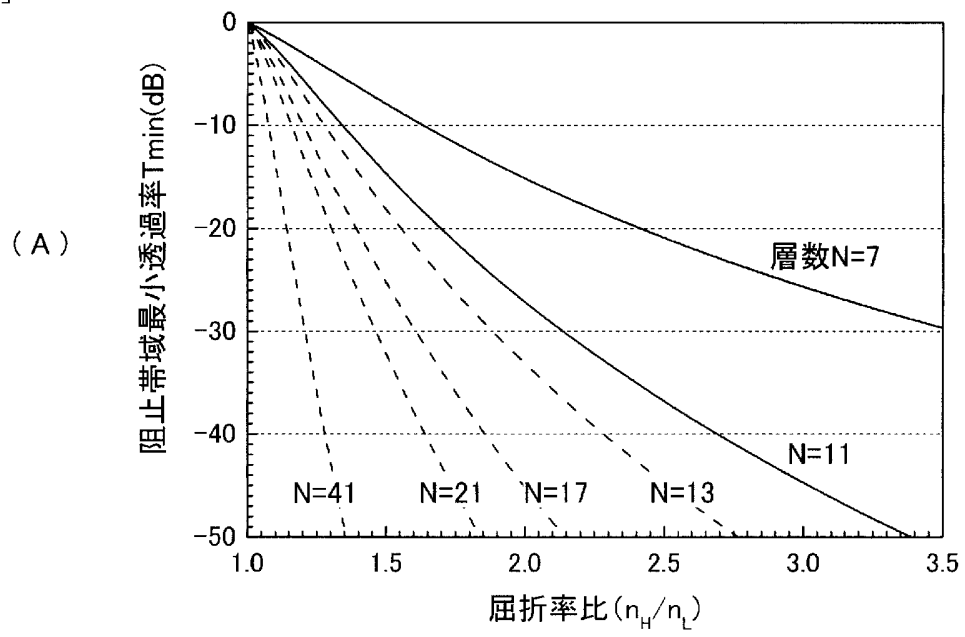
(A)



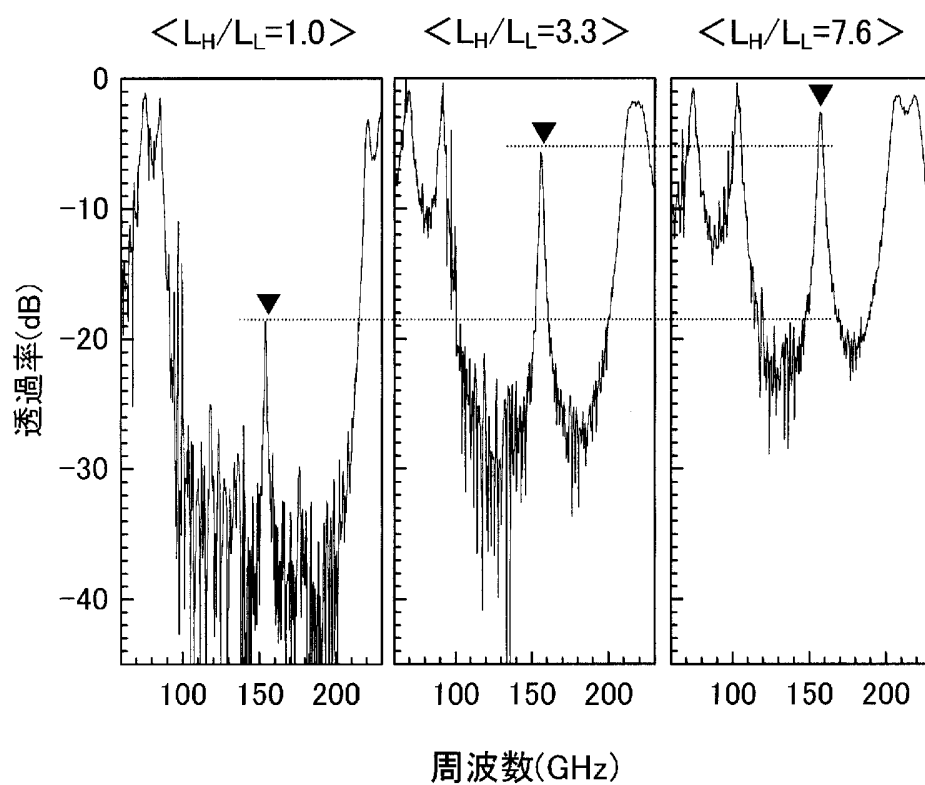
(B)



