

(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
2016 年 1 月 7 日(07.01.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/002639 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 5/28 (2006.01) G02B 5/26 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/068426
- (22) 国際出願日: 2015 年 6 月 25 日(25.06.2015)
- (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 2014-134852 2014 年 6 月 30 日(30.06.2014) JP
- (71) 出願人: 旭硝子株式会社 (ASAHI GLASS COMPANY, LIMITED) [JP/JP]; 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 村川 真弘(MURAKAWA Masahiro); 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号 旭硝子株式会社内 Tokyo (JP). 森 雅宏(MORI Masahiro); 〒4120006 静岡県御殿場市中畑 1 4 1 3 日本真空光学株式会社御殿場工場内 Shizuoka (JP). 佐藤 景之(SATOU Kageyuki); 〒4120006 静岡県御殿場市中畑 1 4 1 3 日本真空光学株式会社御殿場工場内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所, 外 (EIKOH PATENT FIRM, P.C. et al.); 〒1050003 東京

都港区西新橋一丁目 7 番 1 3 号 虎ノ門イーストビルディング 10 階 Tokyo (JP).

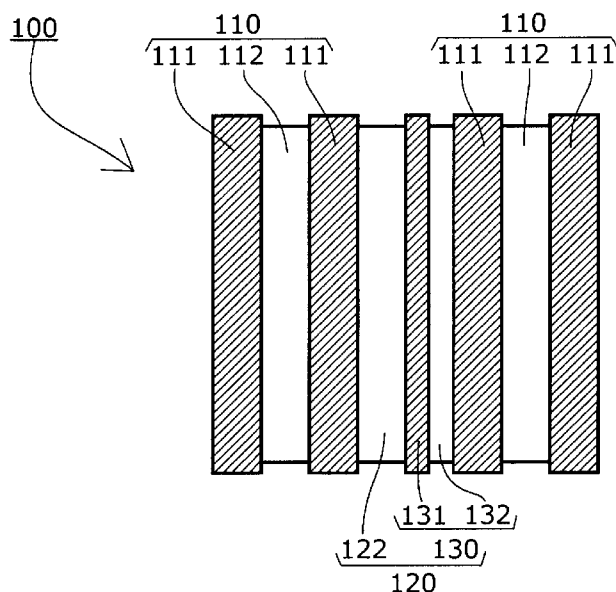
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: BAND-PASS FILTER

(54) 発明の名称: 帯域透過フィルタ



(57) Abstract: An addition layer (130) which is configured to reflect at a predetermined wavelength (λ) and is composed of two continuous layers of a high refractive index film (131) having an optical film thickness of $\lambda/4.5$ or less and a low refractive index film (132) having an optical film thickness of $\lambda/4.5$ or less is inserted into at least one boundary among boundaries between a plurality of films of a band-pass filter (100) having a reflection band including the predetermined wavelength (λ), and having a pass band in part of the reflection band.

(57) 要約: 所定の波長 λ を含む反射帯域を有し、反射帯域内の一部に透過帯域を有する帯域透過フィルタ (100) の複数の膜の境界のうち少なくとも 1 つの境界に、所定の波長 λ で反射するように構成され、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜 (131) と光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜 (132) の連続した 2 層からなる追加層 (130) が挿入されている。

WO 2016/002639 A1

明 細 書

発明の名称：帯域透過フィルタ

技術分野

[0001] 本発明は、複数の膜からなり、所定の波長 λ を中心とした反射帯域を有し、反射帯域内の一部に透過帯域を有する帯域透過フィルタに関する。

背景技術

[0002] 一般的に、撮像デバイスや通信デバイス等において、その使用用途や機能に応じて、所定の波長帯域を選択的に遮断、透過するために帯域透過フィルタを使用することが慣用されている。

そして、帯域透過フィルタとして、屈折率を異ならせた複数の膜からなる反射層により所定の波長を中心とした透過阻止帯域を反射させるようにし、反射層の間にスペーサ層を設けて透過と反射とを干渉させて、透過阻止帯域の中に所定の波長を中心とした透過帯域を得るようにした帯域透過フィルタが公知である（例えば、特許文献1参照。）。

公知の帯域透過フィルタは、異なる屈折率の膜を交互に配置した光学的膜厚が $\lambda/4$ となる複数の膜からなる反射層を有しており、該反射層が所定の波長 λ を含む広い領域で反射し、複数の反射層の間に光学的膜厚 $\lambda/2$ のスペーサ層を設けることで、透過と反射とを干渉させて所定の波長 λ を中心とした透過帯域を選択的に透過するように構成されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2003-177237号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、赤外線等の長い波長用の反射層は個々の膜を厚く形成する必要があり、特に光学的膜厚 $\lambda/2$ のスペーサ層が厚くなってしまうため、各膜および全体の厚さに起因して各膜の中での応力バランスや、隣接する膜

との応力バランスが乱れやすくなり、膜剥離や膜自体の損傷が生じるおそれがあった。

これは、多層化するほど顕著となっていた。

また、スペーサ層の膜厚を変えることにより、帯域透過フィルタの透過阻止帯域の中心にある透過帯域を中心以外の位置に設定することが可能であり、その際、スペーサ層の光学的膜厚を変化させることとなるが、透過帯域の透過率が劣化してしまうという問題があった。

[0005] そこで、本発明は前述した課題を解決するものであり、膜を薄くすることで、膜剥離や膜自体の損傷を防止するとともに、透過阻止帯域（反射帯域）内における一部の透過帯域を、透過阻止帯域（反射帯域）の任意の位置に設定しても透過帯域の透過率の低下を抑制できる帯域透過フィルタ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

[0006] 本発明に係る帯域透過フィルタは、複数の膜からなり、所定の波長 λ を中心とした反射帯域を有し、前記反射帯域内の一部に透過帯域を有する帯域透過フィルタであって、前記複数の膜の境界のうち少なくとも1つの境界には、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜と光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層からなる追加層が挿入されていることにより、前記課題を解決するものである。

発明の効果

[0007] 本発明に係る帯域透過フィルタによれば、少なくとも1つの境界には、反射帯域の中心に相当する所定の波長 λ に対して光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜と光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層からなる追加層が挿入されていることにより、帯域透過フィルタ全体で厚い膜に代えて追加層を挿入することで、全体の厚さを薄くできる。

また、透過帯域を反射帯域内における中心以外の位置に設定する場合、スペーサ層として挿入された追加層を厚くすることで、従来よりも厚い膜を減らすことができるとともに、全体の厚さの増加を抑制できる。

このことで、膜剥離や膜自体の損傷を抑制できる。

さらに、透過帯域を反射帯域内における中心以外の位置に設定する場合の特性として、スペーサ層として挿入された追加層の膜厚を変更することで、透過帯域の透過率の低下を抑制できる。

[0008] 本発明の帯域透過フィルタの一態様として、例えば追加層が、境界のうち任意の複数の境界に挿入されたことにより、さらに、全体の厚さを薄くすることが可能となる。

また、複数の境界に挿入された追加層をそれぞれ個別に特性を変更することも可能となり、より多様で特性の良い帯域透過フィルタとすることが可能となる。

本発明の帯域透過フィルタの一態様として、例えば追加層が、任意の境界に2組以上連続して挿入されたことにより、2組以上連続して挿入された追加層をそれぞれ個別に特性を変更することも可能となり、より多様で特性の良い帯域透過フィルタとすることが可能となる。

[0009] 本発明の帯域透過フィルタの一態様として、例えば追加層が、2つの金属膜に挟まれた境界に挿入されたことにより、連続した2層が金属膜と物性の大きく異なる材質であっても、連続した2層の厚さが薄いため剥離を抑制できる。

また、透過帯域を中心以外の位置に設定する場合の特性として、スペーサ層として挿入された追加層の膜厚を変更することで、透過帯域の透過率の劣化を抑制できる。

本発明の帯域透過フィルタの一態様として、例えば追加層が、複数の2つの金属膜に挟まれた境界に、それぞれ1組以上挿入されたことにより、さらに、追加層をそれぞれ個別に特性を変更することも可能となり、より特性の良い帯域透過フィルタとすることが可能となる。

本発明の帯域透過フィルタの一態様として、例えば波長 λ より短波側および長波側の副透過帯域のいずれか又は両方を、特定の帯域で透過する特性を付与したことにより、1つの帯域透過フィルタで、複数の帯域透過フィルタ

を重ねて使用した場合と同等の特性を得ることが可能となる。

本発明の帯域透過フィルタの一態様として、例えば副透過帯域は可視光帯域であり、可視光帯域の長波長側にある第1の波長帯域において、短波長側から、透過阻止特性を示す第1の透過阻止帯域、透過帯域および透過阻止特性を示す第2の透過阻止帯域を有する。可視光帯域とその短波側および長波側の副透過帯域のいずれか又は両方を透過する特性の光学フィルタを、複数の帯域透過フィルタを重ねることなく得ることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1] 図1は本発明の第1実施形態に係る帯域透過フィルタの説明図。

[図2] 図2は従来の帯域透過フィルタの説明図。

[図3] 図3は本発明の第1実施形態に係る帯域透過フィルタと従来の帯域透過フィルタの透過説明図。

[図4] 図4は本発明の第2実施形態に係る帯域透過フィルタの説明図。

[図5] 図5は本発明の第3実施形態に係る帯域透過フィルタの説明図。

[図6] 図6は本発明の第4実施形態に係る帯域透過フィルタの説明図。

[図7] 図7は本発明の第5実施形態に係る帯域透過フィルタの説明図。

[図8] 図8は本発明の第6実施形態に係る帯域透過フィルタの説明図。

[図9] 図9は本発明の第2実施形態に係る帯域透過フィルタの特性グラフ。

[図10] 図10は本発明の第4実施形態に係る帯域透過フィルタの特性グラフ。
。

[図11] 図11は本発明の第5実施形態に係る帯域透過フィルタの特性グラフ。
。

[図12] 図12は本発明の第7実施形態に係る帯域透過フィルタの特性グラフ。
。

[図13] 図13は本発明の第7実施形態に係る他の帯域透過フィルタの特性グラフ。

[図14] 図14は本発明の第7実施形態に係るさらに他の帯域透過フィルタの特性グラフ。

[図15]図 1 5 は他の実施形態に係る帯域透過フィルタの特性グラフ。

発明を実施するための形態

[0011] 本発明の帯域透過フィルタは、複数の膜からなり、所定の波長 λ を中心とした反射帯域を有し、反射帯域内の一部に透過帯域を有する帯域透過フィルタであって、複数の膜の境界のうち少なくとも1つの境界には、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜と光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層からなる追加層が挿入され、長い波長用でも厚さを薄くでき、膜剥離や膜自体の損傷を抑制するとともに、透過帯域を、反射帯域の中心以外の位置に設定しても透過帯域の透過率の低下を抑制できるものであれば、その具体的な実施態様はいかなるものであってもよい。

