

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-32659

(P2010-32659A)

(43) 公開日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 2 B 5/26 (2006.01)	G 0 2 B 5/26	2 H 0 4 8
G 0 2 B 5/18 (2006.01)	G 0 2 B 5/18	2 H 2 4 9
G 0 2 B 5/28 (2006.01)	G 0 2 B 5/28	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2008-192942 (P2008-192942)	(71) 出願人	000006747
(22) 出願日	平成20年7月28日 (2008.7.28)		株式会社リコー
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
		(74) 代理人	100102901
			弁理士 立石 篤司
		(72) 発明者	藤本 真裕
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
			会社リコー内
		(72) 発明者	平井 秀明
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
			会社リコー内
		(72) 発明者	瀬尾 学
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
			会社リコー内
		最終頁に続く	

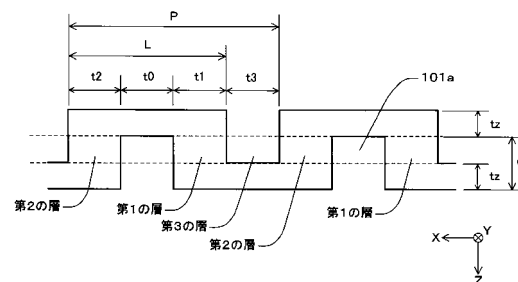
(54) 【発明の名称】 波長選択フィルタ、フィルタ装置、光源装置、光学装置及び屈折率センサ

(57) 【要約】

【課題】 波長選択性が高く、光の入射角の許容範囲が広い波長選択フィルタを提供する。

【解決手段】 入射光が入射する面に形成され、X軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部を有する基板101aと、該凹凸構造部を覆う透明膜101bとを有し、透明膜101bの屈折率は、基板101aの屈折率よりも大きい。また、各凸部の+X側に隣接する透明膜101bと、各凸部の-X側に隣接する透明膜101bとの間に空気の層を有している。この場合には、波長選択性が高く、かつ光の入射角の許容範囲を従来よりも広くすることが可能となる。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光に含まれる特定波長の光を選択的に共鳴反射する波長選択フィルタであって、前記入射光が入射する面に形成され、一の軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部を有する基板と；

前記一の軸方向に関して、前記凹凸構造部における各凸部の一側の面を覆う第 1 の層と、前記各凸部の他側の面を覆う第 2 の層とを含む多層構造体と；を有し、

前記第 1 の層の屈折率及び前記第 2 の層の屈折率は、いずれも前記基板の屈折率よりも大きいことを特徴とする波長選択フィルタ。

【請求項 2】

前記第 1 の層の屈折率と前記第 2 の層の屈折率は等しいことを特徴とする請求項 1 に記載の波長選択フィルタ。

【請求項 3】

前記多層構造体は、前記一の軸方向に関して、前記第 1 の層と前記第 2 の層との間に位置する第 3 の層を有し、

前記第 3 の層の屈折率は、前記基板の屈折率よりも小さいことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の波長選択フィルタ。

【請求項 4】

前記第 3 の層は、空気の層であることを特徴とする請求項 3 に記載の波長選択フィルタ。

【請求項 5】

前記一の軸方向に関して、前記凹凸構造部における凸部の幅、前記第 1 の層の幅、前記第 2 の層の幅、及び前記第 3 の層の幅は、いずれも互いに等しいことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の波長選択フィルタ。

【請求項 6】

前記凹凸構造部における凸部の高さは、該凸部の前記一の軸方向に関する幅の 2 倍であることを特徴とする請求項 5 に記載の波長選択フィルタ。

【請求項 7】

請求項 1～6 のいずれか一項に記載の波長選択フィルタと；

前記波長選択フィルタを、前記基板の表面に平行で前記一の軸方向に直交する軸まわりに回動させる回動機構と；を備えるフィルタ装置。

【請求項 8】

光源と；

前記光源からの光束を略平行光とする光学素子と；

前記光学素子を介した光束が入射される請求項 1～6 のいずれか一項に記載の波長選択フィルタと；を備え、

前記波長選択フィルタで反射された光束を出力することを特徴とする光源装置。

【請求項 9】

光源と；

前記光源からの光束を略平行光とする光学素子と；

前記光学素子を介した光束が入射される請求項 7 に記載のフィルタ装置と；を備え、

前記フィルタ装置の波長選択フィルタで反射された光束を出力することを特徴とする光源装置。

【請求項 10】

請求項 8 又は 9 に記載の光源装置と；

前記光源装置から出力された光束が入射される光学系と；を備える光学装置。

【請求項 11】

対象物の屈折率を検出するための屈折率センサであって、

光源と；

前記光源からの光束を略平行光とする第 1 の光学素子と；

10

20

30

40

50

前記第 1 の光学素子を介した光束を直線偏光とする第 2 の光学素子と；

前記第 2 の光学素子から射出され、対象物を透過した光束が入射される請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の波長選択フィルタと；

前記波長選択フィルタで反射された光束のピーク波長を求め、該ピーク波長に基づいて前記対象物の屈折率を検出する検出装置と；を備える屈折率センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長選択フィルタ、フィルタ装置、光源装置、光学装置及び屈折率センサに係り、更に詳しくは、入射光に含まれる特定波長の光を選択的に共鳴反射する波長選択フ
ィルタ、及び該波長選択フィルタを有するフィルタ装置、前記波長選択フィルタあるいは
前記フィルタ装置を有する光源装置、該光源装置を備える光学装置、及び前記波長選択フ
ィルタを有する屈折率センサに関する。

10

【背景技術】

【0002】

光学系や光学装置では、互いに波長の異なる複数の光が混在している光の中から特定波
長の光のみを必要とする場合がある。この場合に、一般的に波長選択フィルタ（波長フ
ィルタともいう）が利用されている。

【0003】

例えば、特許文献 1 には、表面に微細凹凸を有する基板と、微細凹凸面を覆う誘電体層
とを備え、微細凹凸及び誘電体層が凹凸面に入射した光の導波層を形成している波長フ
ィルタが開示されている。

20

【0004】

また、特許文献 2 には、入射光のうち、共鳴条件に合った特定波長の光を反射光として
選択的に反射させるチューナブル波長選択フィルタが開示されている。

【0005】

ところで、特許文献 3 には、被測定物の屈折率を検出するための屈折率センサが開示さ
れている。

【0006】

【特許文献 1】特許第 3 7 1 1 4 4 6 号公報

30

【特許文献 2】特開 2 0 0 5 － 2 7 5 0 8 9 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 7 － 2 3 2 4 5 6 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献 1 に開示されている波長フィルタでは、光の入射角が設計値か
らずれると、波長フィルタで反射される特定波長の光の光量が低下するという不都合があ
った。さらに、特許文献 1 に開示されている波長フィルタでは、光の入射角が設計値か
らずれると、特定波長とは異なる複数の波長の光が反射されるおそれがあった。

【0008】

40

また、特許文献 2 に開示されているチューナブル波長選択フィルタは、微細な電極を基
板上に作製しなければならないため作製が難しく、また、導波層に特殊な材料を用いる必
要があるため低コストでの作製が困難であるという不都合があった。

【0009】

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第 1 の目的は、波長選択性が高く、
光の入射角の許容範囲が広い波長選択フィルタを提供することにある。

【0010】

本発明の第 2 の目的は、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光を反射する
ことができるフィルタ装置を提供することにある。

【0011】

50

本発明の第3の目的は、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光を出力することができる光源装置を提供することにある。

【0012】

本発明の第4の目的は、高コスト化を招くことなく、所望の光学特性を得ることができる光学装置を提供することにある。

【0013】

本発明の第5の目的は、高コスト化を招くことなく、対象物の屈折率を精度良く検出することができる屈折率センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

10

本発明は、第1の観点からすると、入射光に含まれる特定波長の光を選択的に共鳴反射する波長選択フィルタであって、前記入射光が入射する面に形成され、一の軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部を有する基板と；前記一の軸方向に関して、前記凹凸構造部における各凸部の一侧の面を覆う第1の層と、前記各凸部の他側の面を覆う第2の層とを含む多層構造体と；を有し、前記第1の層の屈折率及び前記第2の層の屈折率は、いずれも前記基板の屈折率よりも大きいことを特徴とする波長選択フィルタである。

【0015】

なお、本明細書では、「矩形波形状」は、正方形、長方形だけでなく、台形、及び少なくとも1つの角が面取りされた形状も含むものとする。

【0016】

20

これによれば、波長選択性が高く、かつ光の入射角の許容範囲を広くすることが可能となる。

【0017】

本発明は、第2の観点からすると、本発明の波長選択フィルタと；前記波長選択フィルタを、前記基板の表面に平行で前記一の軸方向に直交する軸まわりに回転させる回転機構と；を備えるフィルタ装置である。

【0018】

これによれば、本発明の波長選択フィルタを有しているため、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光を反射することが可能となる。

【0019】

30

本発明は、第3の観点からすると、光源と；前記光源からの光束を略平行光とする光学素子と；前記光学素子を介した光束が入射される本発明の波長選択フィルタと；を備え、前記波長選択フィルタで反射された光束を出力することを特徴とする第1の光源装置である。

【0020】

本発明は、第4の観点からすると、光源と；前記光源からの光束を略平行光とする光学素子と；前記光学素子を介した光束が入射される本発明のフィルタ装置と；を備え、前記フィルタ装置の波長選択フィルタで反射された光束を出力することを特徴とする第2の光源装置である。

【0021】

40

上記各光源装置によれば、いずれも本発明の波長選択フィルタを有しているため、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光を出力することが可能となる。