[図7]



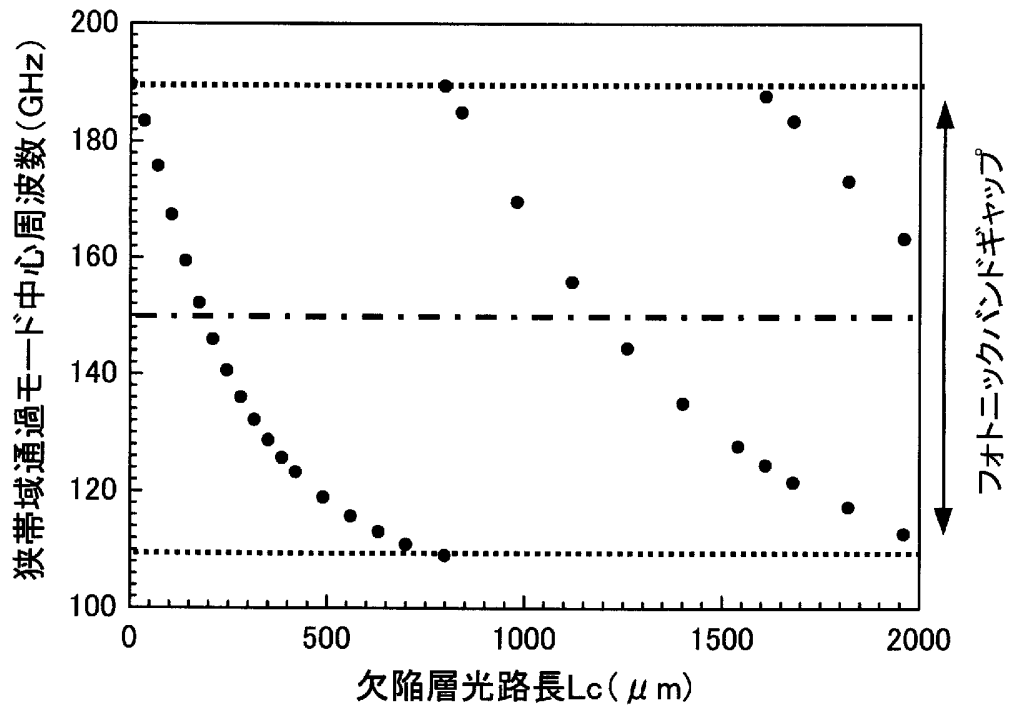
[図8]



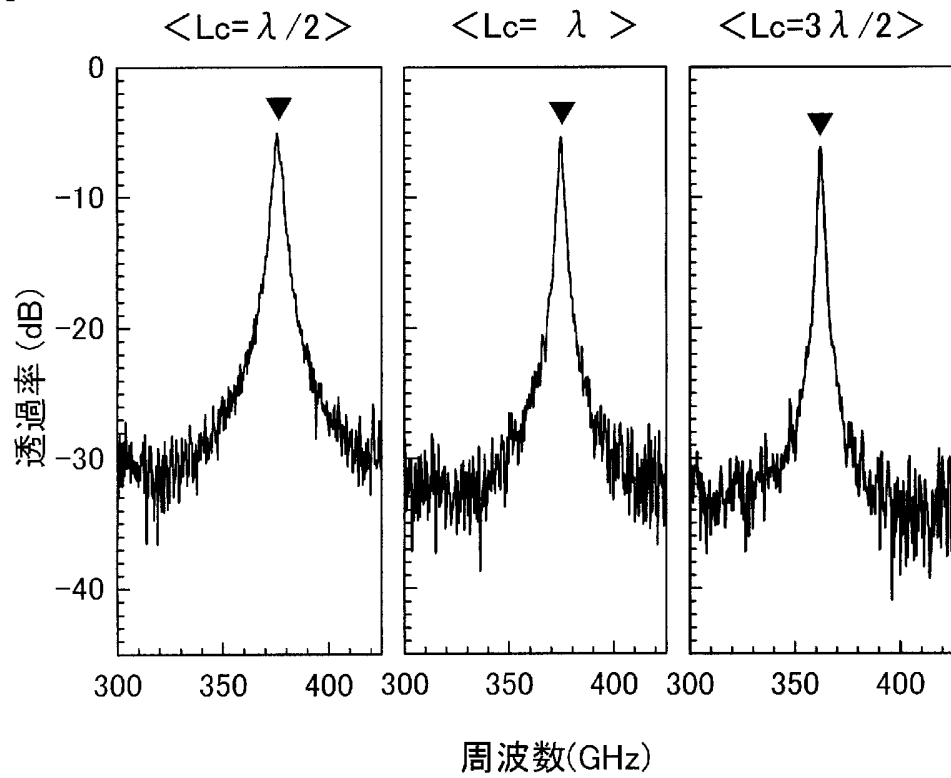
[図9]

