

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4781648号  
(P4781648)

(45) 発行日 平成23年9月28日(2011.9.28)

(24) 登録日 平成23年7月15日(2011.7.15)

(51) Int. Cl.			F I		
<b>GO2B</b>	<b>6/122</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B	6/12	A
<b>GO2F</b>	<b>1/035</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2F	1/035	
<b>GO2F</b>	<b>2/02</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2F	2/02	
<b>HO1S</b>	<b>3/06</b>	<b>(2006.01)</b>	HO1S	3/06	A

請求項の数 19 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2004-254814 (P2004-254814)	(73) 特許権者	503249810
(22) 出願日	平成16年9月1日(2004.9.1)		株式会社 光コム
(65) 公開番号	特開2005-326802 (P2005-326802A)		東京都千代田区神田小川町3丁目11番地
(43) 公開日	平成17年11月24日(2005.11.24)	(74) 代理人	100067736
審査請求日	平成19年8月20日(2007.8.20)		弁理士 小池 晃
(31) 優先権主張番号	特願2004-119457 (P2004-119457)	(74) 代理人	100086335
(32) 優先日	平成16年4月14日(2004.4.14)		弁理士 田村 榮一
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100096677
			弁理士 伊賀 誠司
		(74) 代理人	100106781
			弁理士 藤井 稔也
		(74) 代理人	100113424
			弁理士 野口 信博
		(74) 代理人	100116126
			弁理士 山口 茂

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光共振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、

上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記共振手段により共振された光を伝搬させる光導波路と、

上記光導波路を上面から形成させるための基板と、

上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、

上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなること

を特徴とする光共振器。

【請求項2】

上記端面保護手段は、上記形成される平面の略中心に上記光導波路における光入射端又は光出射端が位置するように配設されることを特徴とする請求項1記載の光共振器。

【請求項3】

上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記形成される平面の全てに亘り被着されてなることを特徴とする請求項1記載の光共振器。

【請求項4】

10

20

上記端面保護手段を構成する部材は上記基板と同じ材質からなり、また、上記平面を形成する上記部材の端面並びに上記基板の端面は、互いに同一の結晶方位を有することを特徴とする請求項 1 記載の光共振器。

【請求項 5】

上記端面保護手段は、上記形成される平面が上記光導波路に対して略垂直となるように配設されることを特徴とする請求項 1 記載の光共振器。

【請求項 6】

上記端面保護手段は、上記部材における一の端面が上記光導波路における光入射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように、また上記部材における他の端面が上記光導波路における光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように、上記光導波路の上部に配設されることを特徴とする請求項 1 記載の光共振器。

10

【請求項 7】

上記光導波路は、光の伝搬方向の結晶長が、27mm 程度であることを特徴とする請求項 1 記載の光共振器。

【請求項 8】

上記光導波路は、 $f_{FSR}$  (Free Spectral Range) が 2.5GHz 程度となる光の伝搬方向の結晶長としたことを特徴とする請求項 1 記載の光共振器。

【請求項 9】

所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、

互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、

20

上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段により共振された光の位相を変調する光導波路と、

上記光導波路を上面から形成させるための基板と、

上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、

上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなること

30

を特徴とする光共振器。

【請求項 10】

上記基板の上記各端面の間隔  $L$  は、

$$L = c / 2 n_g f_{FSR} - c_g / n_g$$

( $c$  は真空中の光速、 $n_g$  は上記光導波路の群屈折率、 $f_{FSR}$  は上記変調手段の FSR (Free Spectral Range)、 $c_g$  は入射側反射膜及び出射側反射膜の群遅延時間の平均値) であることを特徴とする請求項 9 記載の光変調器。

【請求項 11】

電気信号を検出するための検出手段と、

互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、

40

上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記検出手段により検出された電気信号の波長に応じて上記共振手段により共振された光の位相を変調する光導波路と、

上記光導波路を上面から形成させるための基板と、

上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、

上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなること

50

を特徴とする光変調器。

【請求項 1 2】

所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、

互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、

上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段により共振された光の位相を変調し、上記入射された光の周波数を中心としたサイドバンドを上記変調信号の周波数の間隔で生成する光導波路と、

上記光導波路を上面から形成させるための基板と、

上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、

上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなること

を特徴とする光周波数コム発生器。

【請求項 1 3】

上記共振手段により共振された光のうち上記入射側反射膜を介して外部へ透過した光を反射させる反射鏡をさらに備えることを特徴とする請求項 1 2 記載の光周波数コム発生器。

【請求項 1 4】

互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光、又はレーザ増幅により発生された光を共振させる共振手段と、