【0022】

本発明は、第5の観点からすると、本発明の光源装置と；前記光源装置から出力された光束が入射される光学系と；を備える光学装置である。

【0023】

これによれば、本発明の光源装置を備えているため、結果として高コスト化を招くことなく、所望の光学特性を得ることが可能となる。

【0024】

本発明は、第6の観点からすると、対象物の屈折率を検出するための屈折率センサであ

50

って、光源と；前記光源からの光束を略平行光とする第１の光学素子と；前記第１の光学素子を介した光束を直線偏光とする第２の光学素子と；前記第２の光学素子から射出され、対象物を透過した光束が入射される本発明の波長選択フィルタと；前記波長選択フィルタで反射された光束のピーク波長を求め、該ピーク波長に基づいて前記対象物の屈折率を検出する検出装置と；を備える屈折率センサである。

【００２５】

これによれば、本発明の波長選択フィルタを有しているため、高コスト化を招くことなく、対象物の屈折率を精度良く検出することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２６】

以下、本発明の一実施形態を図１～図２６に基づいて説明する。図１には、本発明の一実施形態に係る光源装置１０が示されている。

【００２７】

この光源装置１０は、光源１１、カップリングレンズ１３、光学フィルタ装置１５、反射ミラー１７などを備えている。

【００２８】

前記光源１１は、互いに波長が異なる複数の光が混在する光束を出力する。

【００２９】

前記カップリングレンズ１３は、光源１１からの光束を略平行光とする。なお、本明細書では、XYZ３次元直交座標系において、カップリングレンズ１３の光軸方向をＺ軸方向として説明する。

【００３０】

前記光学フィルタ装置１５は、カップリングレンズ１３を介した略平行の光束が入射され、特定の波長範囲内の光束のみを反射する。この光学フィルタ装置１５の詳細については後述する。

【００３１】

前記反射ミラー１７は、光学フィルタ装置１５で反射された光束の光路上に配置され、該光束を＋Ｚ方向に反射する。この反射ミラー１７で反射された光束が光源装置１０から出力される。すなわち、光源装置１０からは、特定の波長範囲内の光束が略平行光として出力される。

【００３２】

そして、光源装置１０から出力された光束は、上記特定の波長範囲内の光束に対して最適化されている光学系２０に導かれる。なお、光源装置１０及び光学系２０を含む光学装置として、特定の波長範囲内の光を利用した分析装置、検査装置、計測装置などがある。

【００３３】

ここで、前記光学フィルタ装置１５について説明する。

【００３４】

光学フィルタ装置１５は、一例として図２～図４に示されるように、波長選択フィルタ１０１、保持部材１０３、回動支持部材１０４、駆動機構１０５などを備えている。なお、図４は図２のＡ－Ａ断面図である。

【００３５】

上記波長選択フィルタ１０１は、一例として図５に示されるように板状の部材であり、カップリングレンズ１３を介した略平行の光束が入射する側の面（ここでは、－Ｚ側の面）に、複数の直線状の溝が等間隔で形成されている。ここでは、Ｘ軸方向を溝の配列方向に平行な方向としている。

【００３６】

なお、本実施形態では、一例として、波長選択フィルタ１０１は、入射角０度でＴＭ偏光の光が入射されたとき、波長６０５nmの光が選択的に反射（共鳴反射）されるように設計されている。すなわち、共鳴波長が６０５nmとなるように設計されている。ところで、ＴＭ偏光とは、その磁界の方向が溝に平行である光をいう（オプトロニクス社「回折

10

20

30

40

50

光学素子入門」p 67 参照)。

【0037】

波長選択フィルタ101は、図5の一部を拡大した図6に示されるように、透明な基板101aと、透明膜101bとを有している。

【0038】

基板101aは、その-Z側の面に、X軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部を有している(図10参照)。そして、該凹凸構造部は、透明膜101bによって被覆されている。

【0039】

基板101aの材料には、一例として屈折率1.46の石英(SiO_2)が用いられている。また、透明膜101bの材料には、一例として屈折率2.12の五酸化タンタル(Ta_2O_5)が用いられている。

【0040】

ところで、図7に示されるように、基板101aの凹凸構造部における凸部(以下では、便宜上、単に「凸部」ともいう)の-X側に隣接する透明膜101bを第1の層、+X側に隣接する透明膜101bを第2の層、第1の層と第2の層との間の空気の層を第3の層とする。そして、X軸方向に関して、凸部の幅を t_0 、第1の層の幅を t_1 、第2の層の幅を t_2 、第3の層の幅を t_3 とする。また、基板101aの屈折率を n_0 、第1の層の屈折率を n_1 、第2の層の屈折率を n_2 、第3の層の屈折率を n_3 とする。さらに、基板101aの凹凸構造部の溝深さを d とする。

【0041】

ここでは、 $t_0 = 100 \text{ nm}$ 、 $t_1 = 100 \text{ nm}$ 、 $t_2 = 100 \text{ nm}$ 、 $t_3 = 100 \text{ nm}$ 、 $d = 100 \text{ nm}$ である。そこで、ピッチ P は 400 nm 、ランド幅 L は 300 nm 、フィルタリングファクタ FF は $0.75 (= L/P)$ である。

【0042】

そして、 $n_0 = 1.46$ 、 $n_1 = 2.12$ 、 $n_2 = 2.12$ 、 $n_3 = 1.00$ である。すなわち、 $n_1 = n_2 > n_0 > n_3$ の関係が満足されている。

【0043】

また、凸部の上面及び凹部の底面を覆っている透明膜101bの膜厚 t_z は 50 nm である。

【0044】

次に、波長選択フィルタ101の製造方法について簡単に説明する。

【0045】

(1) 平板状の基板101aにおける片側(ここでは、-Z側)の面にフォトレジストを塗布し、フォトレジスト層を形成する(図8(A)参照)。

【0046】

(2) フォトレジスト層に所定の格子パターンを投影し、現像する。これにより、基板101aの表面に格子状のレジストパターンが形成される(図8(B)及び図9参照)。

【0047】

(3) レジストパターンが形成された基板101aを、イオンビームエッチング装置、反応性イオンエッチング装置、あるいはプラズマエッチング装置などのドライエッチング装置にセットし、レジストパターンをマスクとしてエッチングする。

【0048】

(4) 所望の深さまでエッチングされると、ドライエッチング装置から取り出し、アセトン等の有機溶剤による溶出または酸素プラズマ中での分解によってレジストパターンを除去する(図8(C)及び図10参照)。これによって、基板101aの表面に、X軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部が形成される。

【0049】

(5) 物理的气相成長法(PVD)あるいは化学的气相成長法(CVD)などを用いて、凹凸構造部の上に透明膜101bを形成する(図8(D)参照)。なお、スピコートや

10

20

30

40

50

ディッピングなどによって液体の原料を凹凸構造部の上に塗布し、その後ベーク処理などの後処理をすることによって、透明膜 101b を形成することも可能である。但し、凸部の側面にも透明膜 101b が形成されるような等方的な成膜手段が好ましい。

【0050】

上記のようにして製造された波長選択フィルタ 101 に、TM 偏光の入射光が入射角 0 度で入射されたときの、入射光の波長と反射率との関係が図 11 に示されている。反射率が最も大きい波長（以下では、「ピーク波長」ともいう）は 605 nm であった。そして、ピーク波形における半値幅は 7.1 nm であり、ピーク波長の約 1.2% と極めて狭かった。また、ピーク波長からある程度離れた波長では、反射率は 0.1 以下であった。このことから、波長選択フィルタ 101 は、605 nm を中心とする狭帯域の波長選択フィルタとして機能するとともに、いわゆる非共鳴反射光の反射率が低いことが分かる。すなわち、所望の波長範囲内の光のみを反射するのに適している。

10

【0051】

図 12 には、波長選択フィルタ 101 に波長 605 nm の光を入射したときの、入射角と反射率との関係が示されている。ピーク波形における半値幅は 3.0 度であった。

【0052】

比較のため、図 13 に示されるように基板が三角波形状の凹凸構造部を有する従来の波長選択フィルタ（特許文献 1 の図 5 (a) 参照）に、特定波長である波長 623.4 nm の光を入射したときの、入射角と反射率との関係が図 14 に示されている。この場合のピーク波形における半値幅は 0.05 度であった。

20

【0053】

すなわち、波長選択フィルタ 101 における入射角の許容範囲は、従来の波長選択フィルタにおける入射角の許容範囲よりも約 60 倍広い。なお、図 14 は、特許文献 1 の図 5 (a) に開示されている波長フィルタと同じ構造の波長選択フィルタを想定し、いわゆる RCWA (Rigorous Coupling Wave Analysis) 法を用いて計算したものである。

【0054】

従って、入射光が若干発散気味の光束、あるいは若干収束気味の光束であっても、高い光量の反射光を得ることができる。このことは、光源装置 10 における光源 11 とカップリングレンズ 13 の位置関係に余裕を持たせることができ、それらの組み付け工程、及び調整工程を簡略化することができる。また、カップリングレンズ 13 として安価なレンズを用いることができる。すなわち、光源装置 10 の低コスト化を図ることが可能となる。

30

【0055】

ところで、計算によると、従来の波長選択フィルタ（特許文献 1 の図 5 (a) 参照）では、入射光の入射角が 0 度からずれると、入射光の波長と反射率との関係において、2 つのピークが出現する（図 15 (A) 及び図 15 (B) 参照）。図 15 (A) には、入射角が 0.1 度の場合が示され、図 15 (B) には、入射角が 0.2 度の場合が示されている。いずれの場合も、各ピーク波長は特定波長である 623.4 nm とは異なる波長である。すなわち、特定波長とは異なる複数の波長の光が反射されることとなる。そして、入射角のずれが小さいときは、2 つのピークの波長域が近く、1 種類の波長域のみを分離することが難しかった（図 16 参照）。

40

【0056】

一方、波長選択フィルタ 101 では、入射光の入射角が 0 度からずれても、入射光の波長と反射率との関係において出現するピークは 1 つだけであった。

【0057】

前記保持部材 103 は、波長選択フィルタ 101 を保持する部材であり、一例として図 17 (A) ~ 図 17 (C) に示されるように、中央に開口部を有する枠部 103a と、該枠部 103a の +Y 側の側面の中央及び -Y 側の側面の中央に設けられ、Y 軸方向に延びる丸棒状の突起部 103b とを有している。保持部材 103 と波長選択フィルタ 101 は、一例として図 18 に示されるように、枠部 103a の -Z 側の面と波長選択フィルタ 1