L_H/L_L	光路長 (μm)				$\lambda_o/2$ (μm)	素子厚 (μm)
	高屈折率 層 L_H	低屈折率 層 L_L	基本格子 L_H+L_L	欠陥層 L_C		
1.0	501	471	972	979	980	844
3.3	710	215	925	188	959	538
7.6	793	104	897	324	953	455

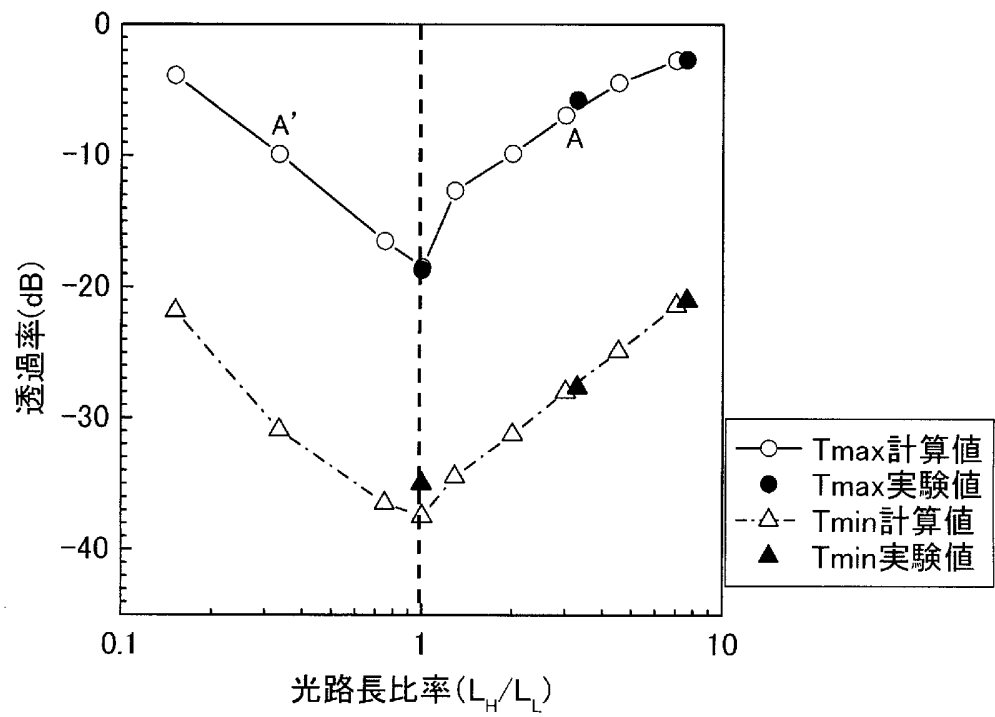
[図10]



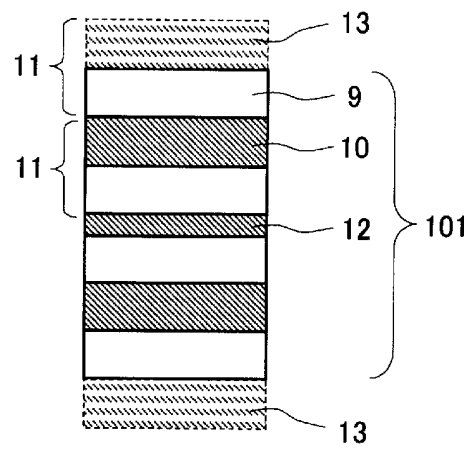
[図11]