帯域透過フィルタが複数のスペーサ層を有する場合、任意のスペーサ層に代えて追加層を設けてもよく、全てのスペーサ層に代えて追加層を設けてもよい。

また、追加層の高屈折率膜と低屈折率膜の順序は、挿入される境界の両側の膜の屈折率の関係に応じて適宜入れ替えればよい。

[0012] 所定の波長 λ は、上述のとおり反射帯域を想定したときにおいて、該反射帯域の中心波長に相当する。

そして、帯域透過フィルタの設計において、波長 λ は特定の値の波長として決定し、該波長 λ に基づき、具体的に各膜の光学的膜厚を設計する。

また、追加層の光学的膜厚は、 $\lambda/4.5$ 以下としているが、反射帯域内における一部の透過帯域の透過率、および/または、透過帯域の帯域幅を確保する理由で、 $\lambda/3.0 \sim \lambda/5$ の範囲がより好ましい。

また、追加層としては、 $\lambda/8$ として設計してもよい。

なお、追加層の光学的膜厚は、 $\lambda/4.5$ に近い値であると、反射帯域内の透過帯域は反射帯域内の中心波長よりも長波長側に位置し、 $\lambda/8$ よりも小さい値であると、反射帯域内の透過帯域は反射帯域内の中心波長よりも短波長側に位置する。

この特性を利用して、反射帯域内における一部の透過帯域の位置を自由に

設計できるとともに、透過帯域の高透過率特性、特定の帯域幅の維持を確保できる。

[0013] また、本発明の帯域透過フィルタは、基板上の一方の面に上記した反射層、追加層を含むスペーサ層を有してもよい。

ここで「基板上」とは、基板の一方の主面に上記した反射層および追加層を含むスペーサ層を有する多層膜が隣接してなる態様に限らず、基板の一方の主面と、上記した反射層および追加層を含むスペーサ層を有する多層膜と、の間に別の光学的な機能層を有する場合も含まれる。即ち、上記した反射層および追加層を有する多層膜が一群になっていれば、基板と該多層膜との配置は制限がない。

[0014] 本発明の帯域透過フィルタとして基板を含む場合、基板は透明な基板であってもよく、その場合、例えば、ガラス、石英ガラス、色ガラス、水晶、透明樹脂などが使用できる。また、基板として、基板そのものに特定の波長の光を吸収する特性をもたらしもの、例えば、透明樹脂に所定の波長の光を吸収する色素を添加したものであってもよい。

[0015] また、上記の、高屈折率膜の材料および低屈折率膜の材料としては、上記の波長 λ に対して、それぞれ、高い屈折率を示す材料、低い屈折率を示す材料であれば、任意に材料を選択できる。

なお、波長 λ に対する高屈折率膜の材料の屈折率を n_H 、波長 λ に対する低屈折率膜の材料の屈折率を n_L 、としたとき、屈折率差 Δn ($= |n_H - n_L|$) は、光学的膜厚が厚くならないという理由から、0.2以上が好ましく、0.5以上がより好ましい。

また、高屈折率膜の材料としては、例えば、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 、 HfO_2 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 ZnS 、 Ge 、 Si から選ばれる材料が好ましく、低屈折率膜の材料としては、例えば、 SiO_2 、 MgF_2 、チオライト、 ZnS から選ばれる材料が好ましい。この中でも、屈折率差を大きくできるという理由から、高屈折率膜の材料として TiO_2 、低屈折率膜の材料として SiO_2 の組み合わせが好ましい。

実施例 1

[0016] 本発明の第1実施形態に係る帯域透過フィルタ100は、図1に示すように、2つの反射層110の間に、スペーサ層120が挿入されている。

2つの反射層110は、それぞれ、2つの光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜111の間に、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜112を挟んで形成されている。

スペーサ層120は、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜122と追加層130とで形成され、追加層130は、光学的膜厚が $\lambda/4$ 、5以下の膜として、光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜131と光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜132とが連続するように形成されている。

光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜をH、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜をL、光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜をh、光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜をlと表すと、

$$HLHL + hL + HLH$$

の構造となる。

[0017] 図2は、従来例の構成に示した帯域透過フィルタ500の構成図である。

第1実施形態に係る帯域透過フィルタ100と同等に構成した従来の帯域透過フィルタ500は、図2に示すように、2つの反射層510の間に、スペーサ層520が挿入され、2つの反射層510は、2つの光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜511の間に、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜512を挟んで形成されている。

スペーサ層520は、光学的膜厚 $\lambda/2$ の低屈折率膜522のみで形成されている。

光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜をH、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜をL、光学的膜厚 $\lambda/2$ の低屈折率膜を2Lと表すと、

$$HLH + 2L + HLH$$

の構造となる。

[0018] 従来の帯域透過フィルタ500では、図3の下段に示すように、波長 λ の

波が入射すると、後方の反射層 510 とスペーサ層 520 の境界で反射された波は、スペーサ層 520 と前方の反射層 510 の境界による反射波（b 波）となって、再び後方の反射層 510 とスペーサ層 520 の境界に向かう。

この時、b 波は、経路長が波長 λ 分増え、また、低屈折率膜から高屈折率膜に向かって反射する時の位相の反転が 2 回生じるため、直進する波（a 波）と同位相となる。

この a 波、b 波の干渉によって、波長 λ の波が透過する。

[0019] これに対し、第 1 実施形態に係る帯域透過フィルタ 100 に波長 λ の波が入射すると、図 3 の上段に示すように、後方の反射層 110 とスペーサ層 120 の境界で反射された波は、スペーサ層 120 と前方の反射層 110 の境界による反射波（b 波）、低屈折率膜 122 と追加層 130 の境界による反射波（c 波）、追加層 130 内の低屈折率膜 132 と高屈折率膜 131 の境界による反射波（d 波）となって、それぞれ、再び後方の反射層 110 とスペーサ層 120 の境界に向かう。

この時、b 波は、経路長が波長 λ 分増え、また、低屈折率膜から高屈折率膜に向かって反射する時の位相の反転が 2 回生じるため、直進する波（a 波）と同位相となる。

また、c 波は、経路長が波長 $\lambda/2$ 分増え、また、低屈折率膜から高屈折率膜に向かって反射する時の位相の反転が 1 回生じるため、同様に、直進する波（a 波）と同位相となる。

これらの a 波、b 波、c 波の干渉によって、波長 λ の波が透過する。

なお、d 波は、経路長が波長 $\lambda/4$ 分増え、また、低屈折率膜から高屈折率膜に向かって反射する時の位相の反転が 2 回生じるため、a 波、b 波、c 波とは位相が $\lambda/4$ ずれるが、干渉透過には影響を及ぼさないことが実験で確認されている。

[0020] また、従来の帯域透過フィルタ 500 では、スペーサ層 520 の光学的膜厚を調整することで、透過帯域をシフトすることが行われるが、その際には透過率が低下してしまう。

これに対し、本発明に係る帯域透過フィルタ100では、追加層130の低屈折率膜132と高屈折率膜131の光学的膜厚を調整することで透過帯域をシフトすることが可能であり、また、シフトした際の透過率の低下も少ない。

このための追加層130の低屈折率膜132と高屈折率膜131の光学的膜厚は、 $\lambda/4$ 、5の厚さまで調整可能である。

実施例 2

[0021] 本発明の第2実施形態に係る帯域透過フィルタ100aは、図4に示すように、2つの反射層110の間に、スペーサ層120aが挿入されている。

2つの反射層110は、それぞれ、2つの光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜111の間に、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜112を挟んで形成されている。

スペーサ層120aは、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜122と2つの追加層130とで形成され、追加層130は光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜131と光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜132とが連続するように形成されている。

光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜をH、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜をL、光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜をh、光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜をlと表すと、

$$HLHL + h l h l + HLH$$

の構造となる。

[0022] 第2の実施形態に係る帯域透過フィルタ100aでは、例として、波長 λ を550nmとし、高屈折率膜として、波長 λ における屈折率が2.3となる TiO_2 を用い、低屈折率膜として、波長 λ における屈折率が1.46となる SiO_2 を用いる。そして、高屈折率膜および低屈折率膜それぞれにおいて、図4（即ち、 $HLHL + h l h l + HLH$ ）に示すように光学的膜厚を設定すると、図9に示す分光特性が得られる。本実施形態に係る帯域透過フィルタ100aの場合、反射帯域の中心波長 λ （=550nm）は、透過帯域

内に位置する。

実施例 3

[0023] 本発明の第3実施形態に係る帯域透過フィルタ100bは、図5に示すように、2つの反射層110の間に、スペーサ層120bが挿入されている。

2つの反射層110は、それぞれ、2つの光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜111の間に、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜112を挟んで形成されている。

スペーサ層120bは、2つの追加層130の間に光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜122を挟んで形成され、追加層130は光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜131と光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜132とが連続するように形成されている。

光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜をH、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜をL、光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜をh、光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜をlと表すと、

$$HLH + l h + L + h l + HLH$$

の構造となる。

実施例 4

[0024] 本発明の第4実施形態に係る帯域透過フィルタ100cは、図6に示すように、2つの反射層110の間に、スペーサ層120cが挿入されている。

2つの反射層110は、それぞれ、2つの光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜111の間に、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜112を挟んで形成されている。