上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記共振手段により共振された光を増幅させるとともに、これを出射側反射膜を介して外部へ出射させる光導波路と、

上記光導波路を上面から形成させるための基板と、

上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、

上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなること

を特徴とする光発振器。

【請求項 1 5】

上記光導波路は、上記入射側反射膜を介して入射された光を吸収して媒質固有の光の波長に対して増幅特性を有する媒質が拡散されてなることを特徴とする請求項 1 4 記載の光発振器。

【請求項 1 6】

上記光導波路は、非線形光学結晶からなることを特徴とする請求項 1 4 記載の光発振器。

【請求項 1 7】

所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、

互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光、又はレーザ増幅により発生された光を共振させる共振手段と、

上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段により共振された光を増幅させるとともに、これを出射側反射膜を介して外部へ出射させる光導波路と、

上記光導波路を上面から形成させるための基板と、

上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成す

10

20

30

40

50

るように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、

上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなり、レーザ発振する多モード間の位相同期をとること

を特徴とする光発振器。

【請求項 18】

上記光導波路は、自身の電気光学効果に基づいて、レーザ発振する多モード間の位相同期をとり、

上記発振手段は、上記共振手段の FSR (Free Spectral Range) の整数倍の周波数からなる変調信号を発振すること

を特徴とする請求項 17 記載の光発振器。

【請求項 19】

互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜を貫通するように形成された光導波路により、上記入射側反射膜を介して入射された光を共振させる光共振器の作製方法において、

上記光導波路を基板の上面から形成する光導波路形成工程と、

少なくとも上記光導波路形成工程において形成した光導波路を被覆するように上記基板上にバッファ層を積層する積層工程と、

上記光導波路に対して電界を印加するための電極を上記積層工程において積層したバッファ層上に形成する電極形成工程と、

上記基板と同じ硬さを持つ部材を、少なくともその一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設する配設工程と、

上記配設工程において配置した上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより平面を形成する研磨する研磨工程と、

上記研磨工程において形成された上記平面上に上記入射側反射膜又は上記出射側反射膜を被着させる反射膜被着工程とを有すること

を特徴とする光共振器の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信、光CT、光周波数標準器など多波長でコヒーレンス性の高い標準光源、又は、各波長間のコヒーレンス性も利用できる光源を必要とする分野に適用される光共振器、光変調器、光周波数コム発生器、光発振器、並びにその光共振器の作製方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光周波数を高精度に測定する場合には、測定する光を他の光と干渉させ、発生する光ビート周波数の電気信号を検出するヘテロダイン検波を行う。このヘテロダイン検波において測定可能な光の帯域は、検波系に使用される受光素子の帯域に制限され、概ね数十GHz程度である。

【0003】

一方、近年の光エレクトロニクスの発展に伴い、周波数多重通信のための光制御や、広範囲に分布する吸収線の周波数測定を行うため、光の測定可能帯域を更に拡大する必要がある。

【0004】

かかる測定可能帯域の拡大化の要請に応えるべく、従来において光周波数コム発生器（例えば、特許文献1参照。）を用いた広帯域なヘテロダイン検波系が提案されている。この光周波数コム発生器は、周波数軸上で等間隔に配置された櫛状のサイドバンドを広帯域にわたり発生させるものであり、このサイドバンドの周波数安定度は、入射光の周波数安定度とほぼ同等である。この生成したサイドバンドと被測定光をヘテロダイン検波するこ

10

20

30

40

50

とにより、数THzに亘る広帯域なヘテロダイン検波系を構築することが可能となる。

【0005】

図15は、この従来における光周波数コム発生器3の原理的な構造を示している。

【0006】

この光周波数コム発生器3は、光位相変調器31と、この光位相変調器31を介して互いに対向するように設置された反射鏡32,33を備える光共振器100が使用されている。

【0007】

この光共振器100は、反射鏡32を介して僅かな透過率で入射した光 $L_{in}$ を、反射鏡32,33間で共振させ、その一部の光 $L_{out}$ を反射鏡33を介して出射させる。光位相変調器31は、電界を印加することにより屈折率が変化する光位相変調のための電気光学結晶からなり、この光共振器100を通過する光に対して、電極36に印加される周波数 $f_m$ の電気信号に応じて位相変調をかける。

【0008】

この光周波数コム発生器3において、光が光共振器100内を往復する時間に同期した電気信号を電極36から光位相変調器31へ駆動入力することにより、光位相変調器31を1回だけ通過する場合に比べ、数十倍以上の深い位相変調をかけることが可能となる。これにより、高次のサイドバンドを数百本生成することができ、隣接したサイドバンドの周波数間隔 $f_m$ は全て入力された電気信号の周波数 $f_m$ と同等になる。