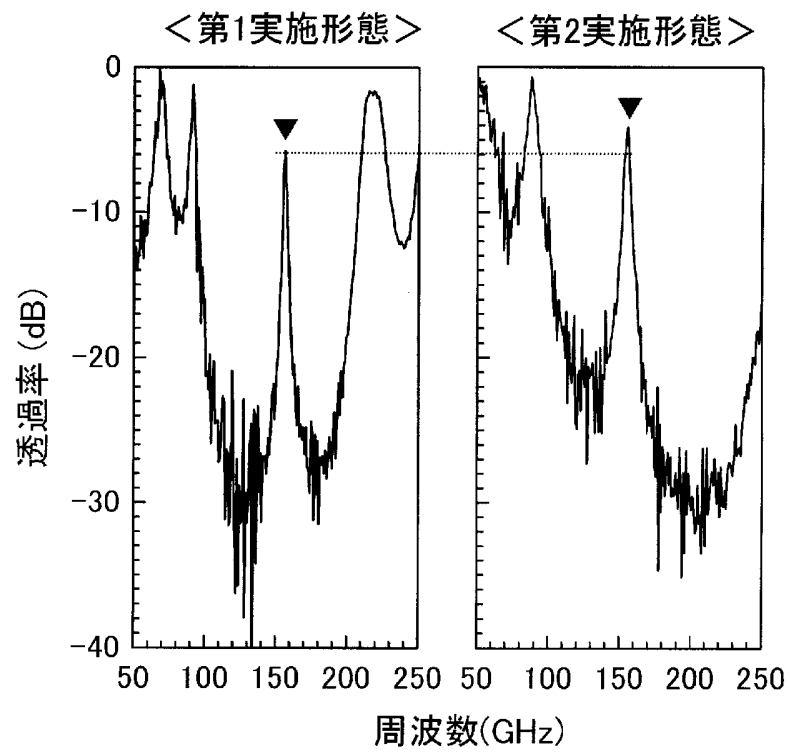
[図12]



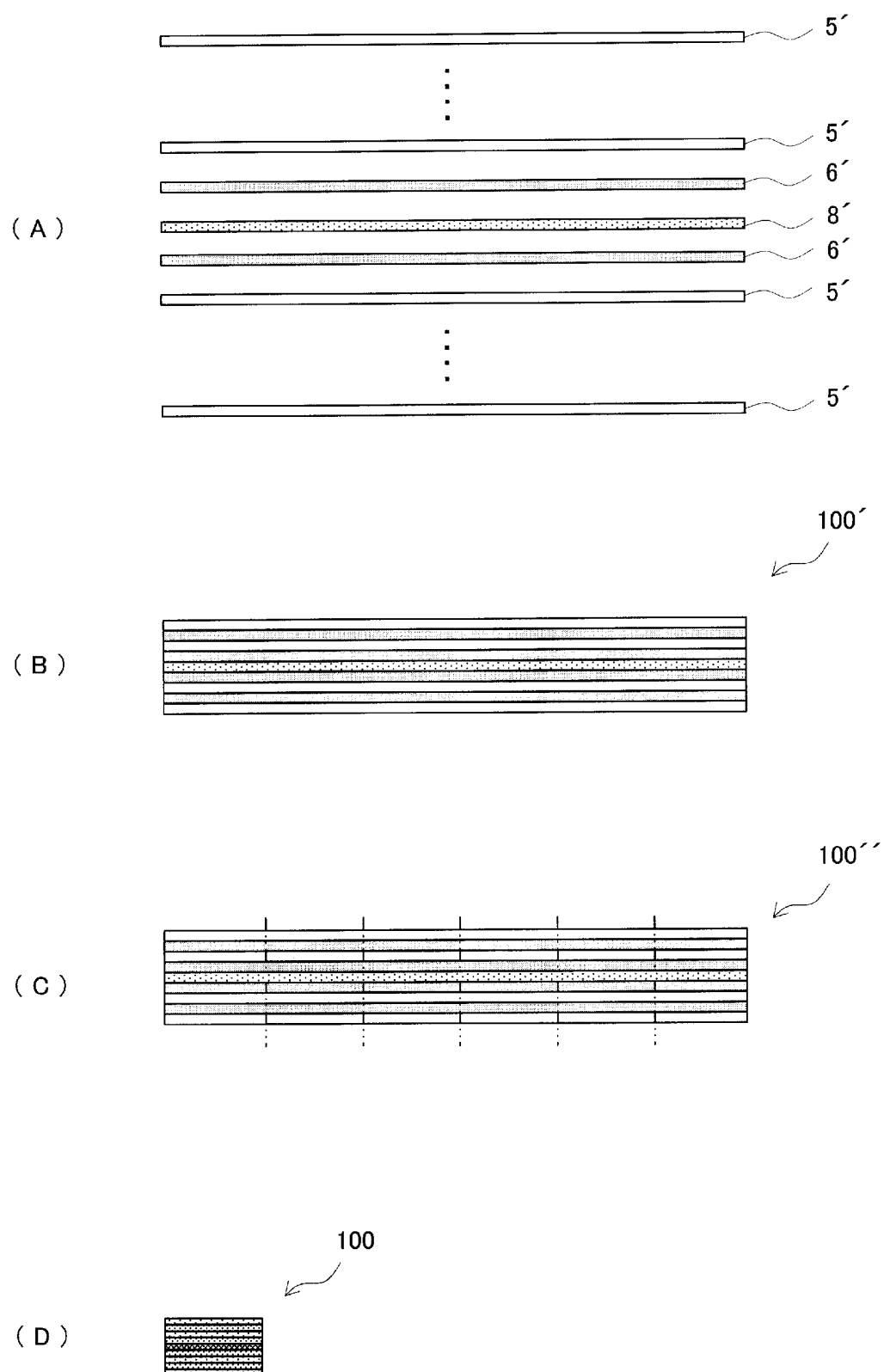
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/302875