50

01の+Z側の面とを介して接着されている。

【0058】

前記回動支持部材104は、保持部材103を支持する部材であり、一例として図19(A)及び図19(B)に示されるように、保持部材103の枠部103aよりも一回り大きな開口部を中央に有している。また、回動支持部材104は、保持部材103の突起部103bを支持するための貫通孔を有している。

【0059】

回動支持部材104は、一例として図20に示されるように、貫通孔を有する少なくとも一方の部分を取り外すことが可能であり、保持部材103の各突起部103bを容易に貫通孔に挿入することができる(図21参照)。

10

【0060】

駆動機構105は、保持部材103の一方の突起部103bを回動させる。これにより、一例として図22(A)及び図22(B)に示されるように、回動支持部材104に対して保持部材103を傾斜させることができる。その結果、波長選択フィルタ101に対する入射光の入射角度を変更することができる。

【0061】

図23には、種々の入射角(0度、5度、10度、15度)について、波長選択フィルタ101における入射光の波長と反射率との関係が示されている。また、図24には、波長選択フィルタ101における入射光の入射角と反射光のピーク波長との関係が示されている。これらから、入射角を大きくするほどピーク波長が大きくなることがわかる。

20

【0062】

そこで、駆動機構105を介して波長選択フィルタ101に対する入射光の入射角度を変更することにより、波長選択フィルタ101で反射される光の波長を調整することができる。すなわち、光源装置10から出力される光束の波長域及び該波長域の中心波長を可変とすることができる。なお、駆動機構105は、手で突起部103bを回動させる機構であっても良いし、例えばモータを有し、電氣的に突起部103bを回動させる機構であっても良い。

【0063】

駆動機構105は、保持部材103の回動位置をロックする不図示のロック機構を備えており、波長選択フィルタ101で反射された光の波長が所望の波長になると、保持部材103の回動位置をロックすることができるようになっている。

30

【0064】

なお、前記反射ミラー17は、光源装置10からの光束の出力方向が常に+Z方向となるように、その姿勢を調整することが可能である。

【0065】

ところで、波長選択フィルタ101は、図25及び図26に示されるように、ピッチPを変更することによっても、反射光のピーク波長を変更することができる。そこで、このことを利用して、波長選択フィルタ101と同様な構造及び特性を有し、用途に応じた反射帯域の波長選択フィルタを製造することができる。なお、図25及び図26では、 $t_0 = t_1 = t_2 = t_3$ の関係を維持したままピッチPを変更している。

40

【0066】

以上説明したように、本実施形態に係る波長選択フィルタ101によると、入射光が入射する面に形成され、X軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部を有する基板101aと、該凹凸構造部を覆う透明膜101bとを有している。すなわち、凹凸構造部における各凸部の+X側の面及び-X側の面は、いずれも透明膜101bによって覆われている。そして、透明膜101bの屈折率は、基板101aの屈折率よりも大きい。

【0067】

また、各凸部の+X側に隣接する透明膜101bと、各凸部の-X側に隣接する透明膜101bとの間に空気の層を有している。

【0068】

50

この場合には、波長選択性が高く、かつ光の入射角の許容範囲を従来よりも広くすることが可能となる。

【0069】

また、本実施形態に係る光学フィルタ装置15によると、波長選択性が高く、かつ光の入射角の許容範囲が広い波長選択フィルタ101を有しているため、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光のみを反射することが可能となる。

【0070】

また、本実施形態に係る光源装置10によると、高コスト化を招くことなく、所望の波長の光のみを反射することができる光学フィルタ装置15を備えているため、結果として、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光を出力することが可能となる。

10

【0071】

なお、上記実施形態において、透明膜101bの材料に、屈折率が2.35の酸化チタン(TiO_2)、屈折率が2.33の五酸化ニオブ(Nb_2O_5)、屈折率が1.63の酸化アルミニウム(Al_2O_3)を用いても良い。

【0072】

また、上記実施形態では、共鳴波長が605nmの場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。一例として、共鳴波長が623nmの波長選択フィルタ201が図27に示されている。

【0073】

この波長選択フィルタ201は、前記波長選択フィルタ101と同様に、板状の部材であり、光が入射する側の面に、複数の直線状の溝が等間隔で形成されている。

20

【0074】

波長選択フィルタ201は、図27の一部を拡大した図28に示されるように、凹凸構造が形成されている基板101aと、透明膜101bとを有しているが、前記波長選択フィルタ101と異なり、透明膜101bは、各凸部の側面のみを被覆している。すなわち、凹凸構造部における各凸部の+X側の面及び-X側の面は、いずれも透明膜101bによって覆われている。

【0075】

ここでは、 $t_0 = 100\text{nm}$ 、 $t_1 = 100\text{nm}$ 、 $t_2 = 100\text{nm}$ 、 $t_3 = 100\text{nm}$ 、 $d = 200\text{nm}$ である(図29参照)。そこで、ピッチPは400nm、ランド幅Lは300nm、フィルタリングファクタFFは0.75($=L/P$)である。

30

【0076】

そして、 $n_0 = 1.46$ 、 $n_1 = 2.12$ 、 $n_2 = 2.12$ 、 $n_3 = 1.00$ である。すなわち、 $n_1 = n_2 > n_0 > n_3$ の関係が満足されている。

【0077】

この波長選択フィルタ201の製造方法について簡単に説明する。

【0078】

(1) 平板状の基板101aにおける片側(ここでは、-Z側)の面にフォトリジストを塗布し、フォトリジスト層を形成する(図30(A)参照)。

【0079】

40

(2) フォトリジスト層に所定の格子パターンを投影し、現像する。これにより、基板101aの表面に格子状のレジストパターンが形成される(図30(B)参照)。

【0080】

(3) レジストパターンが形成された基板101aをドライエッチング装置にセットし、レジストパターンをマスクとしてエッチングする。

【0081】

(4) 所望の深さまでエッチングされると、ドライエッチング装置から取り出し、レジストパターンを除去する(図30(C)参照)。これによって、基板101aの表面にX軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部が形成される。

【0082】

50

(5) 物理的气相成長法 (PVD) あるいは化学的气相成長法 (CVD) などを用いて、凹凸構造部の上に透明膜 101b を形成する (図 30 (D) 参照)。

【0083】

(6) 透明膜 101b が形成された基板 101a をドライエッチングし、凸部の上面及び凹部の底面にそれぞれ形成された透明膜 101b を除去する (図 30 (E) 参照)。ドライエッチングでは条件によっては高い異方性でエッチングを行うことが可能であるため、プラズマ条件等を適切に選択することによって、凹凸構造部の側面のエッチングを抑えつつ垂直方向にエッチングを行うことが可能である。

【0084】

上記のようにして製造された波長選択フィルタ 201 に、TM 偏光の入射光が入射角 0 度で入射されたときの、入射光の波長と反射率との関係が図 31 に示されている。ピーク波長は 623 nm であった。また、ピーク波形における半値幅は 3.7 nm であり、ピーク波長の約 0.6% と極めて狭かった。また、ピーク波長からある程度離れた波長では、反射率は 0.1 以下であった。このことから、波長選択フィルタ 201 は、623 nm を中心とする狭帯域の波長選択フィルタとして機能するとともに、いわゆる非共鳴反射光の反射率が低いことが分かる。すなわち、所望の波長範囲内の光のみを反射するのに適している。

【0085】

図 32 には、波長選択フィルタ 201 に波長 623 nm の光を入射したときの、入射角と反射率との関係が示されている。ピーク波形における半値幅は 3.2 度であった。すなわち、波長選択フィルタ 201 における入射角の許容範囲は、従来の波長選択フィルタにおける入射角の許容範囲よりも約 64 倍広い。

【0086】

従って、入射光が若干発散気味の光束、あるいは若干収束気味の光束であっても、高い光量の反射光を得ることができる。

【0087】

また、波長選択フィルタ 201 では、入射光の入射角が 0 度からずれても、入射光の波長と反射率との関係において出現するピークは 1 つだけであった。

【0088】

また、波長選択フィルタ 201 は、図 33 及び図 34 に示されるように、ピッチ P を変更することによっても、反射光のピーク波長を変更することができる。そこで、このことを利用して、波長選択フィルタ 201 と同様な構造及び特性を有し、用途に応じた反射帯域の波長選択フィルタを製造することができる。なお、図 33 及び図 34 では、 $t_0 = t_1 = t_2 = t_3$ の関係を維持したままピッチ P を変更している。

【0089】

また、一例として、共鳴波長が 630 nm の波長選択フィルタ 301 が、図 35 に示されている。

【0090】

この波長選択フィルタ 301 は、図 35 に示されるように、前記波長選択フィルタ 201 における第 3 の層を屈折率 1.25 の透明物質 301b としたものである。

【0091】

ここでは、 $t_0 = 100 \text{ nm}$ 、 $t_1 = 100 \text{ nm}$ 、 $t_2 = 100 \text{ nm}$ 、 $t_3 = 100 \text{ nm}$ 、 $d = 200 \text{ nm}$ である (図 36 参照)。そこで、ピッチ P は 400 nm、ランド幅 L は 300 nm、フィルタリングファクタ FF は 0.75 ($= L/P$) である。

【0092】

そして、 $n_0 = 1.46$ 、 $n_1 = 2.12$ 、 $n_2 = 2.12$ 、 $n_3 = 1.25$ 、である。すなわち、 $n_1 = n_2 > n_0 > n_3$ の関係が満足されている。