スペーサ層120cは、2つの追加層130の間に光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜122を挟み、さらに追加層130を連続させて形成され、追加層130は光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜131と光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜132とが連続するように形成されている。

光学的膜厚 $\lambda/4$ の高屈折率膜をH、光学的膜厚 $\lambda/4$ の低屈折率膜をL、光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜をh、光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜をl

と表すと、

$$H L H + l h + L + h l h l + H L H$$

の構造となる。

- [0025] 第4の実施形態に係る帯域透過フィルタ100cでは、例として、波長 λ を550nmとし、高屈折率膜として、波長 λ における屈折率が2.3となる TiO_2 を用い、低屈折率膜として、波長 λ における屈折率が1.46となる SiO_2 を用いる。そして、高屈折率膜および低屈折率膜それぞれにおいて、図6（即ち、 $H L H + l h + L + h l h l + H L H$ ）に示すように光学的膜厚を設定すると、図10に示す分光特性が得られる。

実施例 5

- [0026] 本発明の第5実施形態に係る帯域透過フィルタ100dは、図7に示すように、2つの単一の金属膜からなる反射層110dの間に、スペーサ層120dが挿入されている。

また、本実施形態に係る帯域透過フィルタ100dでは、例として、波長 λ を550nmとして、波長 λ における屈折率が2.3となる TiO_2 を用い、低屈折率膜として、波長 λ における屈折率が1.46となる SiO_2 を用いる。

スペーサ層120dは、追加層130で形成され、追加層130は光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜131と光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜132とが連続するように形成されている。なお、ここでいう金属膜は、少なくとも透過帯域において、一定の透過率を有する材料からなり、帯域透過フィルタ100dの構成において、透過帯域と透過阻止帯域との間で十分なコントラストが確認できる特性であればよい。また、金属膜に用いる材料は、種々選択できるが、例えば、AlやAgを、一定量の光が透過できる程度に薄膜化して用いるとよい。

金属膜をM、光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜をh、光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜をlと表すと、

$$M + h l + M$$

の構造となる。

実施例 6

[0027] 本発明の第6実施形態に係る帯域透過フィルタ100eは、図8に示すように、複数の単一の金属膜からなる反射層110eの間に、それぞれ、スペーサ層120eが挿入されている。

スペーサ層120eは、追加層130で形成され、追加層130は光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜131と光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜132とが連続するように形成されている。

金属膜をM、光学的膜厚 $\lambda/8$ の高屈折率膜をh、光学的膜厚 $\lambda/8$ の低屈折率膜をlと表すと、

・・・M+h l +M+h l +M・・・

の構造となる。

[0028] 前述した第2実施形態に係る帯域透過フィルタ100aは、図9に示すように、透過阻止帯域（反射帯域）を含む第1の波長帯域の中に、透過率の高い透過帯域（第2の波長帯域）を得ることができる。

ここで言う第1の波長帯域は、所定の波長 λ を中心とした反射帯域において、短波長側から長波長側へ分光特性をなぞったとき、透過率が30%以下の波長から長波長側の帯域を意味し、透過帯域（第2の波長帯域）は、透過率が60%以上の波長帯域を意味する。

上記のように「第1の波長帯域の中に透過帯域を得る」という意味は、図9の分光特性に基づく、約448nmにて透過率が約30%となるが、約448nm以上の帯域（即ち、図9でいう第1の波長帯域）において、特定の帯域幅を有する透過帯域（第2の波長帯域：約541nm～約558nm）を有する、という意味である。

[0029] 第4実施形態に係る帯域透過フィルタ100cは、図10に示すように、透過阻止帯域（反射帯域）を含む第1の波長帯域の中に、ある程度の幅を有し、立ち上がりが急峻で比較的高い透過率を有する透過帯域を得ることができる。

この場合、図10の分光特性に基づくと、約454nmにて透過率が約30%となるが、約454nm以上の長波長の帯域（即ち、図10でいう第1の波長帯域）において、特定の帯域幅を有する透過帯域（第2の波長帯域：約548nm～約583nm）を有する、という意味である。

帯域透過フィルタ100aに比べると、帯域透過フィルタ100cは、透過帯域の立ち上がり／立ち下がりが急峻であり、また透過率が高い点で、特定の波長帯域を透過させるための帯域透過フィルタとしては、より好ましい場合がある。

また、このような（第1の波長帯域に）透過帯域を有する場合、透過帯域の透過率としては、60%以上であればよく、70%以上であればより好ましく、80%以上であればさらに好ましい。さらに、透過帯域の短波長側にある第1の透過阻止帯域、透過帯域の長波長側にある第2の透過阻止帯域の透過率は、30%以下であればよく、20%以下であればより好ましく、10%以下であればさらに好ましい。

[0030] 第5実施形態に係る帯域透過フィルタ100dは、図11に示すように、広い透過阻止帯域（反射帯域）を含む第1の波長帯域の中に、ノイズ分の少ない透過帯域（第2の波長帯域）を得ることができる。

この場合、図11の分光特性に基づくと、図11に示す広範囲な特定の波長帯域（第1の波長帯域：380nm以上）において、特定の帯域幅を有する透過帯域（第2の波長帯域）を有する。なお、この場合、透過率は最大でも約45%であるが、例えば、透過率の最大値を100%と規格化したときにおいて、60%以上となる波長帯域を透過帯域（第2の波長帯域）としてもよい。

[0031] また、本発明の帯域透過フィルタによれば、透過阻止帯域（反射帯域）を含む第1の波長帯域より短波側の副透過帯域に特定の帯域で透過する特性を付与することで、全体として図12に示すような特性を得ることができる。

これは、透過帯域フィルタにおいて、透過帯域フィルタの透過帯域を含む反射帯域を有するショートパスフィルタとする、例えば、最外層に $\lambda/8$ の

光学的膜厚の膜を有する多層膜構造を付与することで得られる。

例えば、反射層および追加層を含む多層膜が一群となった帯域透過フィルタで、可視光領域と特定の赤外線領域の2つの領域を透過することが可能となる。

[0032] 第7実施形態に係る帯域透過フィルタは、上記のようなショートパスフィルタの多層膜構造を付与することで、波長 λ を約940nmとして設計した複数の帯域透過フィルタの例である。

本実施形態に係る帯域透過フィルタは、可視光領域で高透過率が得られるとともに、可視光領域より長波長側に反射帯域を有し、かつ、約850nmの波長を中心とした透過帯域が高透過率で得られるように設計する。

このような分光特性が得られるように、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜と、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層を含む制約のもと自動設計をすると、 $\lambda/16$ の高屈折率膜と $\lambda/22$ の低屈折率膜の2層からなる追加層と、 $\lambda/15$ の高屈折率膜と $\lambda/26$ の低屈折率膜の2層からなる追加層と、を有する多層膜の構造として与えられる。

[0033] 本実施形態に係る帯域透過フィルタは、透過領域（第2の波長帯域）の中心波長が約850nm付近に存在し、かつ、透過率が60%以上となる帯域幅が約100nmである。

また、図12において、透過率が10%以下となる約711nm以上の長波長帯域が第1の波長帯域を示す。

一方、図12において約390nmから約697nmまでの帯域、いわゆる副透過帯域において、透過率が60%以上となる。

このように、反射層および追加層を含む多層膜が一群となった帯域透過フィルタにおいて、副透過帯域となる可視光領域で高い透過率を示すとともに、第1の波長帯域のうち、特定の波長帯域での透過帯域（第2の波長帯域）を有する、複数の帯域透過フィルタ（デュアルバンドパスフィルタ）が実現できる。

[0034] 図12に示す分光特性に基づき、特に、第7実施形態に係る帯域透過フィ

ルタは、副透過帯域として可視光領域で選択的に高い透過率を示し、また、可視光領域と隣り合う第1の領域のうち、短波長側から第1の透過阻止帯域、透過帯域（第2の波長帯域）、第2の透過阻止帯域を有する。即ち、反射帯域（透過阻止帯域）は、第1の透過阻止帯域、透過帯域（第2の波長帯域）、第2の透過阻止帯域を含む。

ここで、透過帯域（第2の波長帯域）は、追加層の光学的膜厚を $\lambda/8$ よりも薄くしたことにより、約850nmの波長を中心に約100nmの帯域を有するので、下記に説明するように、例えば、監視カメラ用途などの光学系に好適に使用できる。

[0035] 監視カメラのように、例えば、昼間の時間帯に周辺が明るい対象を画像として捉える場合は、可視光領域の波長の光に対する感度を高めるために、可視光領域の透過率が高いことが好ましい。

一方、例えば、夜中の時間帯に周辺が暗い対象を画像として捉える場合は、赤外線領域の感度を高める、いわゆる赤外線カメラとしての機能を発揮する。

このとき、赤外線領域としては、780nm～950nmの帯域内に、上記のような透過帯域（第2の波長帯域）の中心を有するとともに、一定の帯域幅を有することが好ましい。

また、赤外線領域としては、800nm～900nmの帯域内に透過帯域（第2の波長帯域）の中心を有するとより好ましく、820nm～880nmの帯域内に透過帯域（第2の波長帯域）の中心を有するとさらに好ましい。

[0036] このように、第7実施形態に係る帯域透過フィルタを、例えば、監視カメラに適用する場合、副透過帯域となる可視光領域よりも長波長側にある第1の透過阻止帯域が、650nm～690nmの範囲にある波長から長波長側に存在するように設計すればよい。

例えば、撮像素子に700nm～750nmの光が入射する場合、黒色の画像が、赤みがかってしまうことで色再現性が悪くなる場合がある。

実用上、可視光領域を透過し、近赤外線領域の透過を阻止する光学フィルタは、その分光特性が急峻な変化とならず一定の勾配をもって透過から透過阻止へと変化するため、700 nmの光の撮像素子へ入射を抑制するため、第1の透過阻止帯域の下限（第1の波長帯域の下限）は650 nmとしている。

[0037] なお、分光特性として急峻な変化が得られる光学フィルタであれば、第1の透過阻止帯域の下限は、例えば、680 nmや690 nmとして設定できる。

図13に示す分光特性は、図12の分光特性に対して、第1の透過阻止帯域を650 nm付近まで短波長側にシフトさせた設計例であり、波長 λ を約900 nmとした複数の帯域透過フィルタの例である。