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01P1/20 (2006.01)

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)

H01P1/20 (2006.01), **H01P7/00** (2006.01), **G02B1/00** (2006.01), **G02B5/26** (2006.01)

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	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004-059784 A1 (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 15 July, 2004 (15.07.04), Figs. 2, 17 (Family: none)	1-7
A	JP 2001-091911 A (Sony Corp.), 06 April, 2001 (06.04.01), Par. No. [0010] & US 6950584 B	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
03 April, 2006 (03.04.06)

Date of mailing of the international search report
11 April, 2006 (11.04.06)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/302875

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-502978 A (Technische Universitaet Braunschweig Carolo-Wilhelmina), 29 January, 2004 (29.01.04), Figs. 1 to 2; Par. No. [0020] & US 2004/0075923 A1 & EP 1299886 A & WO 2002/005291 A2 & DE 10033259 A & AU 7631001 A	1-7
A	JP 2001-350040 A (Tokin Corp.), 21 December, 2001 (21.12.01), Figs. 1 to 2 (Family: none)	1-7
A	JP 5-341243 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 24 December, 1993 (24.12.93), Fig. 1 (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01P1/20 (2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01P1/20 (2006.01), H01P7/00 (2006.01), G02B1/00 (2006.01), G02B5/26 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	WO 2004-059784 A1 (松下電器産業株式会社) 2004.07.15, 図2, 17 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2001-091911 A (ソニー株式会社) 2001.04.06, 段落0010 & US 6950584 B	1-7

☒ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日
03.04.2006国際調査報告の発送日
11.04.2006

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
西脇 博志
電話番号 03-3581-1101 内線 3568

5 T 3566

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 請求の範囲の番号
A	JP 2004-502978 A (テヒニシェ・ユニベルジテート・ブラウンシュ バイク・カロロービルヘルミナ) 2004.01.29, 図1-2、段落00 20 & US 2004/0075923 A1 & EP 1299886 A & WO 2002/005291 A2 & DE 10033259 A & AU 7631001 A	1-7
A	JP 2001-350040 A (株式会社トーキン) 2001.12.21, 図1-2 (フ ァミリーなし)	1-7
A	JP 5-341243 A (沖電気工業株式会社) 1993.12.24, 図1 (ファミ リーなし)	1-7