【0093】

この波長選択フィルタ 301 の製造方法について簡単に説明する。

【0094】

10

20

30

40

50

(1) 平板状の基板 101a における片側（ここでは、－Z 側）の面にフォトレジストを塗布し、フォトレジスト層を形成する（図 37（A）参照）。

【0095】

(2) フォトレジスト層に所定の格子パターンを投影し、現像する。これにより、基板 101a の表面に格子状のレジストパターンが形成される（図 37（B）参照）。

【0096】

(3) レジストパターンが形成された基板 101a をドライエッチング装置にセットし、レジストパターンをマスクとしてエッチングする。

【0097】

(4) 所望の深さまでエッチングされると、ドライエッチング装置から取り出し、レジストパターンを除去する（図 37（C）参照）。これによって、基板 101a の表面に X 軸方向に関して矩形波形状の凹凸構造部が形成される。

【0098】

(5) 物理的气相成長法（PVD）あるいは化学的气相成長法（CVD）などを用いて、凹凸構造部の上に透明膜 101b を形成する（図 37（D）参照）。

【0099】

(6) 透明膜 101b が形成された基板 101a をドライエッチングし、凸部の上面と凹部の底面に形成された透明膜 101b を除去する（図 38（A）参照）。

【0100】

(7) 物理的气相成長法（PVD）あるいは化学的气相成長法（CVD）などを用いて、その上に透明物質 301b の層を形成する（図 38（B）参照）。

【0101】

(8) 表面を覆っている透明物質 301b をドライエッチングで除去する（図 38（C）参照）。

【0102】

上記のようにして製造された波長選択フィルタ 301 に、TM 偏光の入射光が入射角 0 度で入射されたときの、入射光の波長と反射率との関係が図 39 に示されている。ピーク波長は 630 nm であった。また、ピーク波形における半値幅は 0.7 nm であり、ピーク波長の約 0.1% と極めて狭かった。また、ピーク波長からある程度離れた波長では、反射率は 0.1 以下であった。このことから、波長選択フィルタ 301 は、630 nm を中心とする狭帯域の波長選択フィルタとして機能するとともに、いわゆる非共鳴反射光の反射率が低いことが分かる。すなわち、所望の波長範囲内の光のみを反射するのに適している。

【0103】

図 40 には、波長選択フィルタ 301 に波長 630 nm の光を入射したときの、入射角と反射率との関係が示されている。ピーク波形における半値幅は 1.4 度であった。すなわち、波長選択フィルタ 301 における入射角の許容範囲は、従来の波長選択フィルタにおける入射角の許容範囲よりも約 28 倍広い。

【0104】

従って、入射光が若干発散気味の光束、あるいは若干収束気味の光束であっても、高い光量の反射光を得ることができる。

【0105】

また、波長選択フィルタ 301 では、入射光の入射角が 0 度からずれても、入射光の波長と反射率との関係において出現するピークは 1 つだけであった。

【0106】

また、波長選択フィルタ 301 は、図 41 及び図 42 に示されるように、ピッチ P を変更することによって、反射光のピーク波長を変更することができる。そこで、このことを利用して、波長選択フィルタ 301 と同様な構造及び特性を有し、用途に応じた反射帯域の波長選択フィルタを製造することができる。

【0107】

10

20

30

40

50

ところで、上記波長選択フィルタ201と同じ構造で、透明膜の屈折率が1.385の場合の入射光の波長と反射率との関係が図43に示されている。また、上記波長選択フィルタ201と同じ構造で、透明膜の屈折率が1.25の場合の入射光の波長と反射率との関係が図44に示されている。さらに、上記波長選択フィルタ101と同じ構造で、透明膜の屈折率が1.385の場合の入射光の波長と反射率との関係が図45に示されている。いずれの場合も、透明膜の屈折率は、基板の屈折率よりも小さく、波長選択フィルタとして所望の光学特性を得ることができなかった。

【0108】

上記波長選択フィルタ101、201、301、及び従来の波長選択フィルタ（従来例）の構造と光学特性が図46にまとめて示されている。

10

【0109】

なお、上記波長選択フィルタ101、201、301において、ピッチPだけでなく、ランド幅L、 $t_0 \sim t_3$ 、 $n_0 \sim n_3$ を調節することにより、反射光の波長域、該波長域の中心波長及び半値幅を変更することが可能である。但し、 $n_1 > n_0$ 、 $n_2 > n_0$ の関係を満足する必要がある。

【0110】

また、上記実施形態において、前記保持部材103に代えて、図47(A)～図47(C)に示される保持部材103'を用いても良い。この保持部材103'では、中央の開口部が円形であり、枠部（枠部103a'）はドーナツ状となっている。この場合には、波長選択フィルタを接着する際に、光軸中心から外周方向に向かって均一に張力が働くため、不要な歪を発生させることなく波長選択フィルタを接着することが可能となる。

20

【0111】

また、上記実施形態では、凸部の幅 t_0 と第1の層の幅 t_1 と第2の層の幅 t_2 と第3の層の幅 t_3 とが互いに等しい場合について説明したが、これに限定されるものではない。要求される光学特性（反射光の波長域、該波長域の中心波長及び半値幅など）に応じて変更しても良い。

【0112】

また、上記実施形態では、第1の層の材料と第2の層の材料が同じ場合について説明したが、これに限定されるものではない。 $n_1 > n_0$ 及び $n_2 > n_0$ の関係が満足されれば、第1の層の材料と第2の層の材料とが異なっても良い。

30

【0113】

また、上記実施形態では、基板101aの材料が石英(SiO_2)の場合について説明したが、これに限定されるものではない。 $n_1 > n_0 > n_3$ 及び $n_2 > n_0 > n_3$ の関係が満足されれば、基板101aの材料が石英(SiO_2)でなくても良い。

【0114】

また、上記実施形態において、凹凸構造部のY軸方向に垂直な断面形状が台形であっても良いし、少なくとも1つの角が面取りされた形状であっても良い。

【0115】

また、上記実施形態において、波長選択フィルタ101に対する入射光の入射角を変更する必要がない場合には、前記駆動機構105はなくても良い。この場合には、前記保持部材103は光源装置10の不図示の筐体に固定され、光源装置10から出力される光束の波長域及び該波長域の中心波長は一定となる。

40

【0116】

なお、特定波長範囲内の光を必要とする光学装置に上記光源装置10を用いることにより、高コスト化を招くことなく、所望の光学特性を得ることが可能となる。

【0117】

また、互いに波長が異なる複数の光が混在する光束が入力され、該入力された光束から特定波長範囲内の光を分離する光学系を備える装置において、その光学系が上記波長選択フィルタ101、201、301のいずれかを有していても良い。この場合には、高コスト化を招くことなく、従来よりも装置本来の特性を向上させることができる。

50

【0118】

図48には、本発明の一実施形態に係る屈折率センサ500が示されている。この屈折率センサ500は、光源501、カップリングレンズ502、光学素子503、上記波長選択フィルタ101、及び検出装置505などを備えている。屈折率の検出対象である対象物600は、光学素子503と波長選択フィルタ101との間であって、波長選択フィルタ101に接する位置にセットされるようになっている。ここでは、XYZ3次元直交座標系において、カップリングレンズ502の光軸方向をZ軸方向として説明する。

【0119】

光源501は、いわゆる白色光を出力する光源である。カップリングレンズ502は、光源501からの光束を略平行光とする。光学素子503は、カップリングレンズ502を介した光束を直線偏光とする。この光学素子503を介した光束が対象物600に照射される。ここでは、光学素子503を介した光束は、入射角0度で対象物600に入射するようになっている。

【0120】

波長選択フィルタ101には、対象物600を透過した光束が入射される。このとき、対象物600の屈折率に応じた入射角で波長選択フィルタ101に入射する。そして、波長選択フィルタ101は、入射角に応じた波長の光束を選択的に反射する。波長選択フィルタ101で反射された光束は、反射ミラー504を介して検出装置505に入射される。

【0121】

検出装置505は、分光器を有しており、該分光器で入射光束のピーク波長を求める。そして、検出装置505は、該ピーク波長に基づいて、対象物600を透過した光束の波長選択フィルタ101への入射角を求める。さらに、検出装置505は、該入射角から対象物600の屈折率を求める。

【0122】

このように、屈折率センサ500は、前述した波長選択フィルタ101を備えているため、結果として高コスト化を招くことなく、対象物の屈折率を精度良く検出することが可能となる。

【0123】

なお、波長選択フィルタ101に代えて、前記波長選択フィルタ201あるいは前記波長選択フィルタ301を用いても良い。

【産業上の利用可能性】

【0124】

以上説明したように、本発明の波長選択フィルタによれば、光の入射角の許容範囲が広く、高い波長選択性を実現するのに適している。また、本発明のフィルタ装置によれば、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光を反射するのに適している。また、本発明の光源装置によれば、高コスト化を招くことなく、容易に所望の波長の光を出力するのに適している。また、本発明の光学装置によれば、高コスト化を招くことなく、所望の光学特性を得るのに適している。また、本発明の屈折率センサによれば、高コスト化を招くことなく、対象物の屈折率を精度良く検出するのに適している。

【図面の簡単な説明】

【0125】

【図1】本発明の一実施形態に係る光源装置の概略図である。

【図2】図1におけるフィルタ装置を説明するための図（その1）である。

【図3】図1におけるフィルタ装置を説明するための図（その2）である。

【図4】図2のA-A断面図である。

【図5】図2における波長選択フィルタ101を説明するための図である。

【図6】図5の一部を拡大した図である。

【図7】波長選択フィルタ101の各層を説明するための図である。

【図8】図8（A）～図8（D）は、それぞれ波長選択フィルタ101の製造方法を説明

10

20

30

40

50

するための図である。

【図 9】図 8 (B) の斜視図である。

【図 10】図 8 (C) の斜視図である。

【図 11】波長選択フィルタ 101 における入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

【図 12】波長選択フィルタ 101 における入射光の入射角と反射率との関係を説明するための図である。

【図 13】比較例の波長選択フィルタを説明するための図である。

【図 14】比較例の波長選択フィルタにおける入射光の入射角と反射率との関係を説明するための図である。

10

【図 15】図 15 (A) 及び図 15 (B) は、それぞれ比較例の波長選択フィルタにおける入射角が 0 度からずれたときの入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