このような分光特性が得られるように、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜と、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層を含む制約のもと自動設計をすると、 $\lambda/9$ の高屈折率膜と $\lambda/12$ の低屈折率膜の2層からなる追加層と、 $\lambda/11$ の高屈折率膜と $\lambda/6$ の低屈折率膜の2層からなる追加層と、を有する多層膜の構造として与えられる。

[0038] また、撮像素子によっては、1100 nm以上の波長帯域から1200 nm近傍までも光感度を有するものがある。そのため、透過帯域（第2の波長帯域）よりも長波長側にある第2の透過阻止帯域は1100 nmまで与えられればよく、1200 nmまで与えられればより好ましい。

図14に示す分光特性は、図12の分光特性に対して、第2の透過阻止帯域を1200 nm付近まで長波長側にシフトさせた設計例であり、図12の設計例に1200 nmまで遮断するショートパスフィルタを付与したものである。

[0039] また、透過帯域の波長 λ より長波側の副透過帯域に特定の帯域で透過する特性を付与することで、全体として図15に示すような特性を得ることもできる。

このような分光特性が得られるように、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高

屈折率膜と、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層を含む制約のもと自動設計をすると、 $\lambda/10$ の高屈折率膜と $\lambda/7$ の低屈折率膜の2層からなる追加層と、 $\lambda/7$ の高屈折率膜と $\lambda/9$ の低屈折率膜の2層からなる追加層と、を有する多層膜の構造として与えられる。

なお、この場合の波長 λ は約840nmとして設計した複数の帯域透過フィルタの例である。

[0040] 本出願は、2014年6月30日出願の日本特許出願、特願2014-134852に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0041] 以上述べた実施形態は、本発明の最も単純化した例であり、複数の膜の境界のうち少なくとも1つの境界には、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜と光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層からなる追加層が挿入されているものであれば、反射層、スペーサ層の構成や膜の数等は、いかなるものであってもよい。

また、本発明の帯域透過フィルタは、撮像機器、測定機器、通信機器等をはじめ、様々な分野において応用可能である。

符号の説明

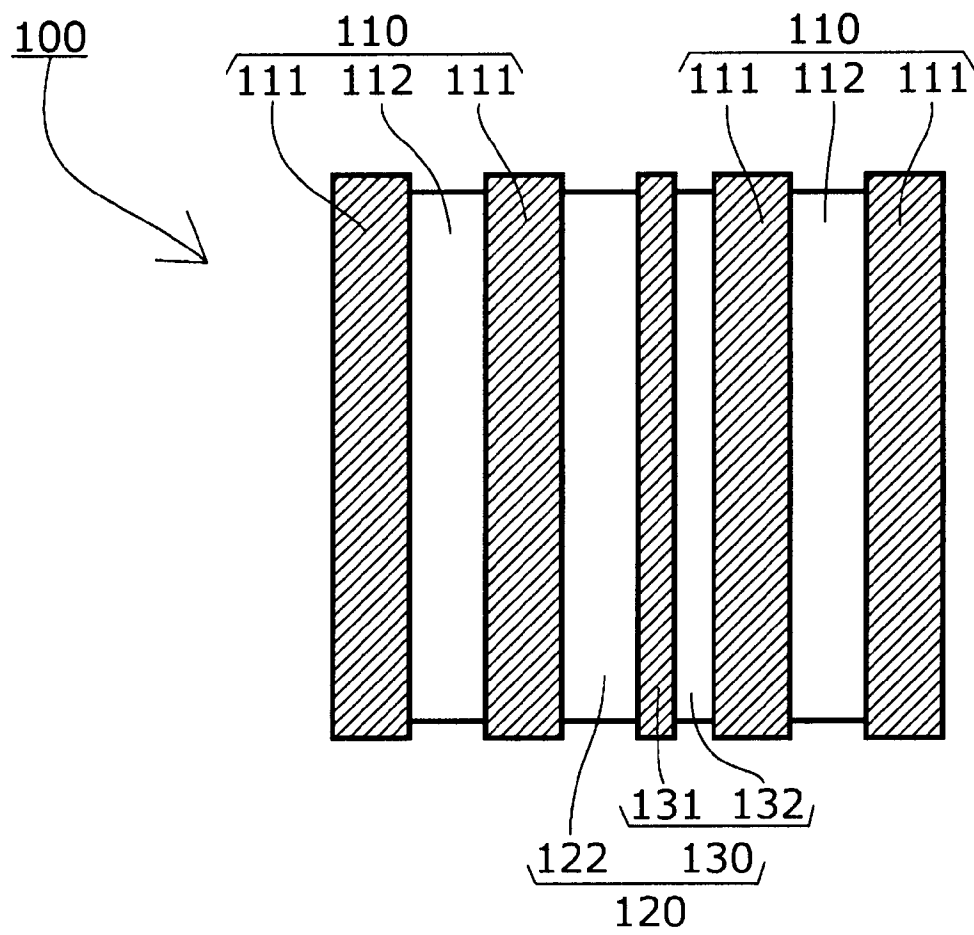
[0042] 100、500 . . . 帯域透過フィルタ
110、510 . . . 反射層
111、511 . . . 高屈折率膜
112、512 . . . 低屈折率膜
120、520 . . . スペーサ層
122、522 . . . 低屈折率膜
130 . . . 追加層
131 . . . 高屈折率膜
132 . . . 低屈折率膜

請求の範囲

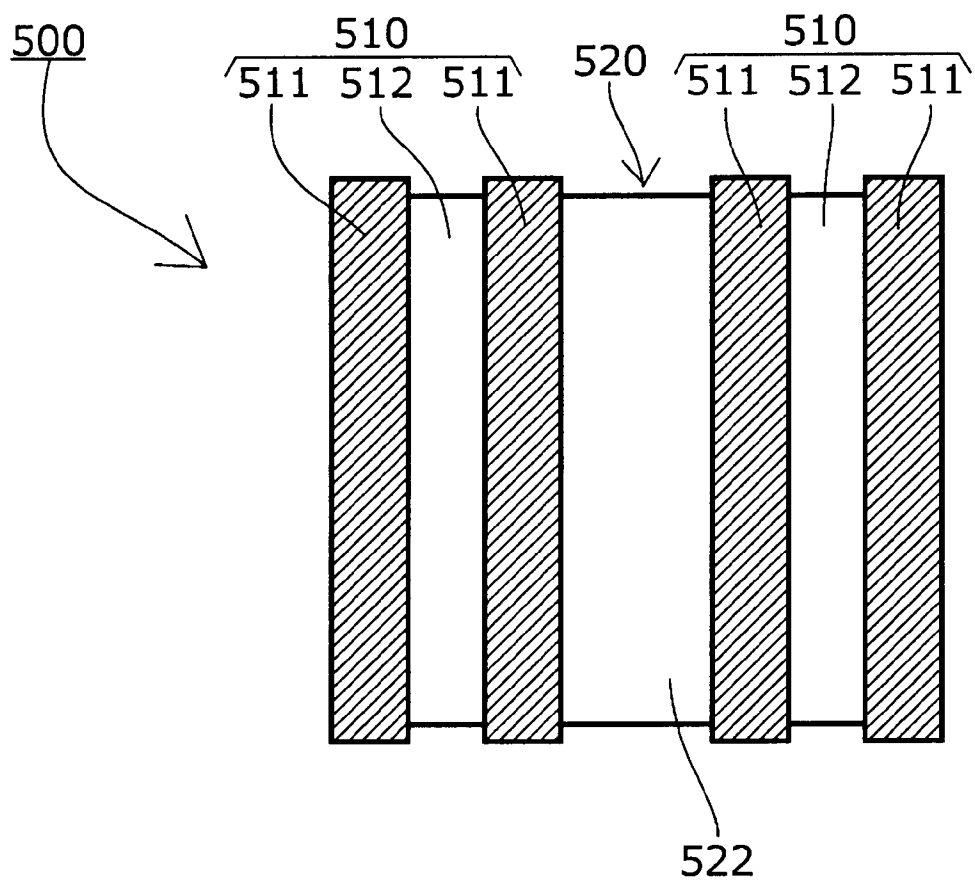
- [請求項1] 複数の膜からなり、所定の波長 λ を中心とした反射帯域を有し、前記反射帯域内の一部に透過帯域を有する帯域透過フィルタであって、
前記複数の膜の境界のうち少なくとも1つの境界には、光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の高屈折率膜と光学的膜厚が $\lambda/4.5$ 以下の低屈折率膜の連続した2層からなる追加層が挿入されていることを特徴とする帯域透過フィルタ。
- [請求項2] 前記追加層が、前記境界のうち任意の複数の境界に挿入されたことを特徴とする請求項1に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項3] 前記追加層が、任意の境界に2組以上連続して挿入されたことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項4] 前記波長 λ で反射する境界の少なくとも1つの境界が、2つの金属膜に挟まれた境界であり、
前記追加層が、前記2つの金属膜に挟まれた境界に挿入されたことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項5] 前記2つの金属膜に挟まれた境界が複数存在し、
前記追加層が、前記複数の2つの金属膜に挟まれた境界に、それぞれ1組以上挿入されたことを特徴とする請求項4に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項6] 前記波長 λ より短波長側および長波長側の副透過帯域のいずれか又は両方を、特定の帯域で透過する特性を付与したことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項7] 前記副透過帯域は可視光帯域であって、
可視光帯域の長波長側にある第1の波長帯域において、短波長側から、透過阻止特性を示す第1の透過阻止帯域、前記透過帯域および透過阻止特性を示す第2の透過阻止帯域を有する請求項6に記載の帯域透過フィルタ。