【図 16】比較例の波長選択フィルタにおける入射角と反射光のピーク波長との関係を説明するための図である。

【図 17】図 17 (A) ~ 図 17 (C) は、それぞれ図 2 における保持部材を説明するための図である。

【図 18】波長選択フィルタと保持部材の接着を説明するための図である。

【図 19】図 19 (A) 及び図 19 (B) は、それぞれ図 2 における回動支持部材を説明するための図である。

20

【図 20】回動支持部材による保持部材の支持を説明するための図 (その 1) である。

【図 21】回動支持部材による保持部材の支持を説明するための図 (その 2) である。

【図 22】図 22 (A) 及び図 22 (B) は、それぞれ保持部材の回動を説明するための図である。

【図 23】波長選択フィルタ 101 における各入射角での入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

【図 24】波長選択フィルタ 101 における入射角と反射光のピーク波長との関係を説明するための図である。

【図 25】波長選択フィルタ 101 における各ピッチでの入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

30

【図 26】波長選択フィルタ 101 におけるピッチと反射光のピーク波長との関係を説明するための図である。

【図 27】波長選択フィルタ 201 を説明するための図である。

【図 28】図 27 の一部を拡大した図である。

【図 29】波長選択フィルタ 201 の各層を説明するための図である。

【図 30】図 30 (A) ~ 図 30 (E) は、それぞれ波長選択フィルタ 201 の製造方法を説明するための図である。

【図 31】波長選択フィルタ 201 における入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

【図 32】波長選択フィルタ 201 における入射光の入射角と反射率との関係を説明するための図である。

40

【図 33】波長選択フィルタ 201 における各ピッチでの入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

【図 34】波長選択フィルタ 201 におけるピッチと反射光のピーク波長との関係を説明するための図である。

【図 35】波長選択フィルタ 301 を説明するための図である。

【図 36】波長選択フィルタ 301 の各層を説明するための図である。

【図 37】図 37 (A) ~ 図 37 (D) は、それぞれ波長選択フィルタ 301 の製造方法を説明するための図 (その 1) である。

【図 38】図 38 (A) ~ 図 38 (C) は、それぞれ波長選択フィルタ 301 の製造方法

50

を説明するための図（その２）である。

【図３９】波長選択フィルタ３０１における入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

【図４０】波長選択フィルタ３０１における入射光の入射角と反射率との関係を説明するための図である。

【図４１】波長選択フィルタ３０１における各ピッチでの入射光の波長と反射率との関係を説明するための図である。

【図４２】波長選択フィルタ３０１におけるピッチと反射光のピーク波長との関係を説明するための図である。

【図４３】波長選択フィルタの比較例１を説明するための図である。

10

【図４４】波長選択フィルタの比較例２を説明するための図である。

【図４５】波長選択フィルタの比較例３を説明するための図である。

【図４６】各波長選択フィルタの違いを説明するための図である。

【図４７】図４７（Ａ）～図４７（Ｃ）は、それぞれ保持部材の変形例を説明するための図である。

【図４８】本発明の一実施形態に係る屈折率センサの概略図である。

【符号の説明】

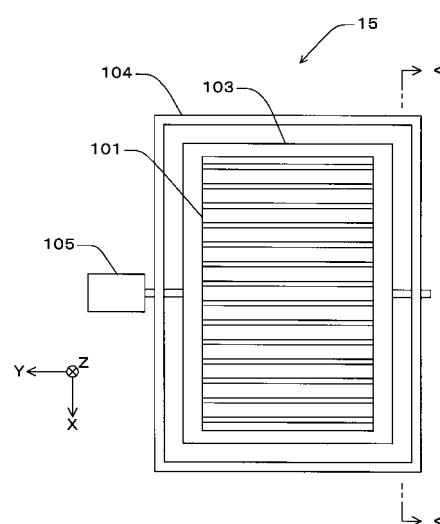
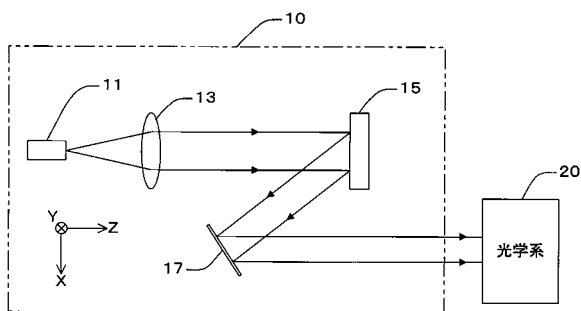
【０１２６】

１０…光源装置、１３…カップリングレンズ（光学素子）、１５…光学フィルタ装置（フィルタ装置）、２０…光学系、１０１…波長選択フィルタ、１０１ａ…基板、１０１ｂ…透明膜（第１の層、第２の層）、１０３…保持部材（回動機構の一部）、１０４…回動支持部材（回動機構の一部）、１０５…駆動機構（回動機構の一部）、２０１…波長選択フィルタ、３０１…波長選択フィルタ、３０１ｂ…透明物質（第３の層）、５００…屈折率センサ、５０１…光源、５０２…カップリングレンズ（第１の光学素子）、５０３…光学素子（第２の光学素子）、５０５…検出装置、６００…対象物。