- [請求項8] 前記第1の波長帯域は650nm以上である請求項7に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項9] 前記第2の透過阻止帯域は1100nm以上である請求項7または請求項8に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項10] 前記透過帯域は、該帯域の中心波長が780nm～950nmの範囲にある、請求項7乃至請求項9のいずれか1項に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項11] 前記透過帯域の帯域幅は、200nm以下である請求項7乃至請求項10のいずれか1項に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項12] 可視光帯域の透過率および前記透過帯域の透過率が、60%以上である請求項7乃至請求項11のいずれか1項に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項13] 前記第1の透過阻止帯域の透過率および前記第2の透過阻止帯域の透過率は、30%以下である請求項7乃至請求項12のいずれか1項に記載の帯域透過フィルタ。
- [請求項14] 基板と、
基板の一方の主面に、前記追加層を含む多層膜を有する請求項1乃至請求項13のいずれか1項に記載の帯域透過フィルタ。

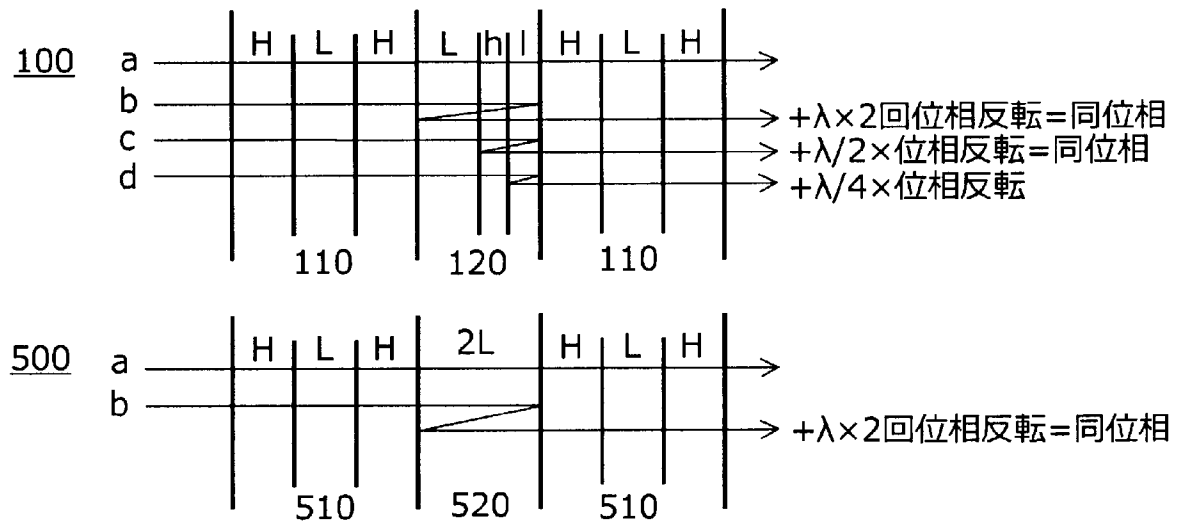
[図1]



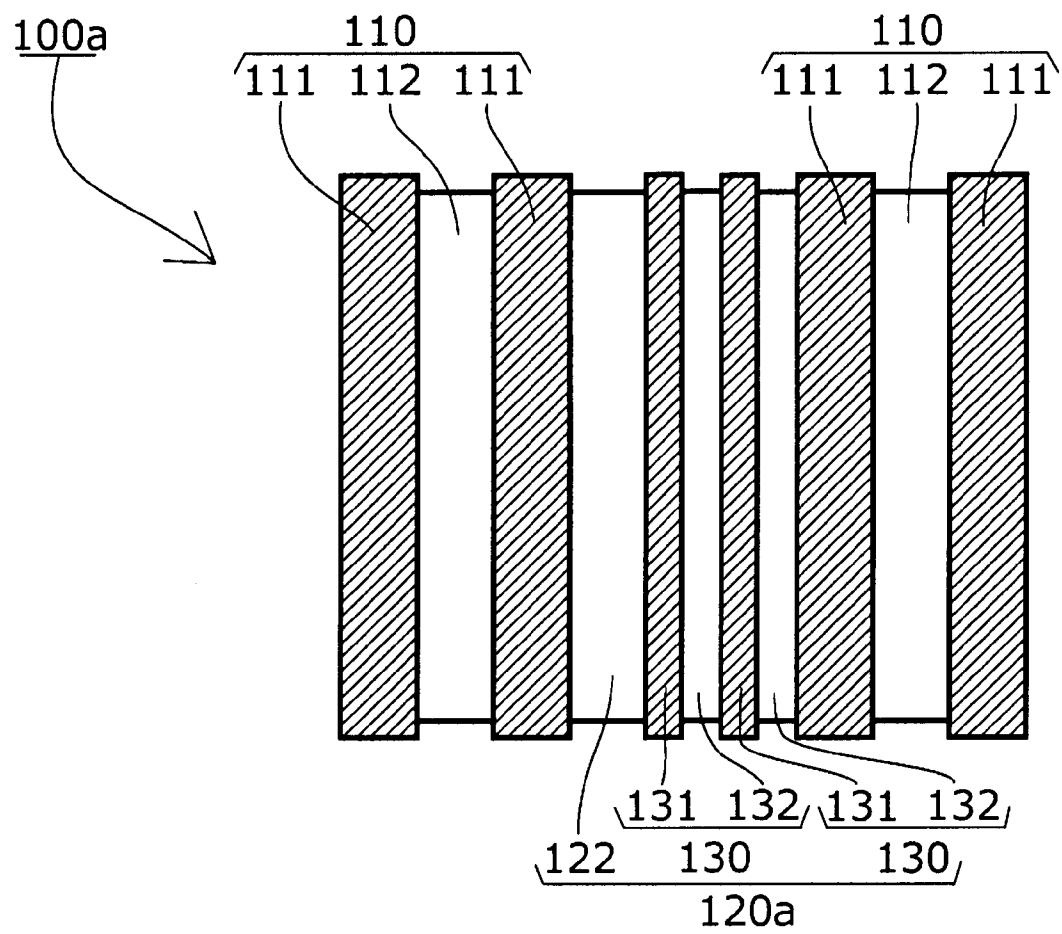
[図2]



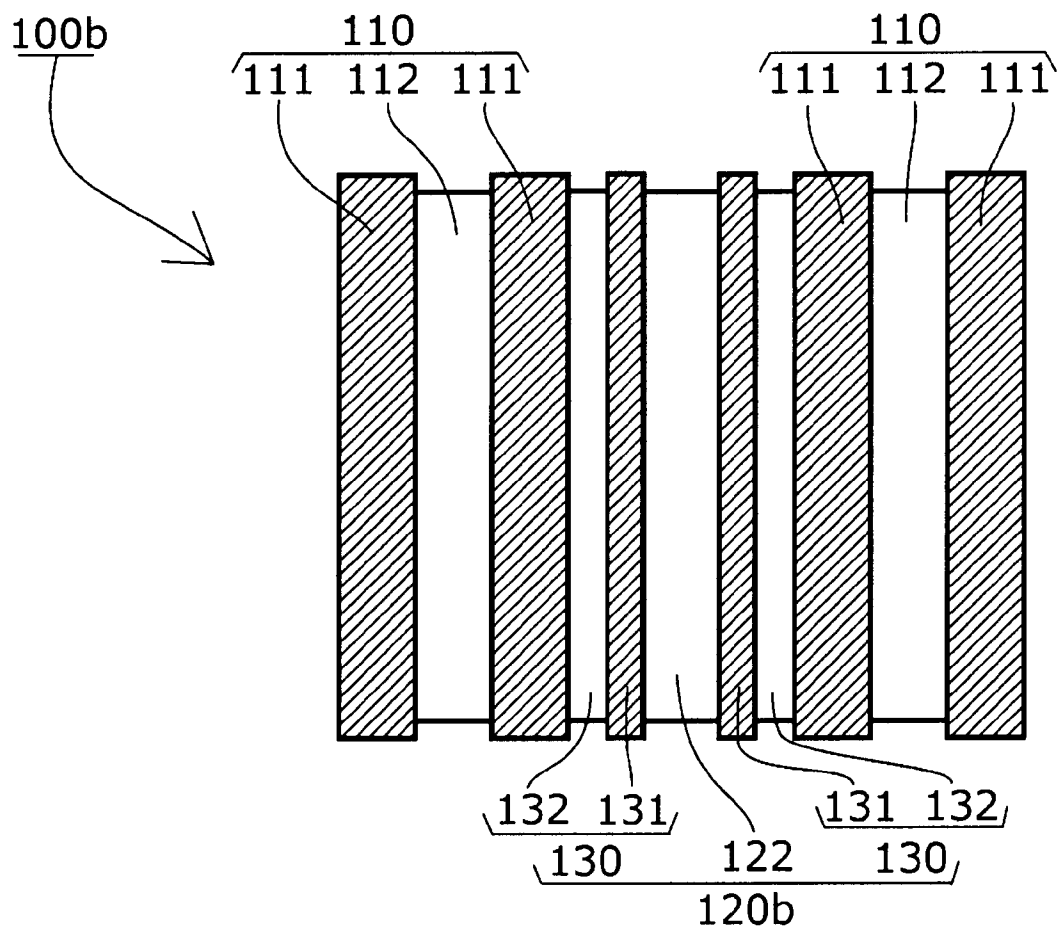
[図3]