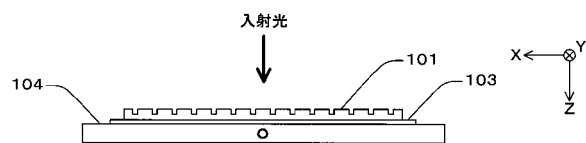
20

【図１】

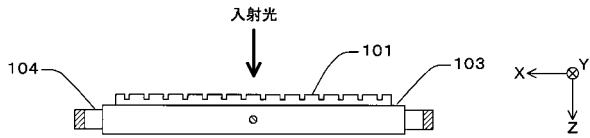
【図２】



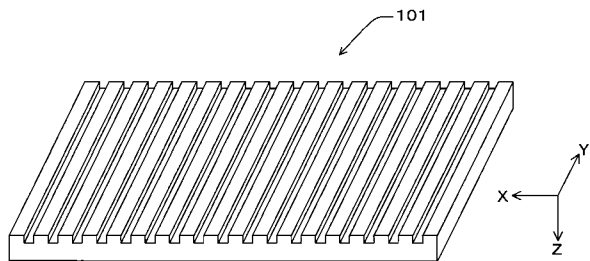
【図３】



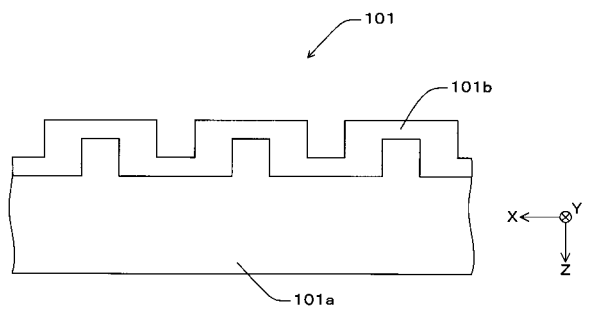
【図 4】



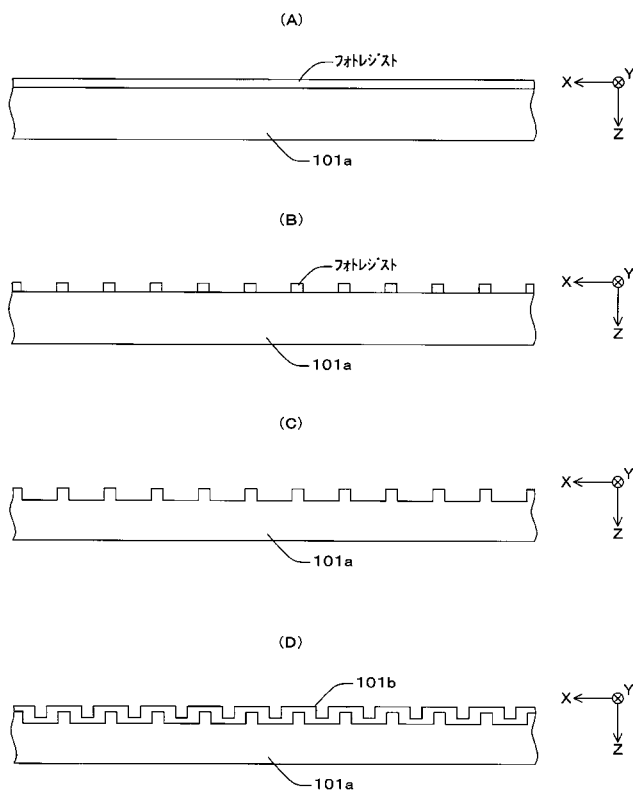
【図 5】



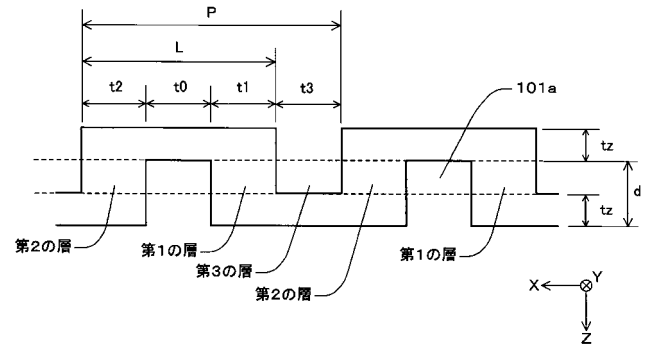
【図 6】



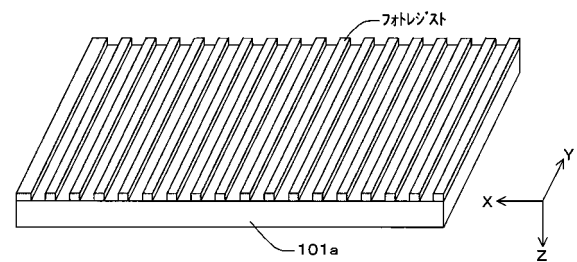
【図 8】



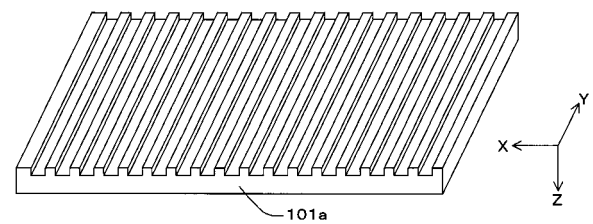
【図 7】



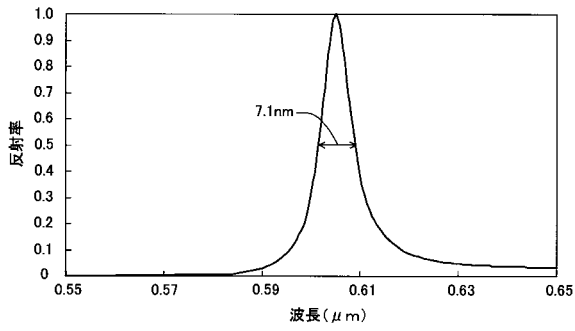
【図 9】



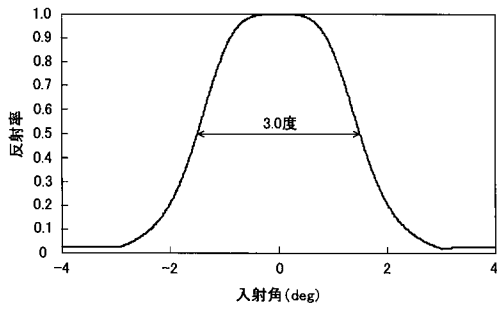
【図 10】



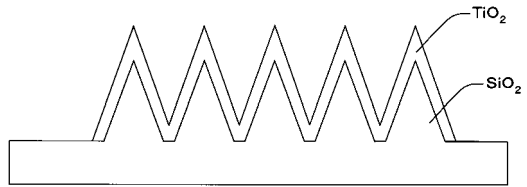
【図 1 1】



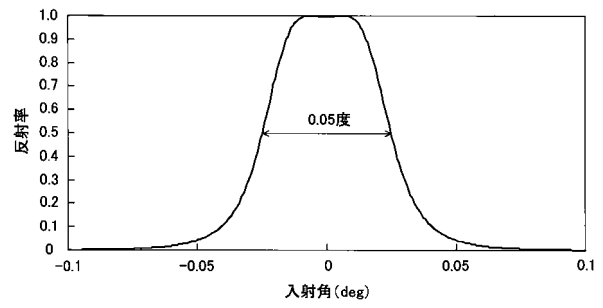
【図 1 2】



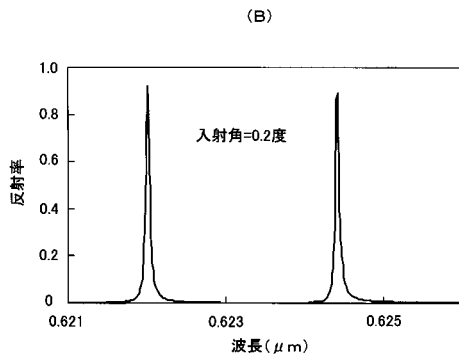
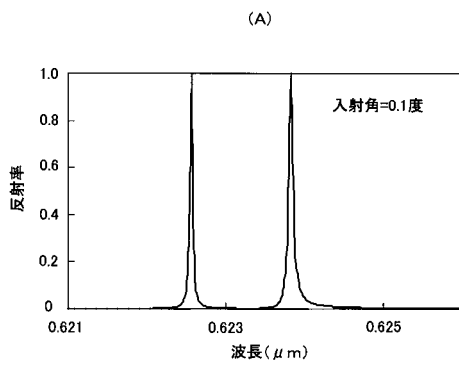
【図 1 3】



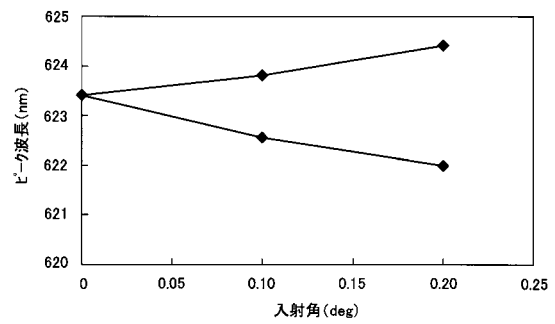
【図 1 4】



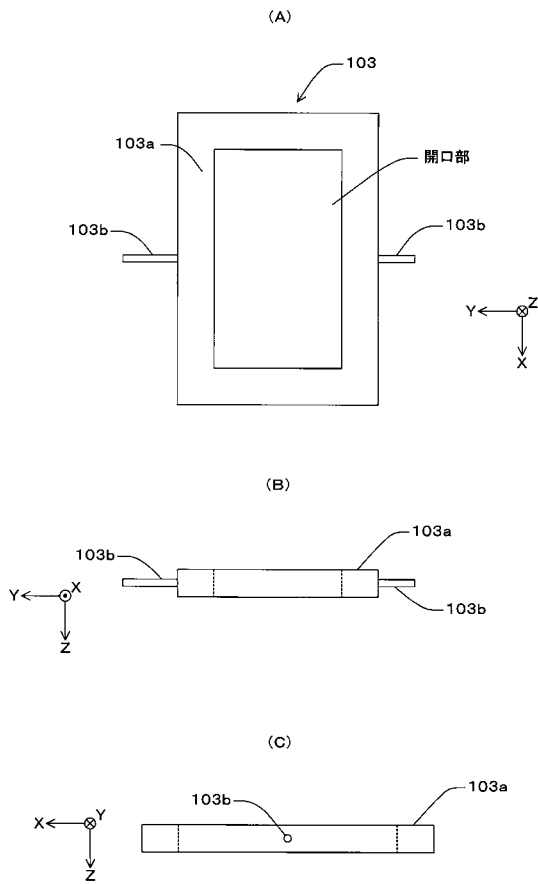
【図 1 5】



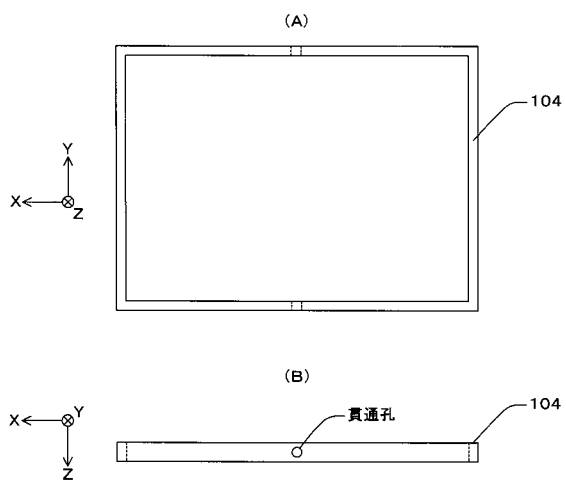
【図 1 6】



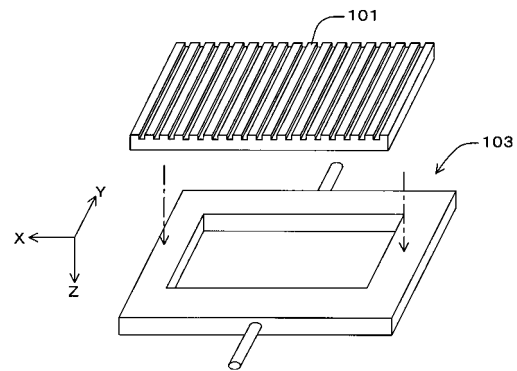
【図 17】



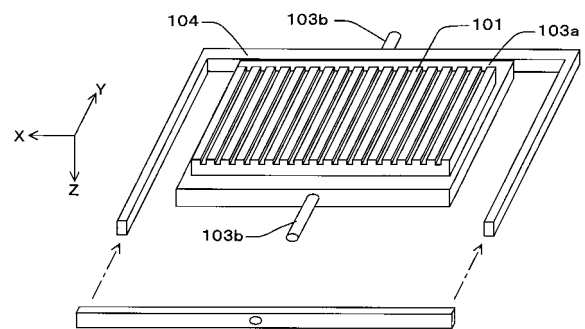
【図 19】



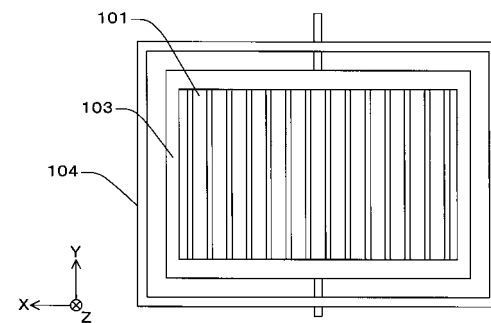
【図 18】



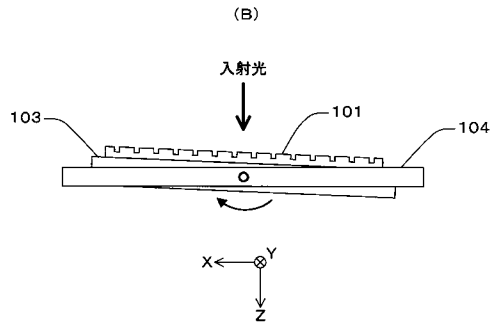
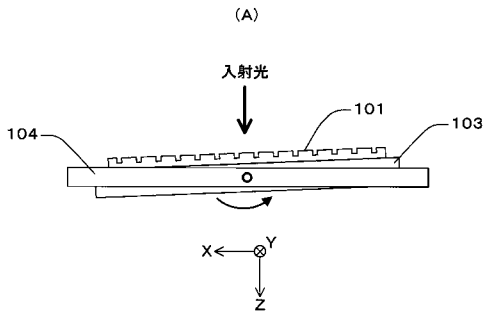
【図 20】