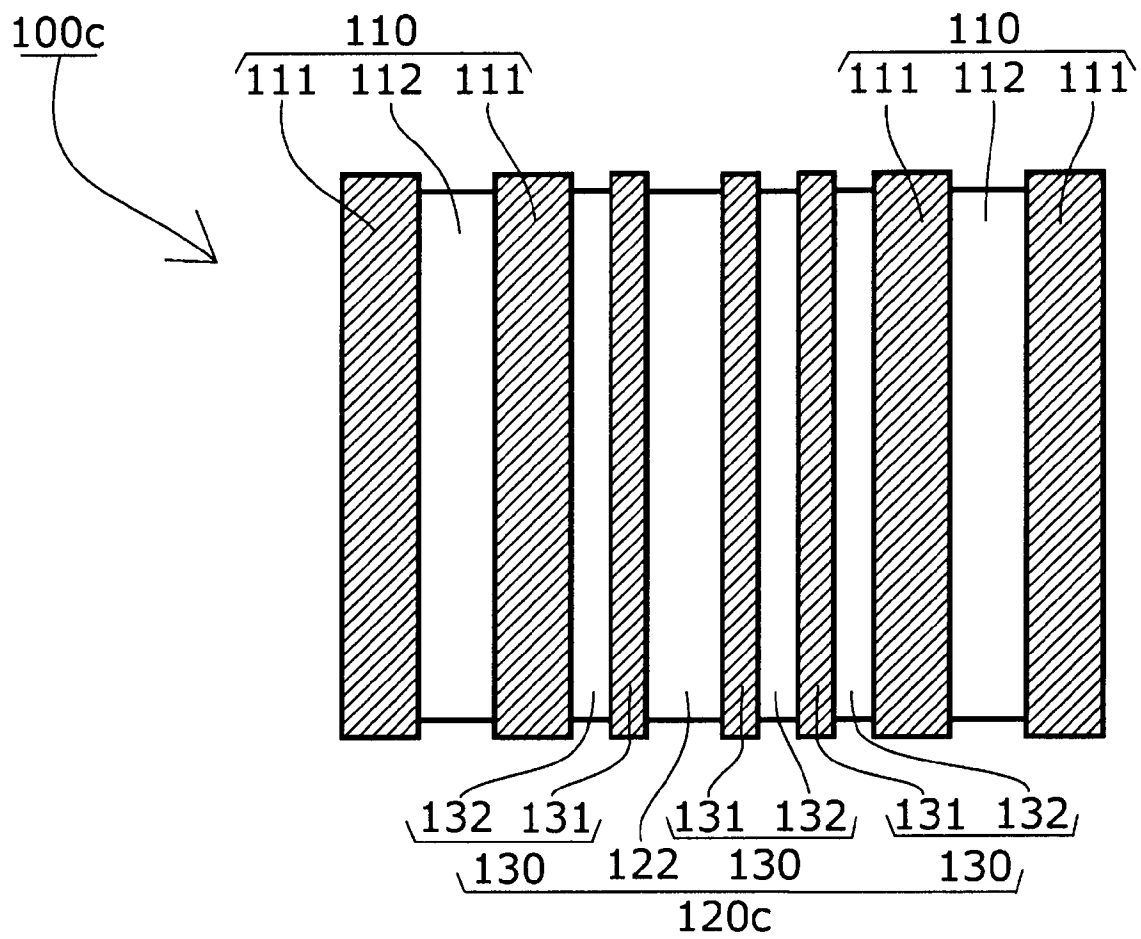
[図4]



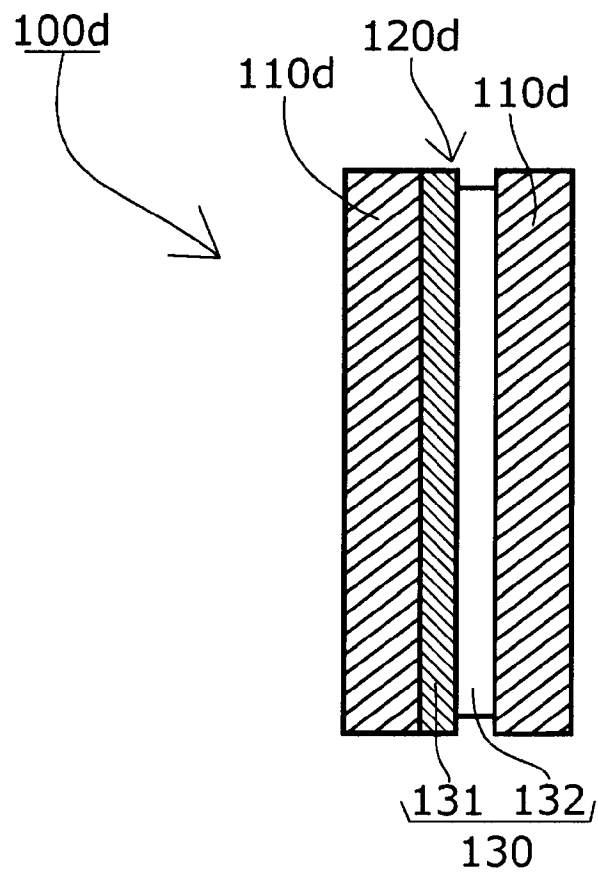
[図5]



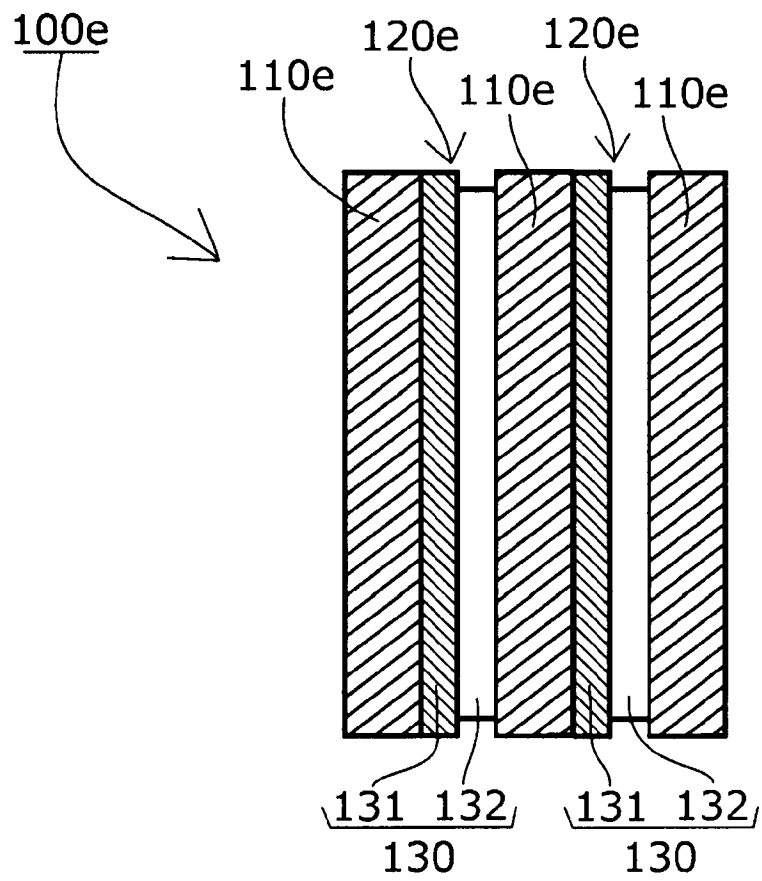
[図6]



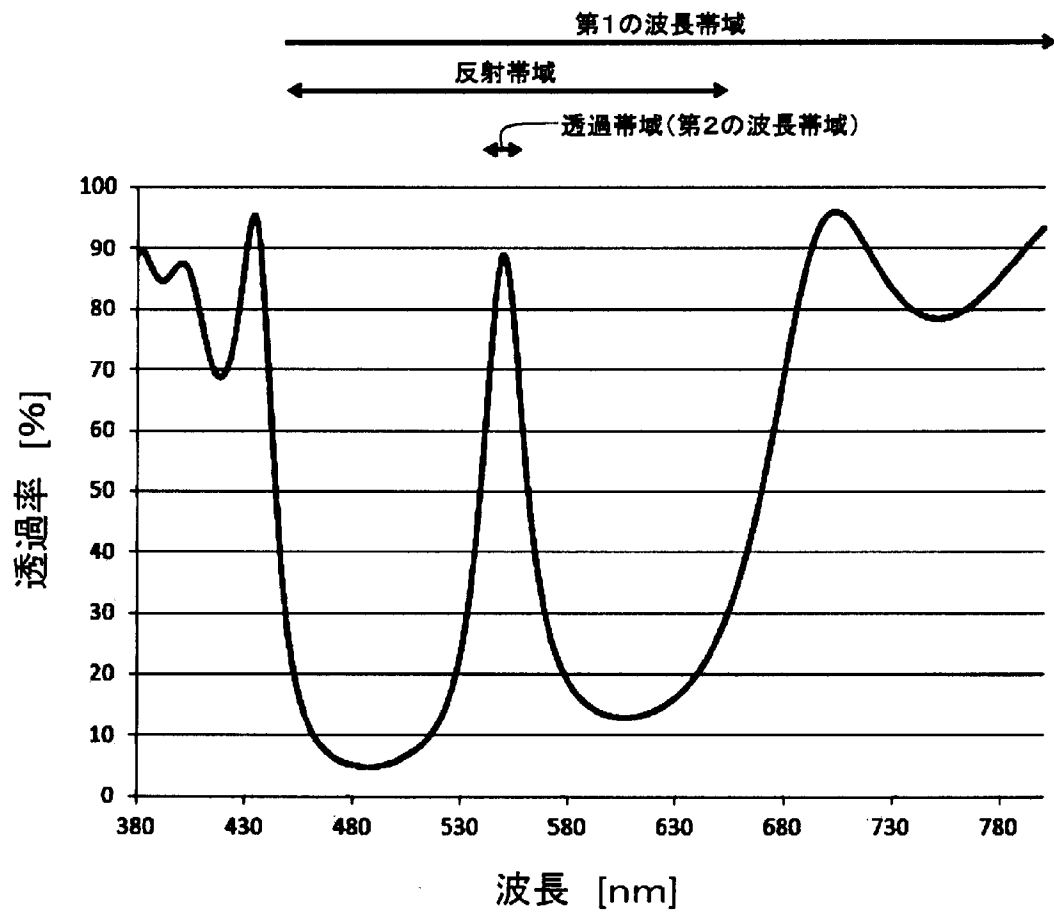
[図7]