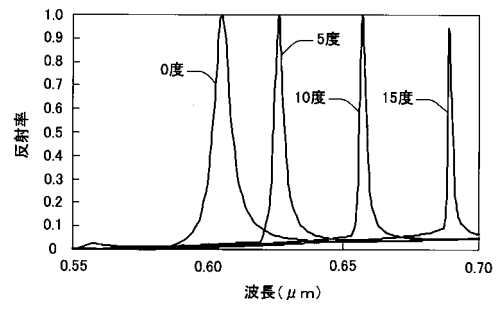
【図 21】



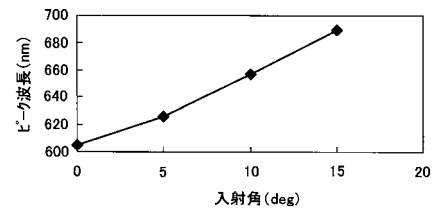
【図 2 2】



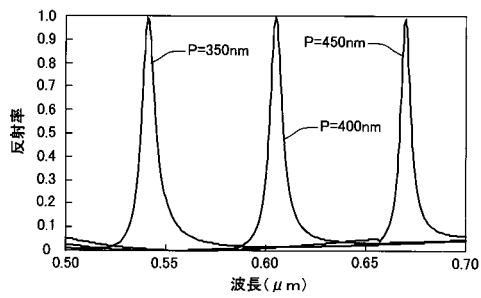
【図 2 3】



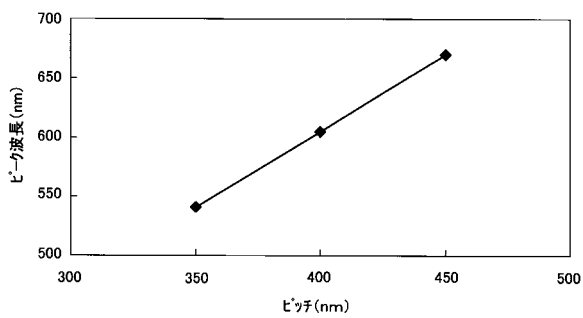
【図 2 4】



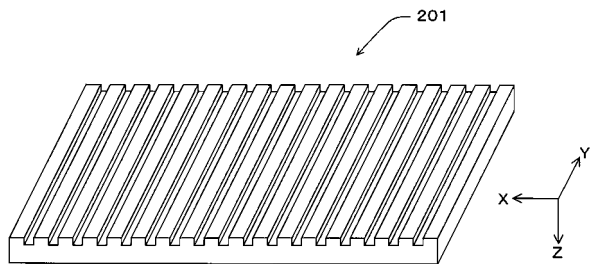
【図 2 5】



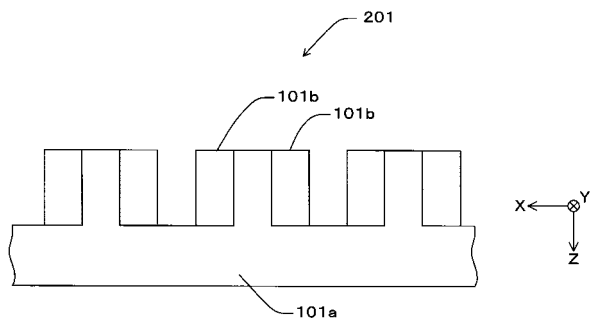
【図 2 6】



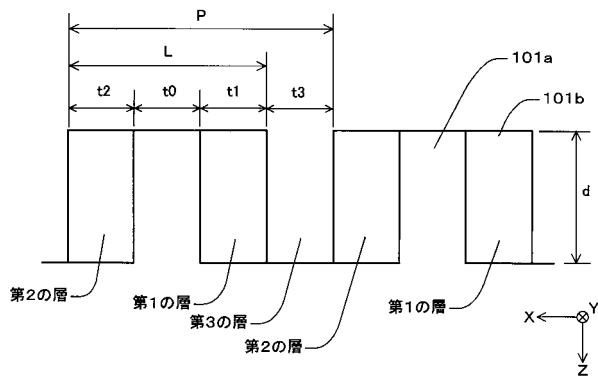
【図 2 7】



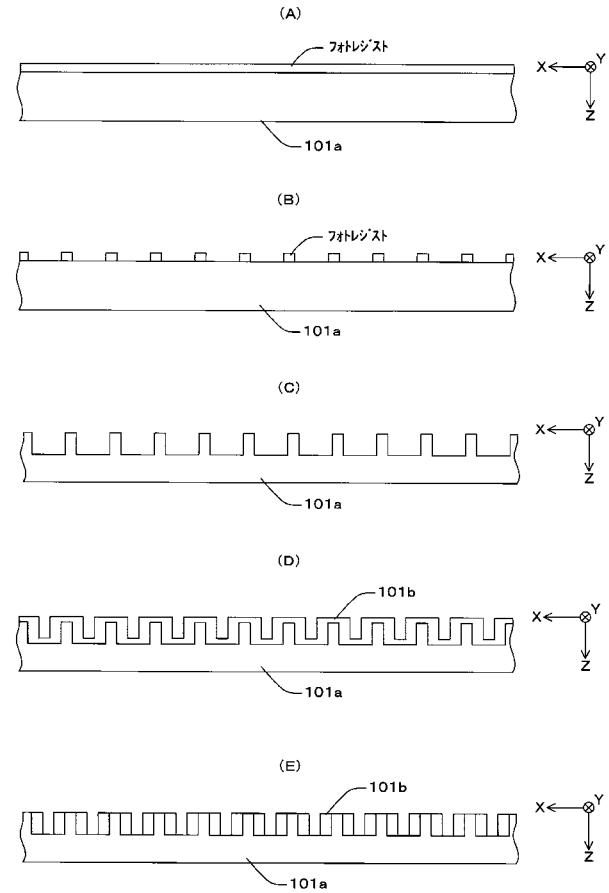
【図 2 8】



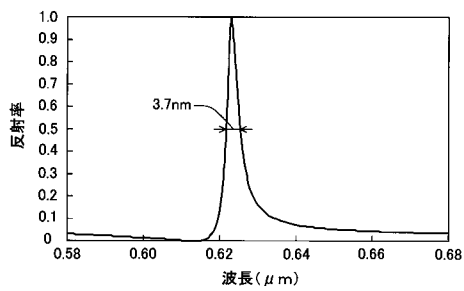
【図 29】



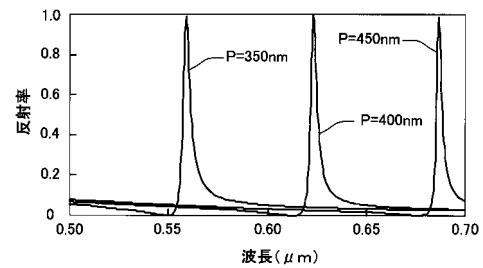
【図 30】



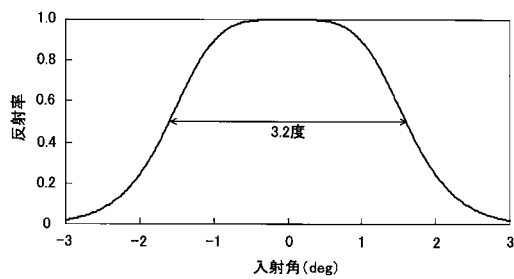
【図 31】



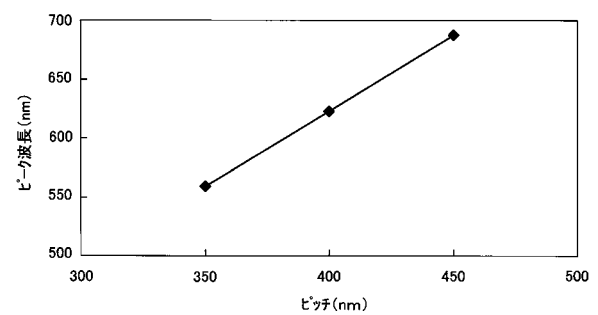
【図 33】



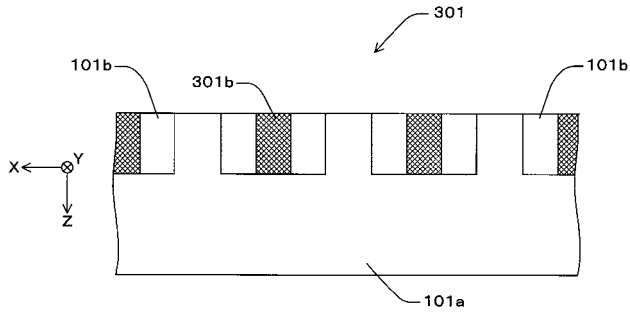
【図 32】



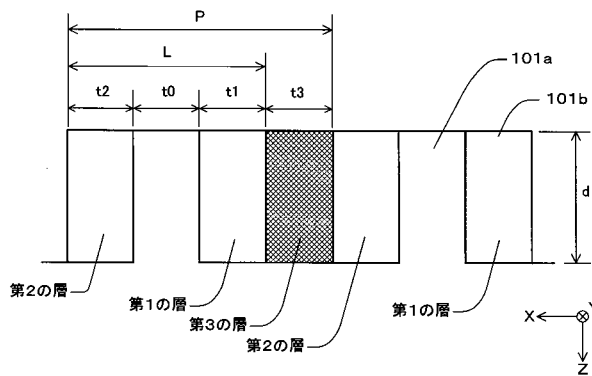
【図 34】



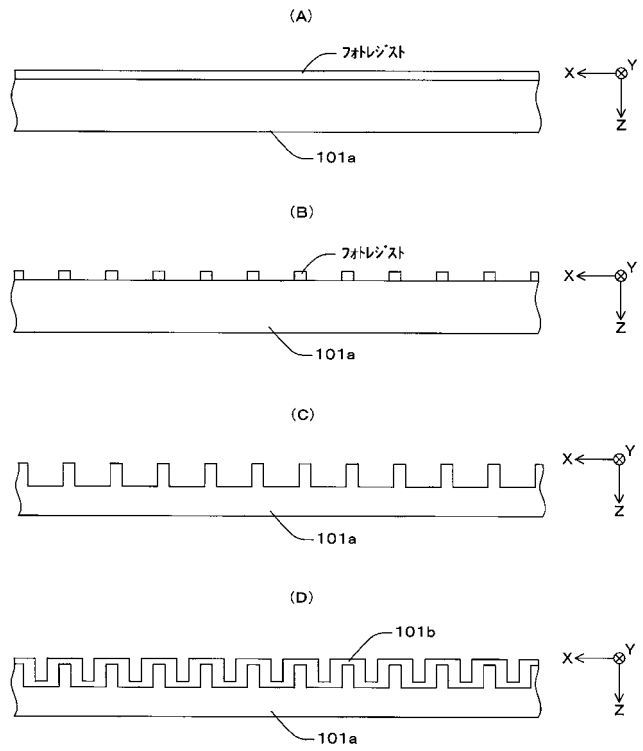
【図 35】



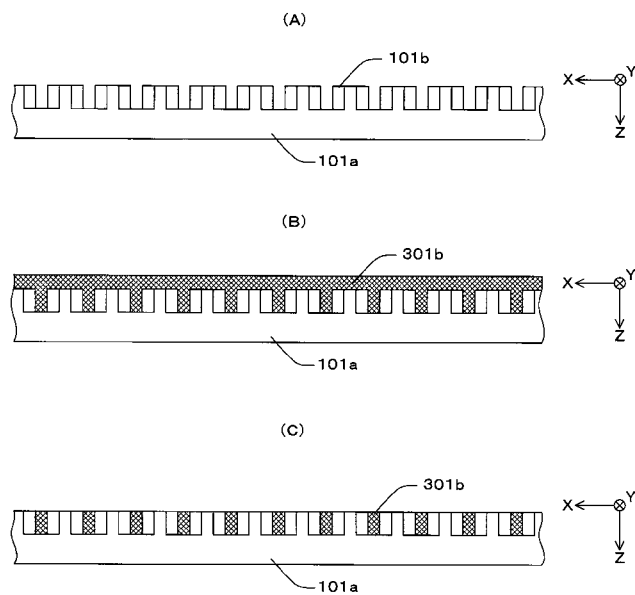
【図 36】



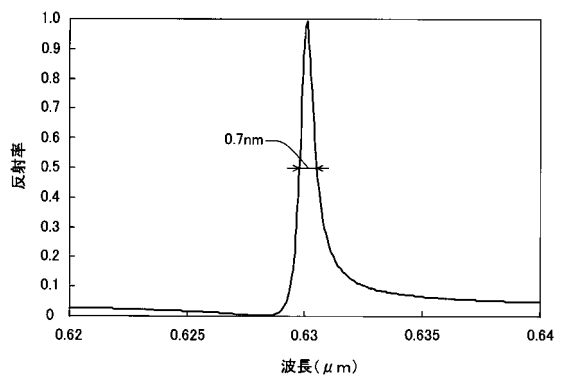
【図 37】



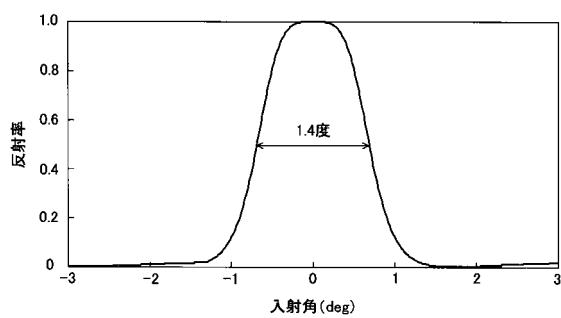
【図 38】



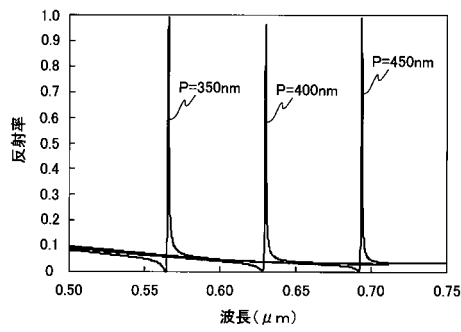
【図 39】



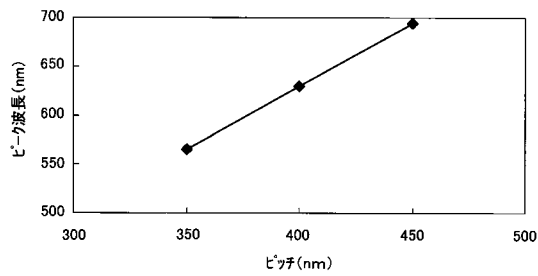
【図 40】



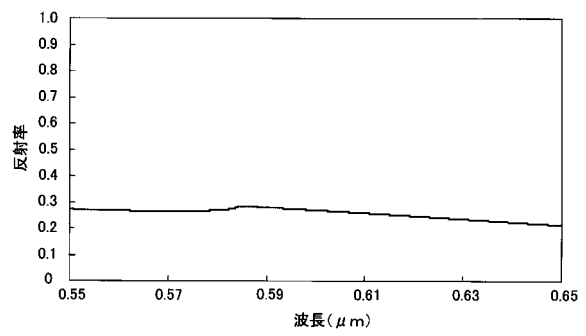
【図 4 1】



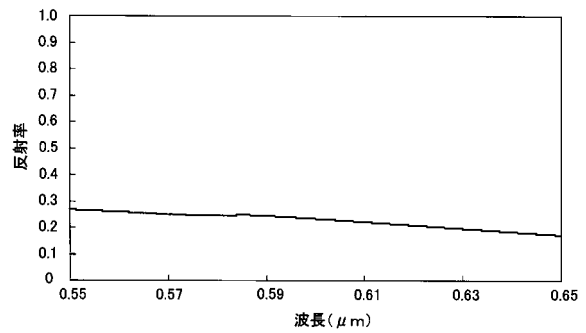
【図 4 2】



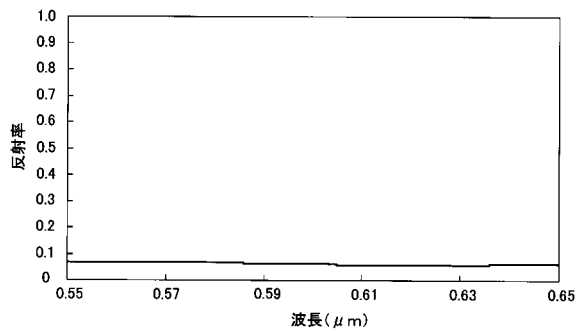
【図 4 3】



【図 4 4】



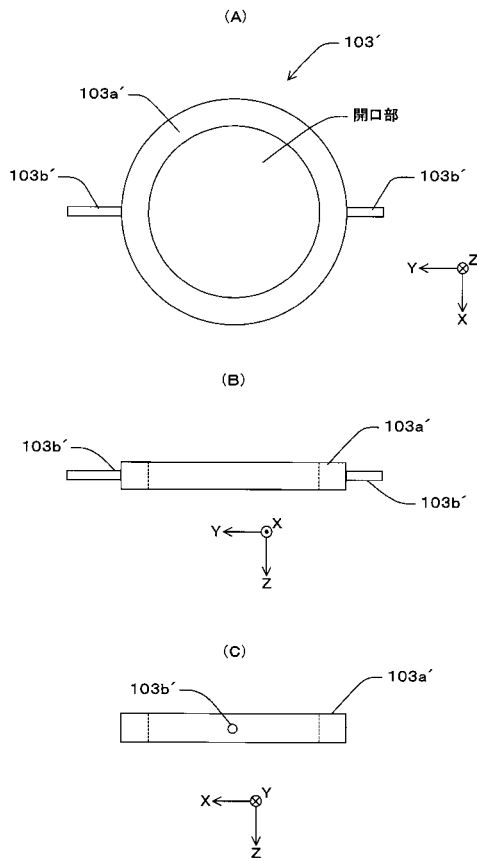
【図 4 5】



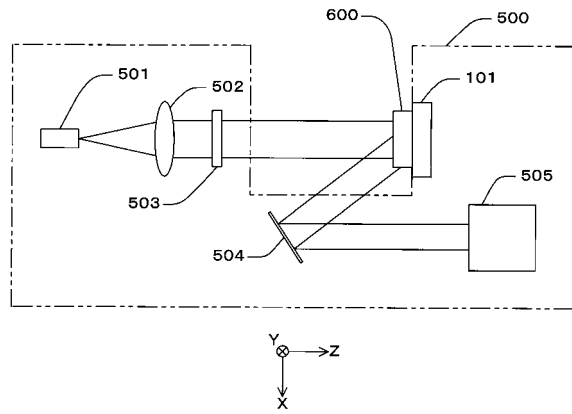
【図 4 6】

波長選択 744#	共振波長 (nm)	P (nm)	凹凸 形状	d (nm)	膜厚(nm)				屈折率				b ² -力波 半値幅(nm)	入射角 半値幅(deg)
					t0	t1	t2	t3	n0	n1	n2	n3		
101	605	400	矩形波	100	100	100	100	100	1.46	2.12	2.12	1	7.1(1.2%)	3.0
201	623	400	矩形波	200	100	100	100	100	1.46	2.12	2.12	1	3.7(0.6%)	3.2
301	630	400	矩形波	200	100	100	100	100	1.46	2.12	2.12	1.25	0.7(0.1%)	1.4
従来例	623.4		三角波						1.5	2.25	2.25	1	0.08	0.05

【図 47】



【図 48】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H048 FA05 FA15 FA22 FA24 GA04 GA09 GA13 GA24
2H249 AA07 AA13 AA50 AA51 AA55