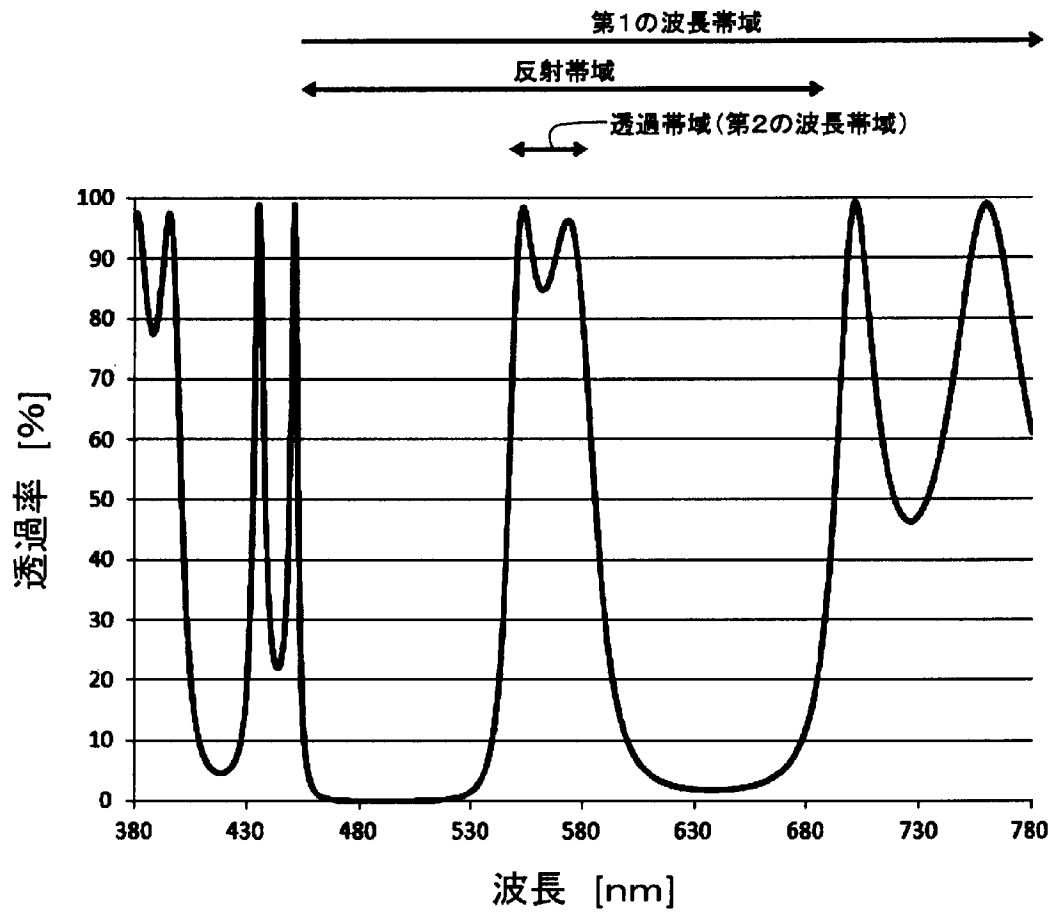
[図8]



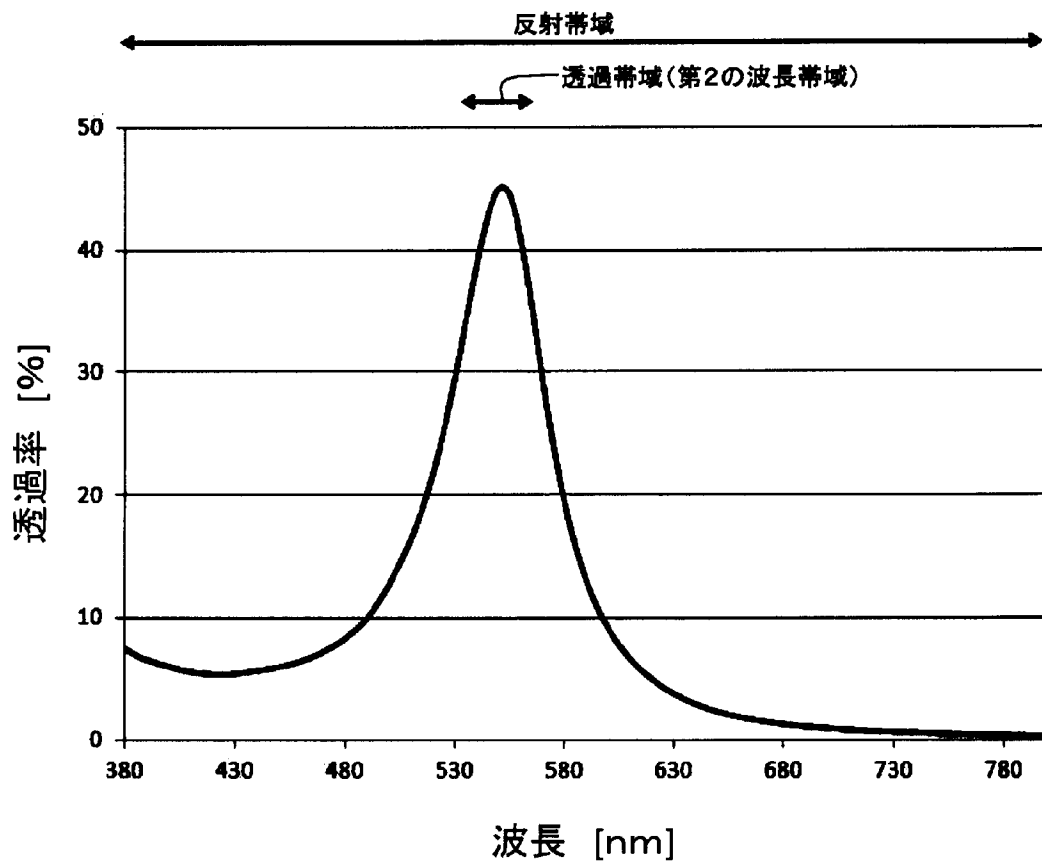
[図9]



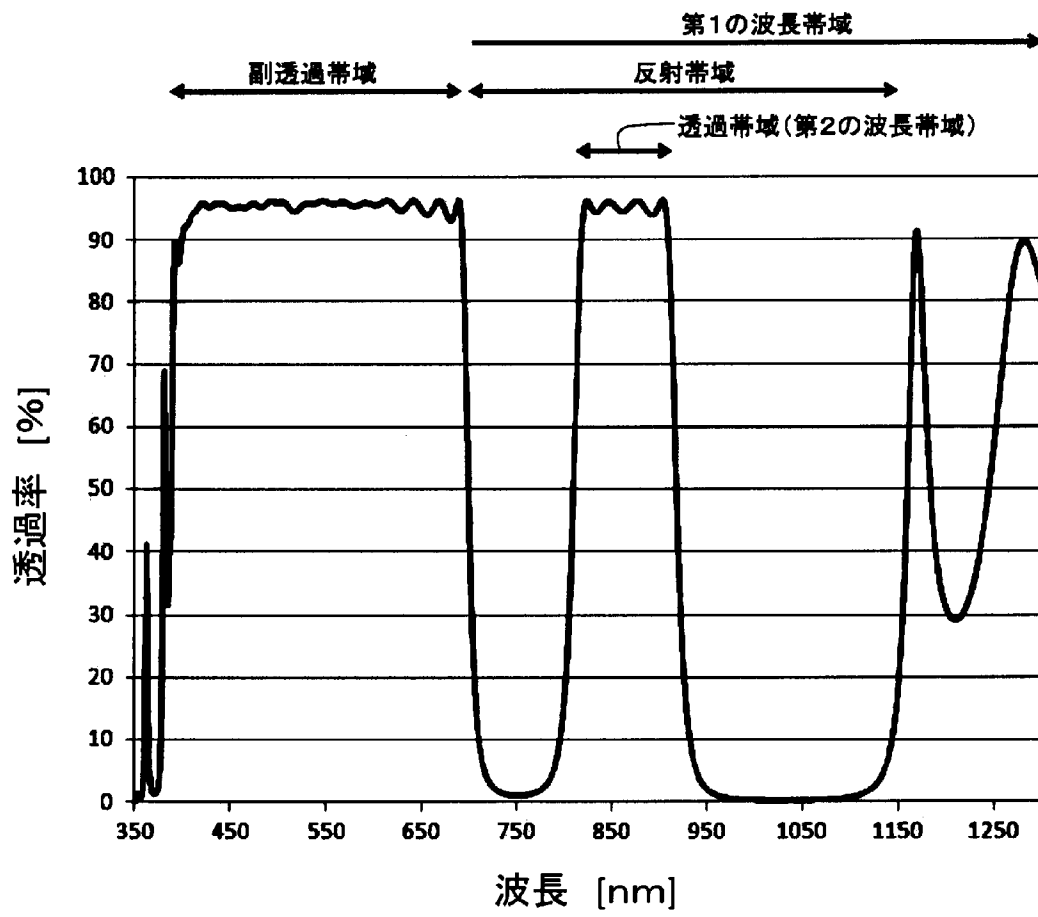
[図10]



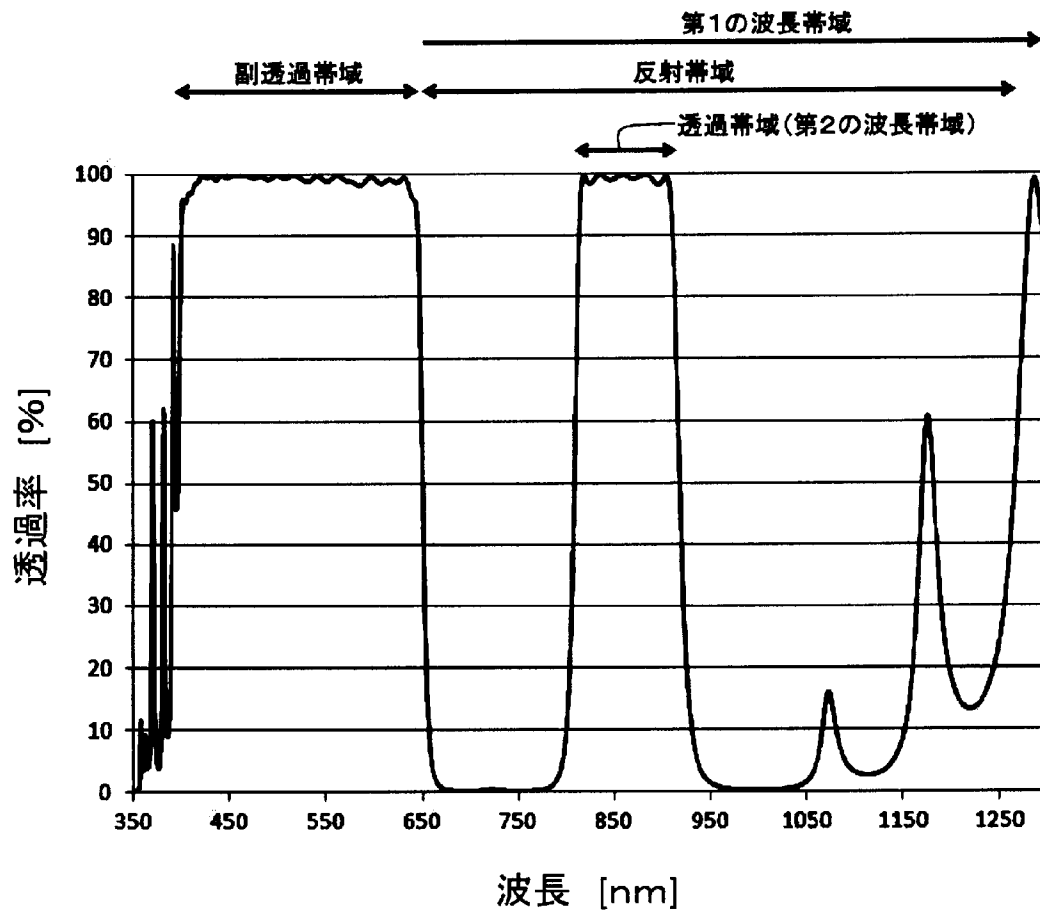
[図11]



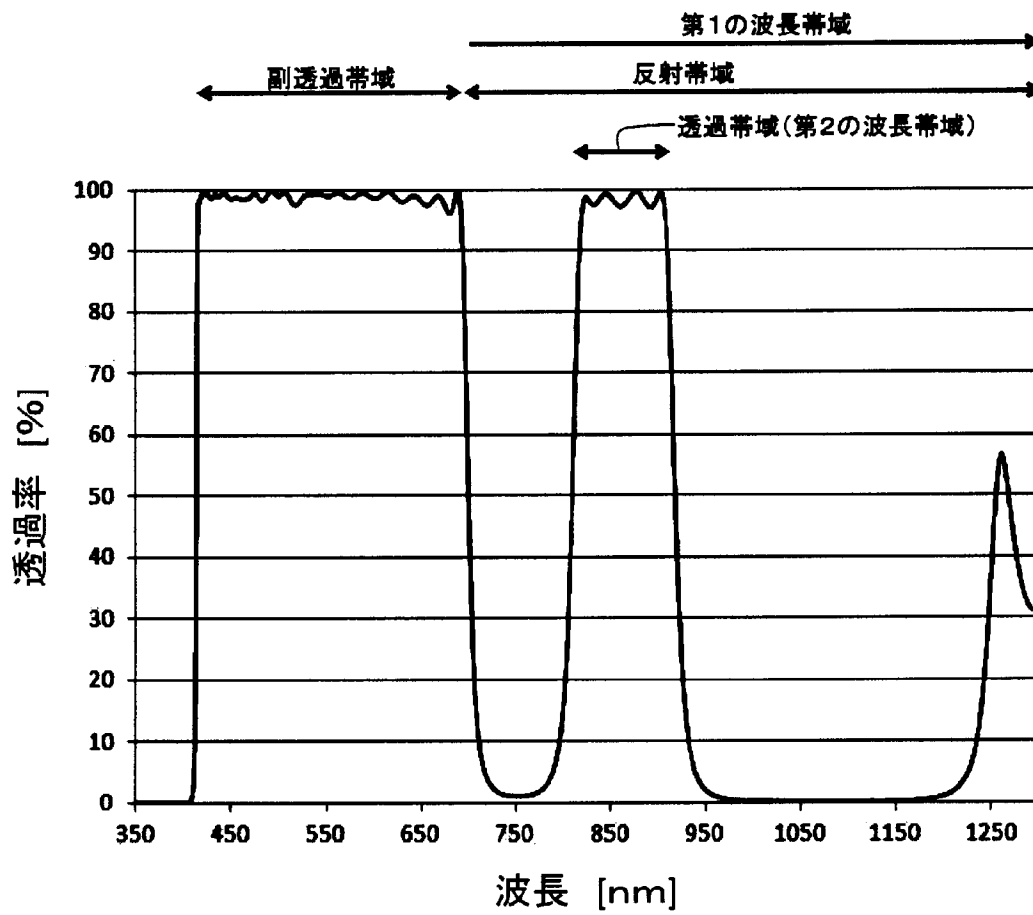
[図12]



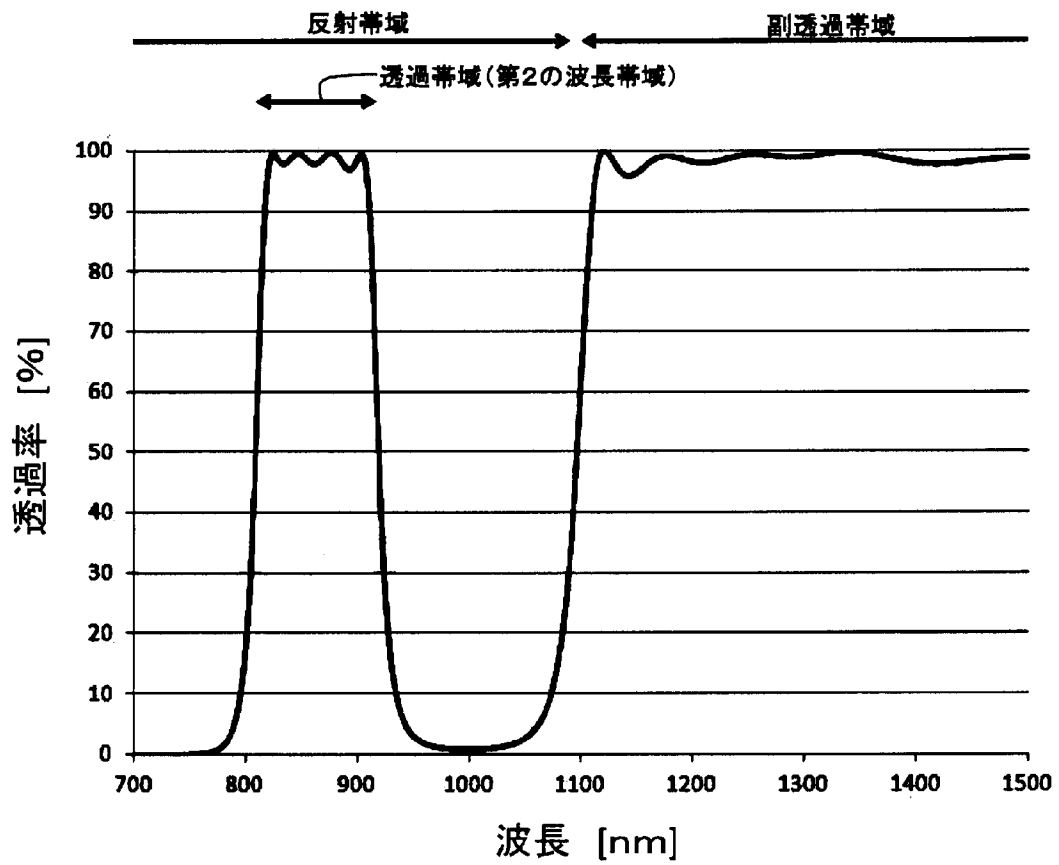
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/068426

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B5/28(2006.01)i, G02B5/26(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)

G02B5/28, G02B5/26

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
X A	JP 2006-154359 A (Kyocera Kinseki Corp.), 15 June 2006 (15.06.2006), paragraphs [0010], [0014] to [0015]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-3, 6-9, 12-14 4-5, 10-11
X A	JP 2002-107506 A (Canon Inc.), 10 April 2002 (10.04.2002), paragraphs [0013] to [0032]; fig. 1 to 9 (Family: none)	1-3, 6-9, 12-14 4-5, 10-11
A	JP 2002-535735 A (Qinetiq Ltd.), 22 October 2002 (22.10.2002), entire text; all drawings & US 6631033 B1 & GB 9901858 A & WO 2000/045201 A1 & EP 1151328 A	1-14

☒ 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
01 September 2015 (01.09.15)

Date of mailing of the international search report
15 September 2015 (15.09.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/068426

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 2003-121637 A (Nippon Sheet Glass Co., Ltd.), 23 April 2003 (23.04.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2010-186147 A (Panasonic Electric Works Co., Ltd.), 26 August 2010 (26.08.2010), entire text; all drawings & US 2011/0310472 A1 & WO 2010/092898 A1 & EP 2397873 A1 & CN 102326104 A	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B5/28(2006.01)i, G02B5/26(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. G02B5/28, G02B5/26

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 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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 請求項の番号
X	JP 2006-154359 A（京セラキンセキ株式会社）2006.06.15, 段落 [0 0 1 0], [0 0 1 4] - [0 0 1 5], 図1 - 5（ファミリーなし）	1-3, 6-9, 12-14
A		4-5, 10-11
X	JP 2002-107506 A（キヤノン株式会社）2002.04.10, 段落 [0 0 1 3] - [0 0 3 2], 図1 - 9（ファミリーなし）	1-3, 6-9, 12-14
A		4-5, 10-11

☒ 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 1 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 9 . 2 0 1 5

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）

大竹 秀紀

20

4074

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

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
A	JP 2002-535735 A (キネティック リミテッド) 2002.10.22, 全文全図 & US 6631033 B1 & GB 9901858 A & WO 2000/045201 A1 & EP 1151328 A	1-14
A	JP 2003-121637 A (日本板硝子株式会社) 2003.04.23, 全文全図 (ファミリーなし)	1-14
A	JP 2010-186147 A (パナソニック電工株式会社) 2010.08.26, 全文全図 & US 2011/0310472 A1 & WO 2010/092898 A1 & EP 2397873 A1 & CN 102326104 A	1-14