【0009】

また、従来における光周波数コム発生器は、上述のバルク型に限定されるものではない。例えば図16に示すように、導波路を用いた導波路型光周波数コム発生器200にも適用可能である。

【0010】

この導波路型光周波数コム発生器20は、導波路型光変調器200から構成される。導波路型光変調器200は、基板201と、導波路202と、電極203と、入射側反射膜204と、出射側反射膜205と、発振器206とを備える。

【0011】

基板201は、例えば引き上げ法により育成された3~4インチ径の $LiNbO_3$ やGaAs等の大型結晶をウェハ状に切り出したものである。この切り出した基板201上には、機械研磨や化学研磨等の処理を施す。

【0012】

導波路202は、光を伝搬させるために配されたものであり、導波路202を構成する層の屈折率は、基板201等の他層よりも高く設定されている。導波路202に入射した光は、導波路202の境界面で全反射しながら伝搬する。一般に、この導波路202は、基板201中においてTi原子を拡散させることにより、或いは基板201上へのエピタキシャル成長させることにより作製することができる。

【0013】

なお、この導波路202として、 $LiNbO_3$ 結晶光導波路を適用してもよい。この $LiNbO_3$ 結晶光導波路は、 $LiNbO_3$ 等からなる基板201表面にTiを拡散させることにより形成することができる。この $LiNbO_3$ 結晶光導波路を実際に作製する場合には、先ずこの基板201の表面にフォトレジストのパターンを作製し、そこにTiを蒸着させ、さらにこのフォトレジストを除去することにより、ミクロンサイズの幅で構成されるTiの細線を作製する。次に、このTiの細線を加熱することにより、これを基板201中に熱拡散させる。

【0014】

ちなみに、このTiが $LiNbO_3$ からなる基板201中に熱拡散されると、かかるTiが拡散された領域については他の領域よりも屈折率が高くなる場所、光を閉じ込めることができることになる。即ち、かかるTiが拡散された領域につき光を伝搬させることができる導波路202が形成されることになる。このような方法に基づいて作製したLi

10

20

30

40

50

$\text{NbO}_3$  結晶型の導波路 202 は電気光学効果を有するため、これに対して電界を印加することにより屈折率を変化させることができる。

【0015】

電極 203 は、例えば Al や Cu、Pt、Au 等の金属材料からなり、外部から供給された周波数  $f_m$  の電気信号を導波路 202 に駆動入力する。また、導波路 202 における光の伝搬方向と変調電界の進行方向は同一となる。この電極 203 の幅や厚さを調整することにより、導波路 202 を伝搬する光の速度と電極 203 上を伝搬する電気信号の速度を一致させるようにしてもよい。これにより、導波路 202 を伝搬する光が感じる電気信号の位相を一定に保つことが可能となる。

【0016】

入射側反射膜 204 及び出射側反射膜 205 は、導波路 202 に入射した光を共振させるため設けられたものであり、導波路 202 を通過する光を往復反射させることにより共振させる。発振器 206 は、電極 203 に接続され、周波数  $f_m$  の電気信号を供給する。

【0017】

入射側反射膜 204 は、導波路型光変調器 200 の光入射側に配され、図示しない光源から周波数  $\omega_1$  の光が入射される。また、この入射側反射膜 204 は、出射側反射膜 205 により反射されて、かつ導波路 202 を通過した光を反射する。

【0018】

出射側反射膜 205 は、導波路型光変調器 200 の光出射側に配され、導波路 202 を通過した光を反射する。またこの出射側反射膜 205 は、導波路 202 を通過した光を一定の割合で外部に出射する。

【0019】

上述の構成からなる導波路型光周波数コム発生器 20 において、光が導波路 202 内を往復する時間に同期した電気信号を電極 203 から導波路型光変調器 200 へ駆動入力とすることにより、光位相変調器 111 を 1 回だけ通過する場合に比べ、数十倍以上の深い位相変調をかけることが可能となる。これにより、バルク型光周波数コム発生器 10 と同様に、広帯域にわたるサイドバンドを有する光周波数コムを生成することができ、隣接したサイドバンドの周波数間隔は、全て入力された電気信号の周波数  $f_m$  と同等になる。

【0020】

この導波路型光周波数コム発生器 20 の特徴は、光と電気信号の相互作用領域がより小さいことにある。光は周囲より屈折率が高いマイクロンオーダの導波路 202 に閉じ込められて伝搬することになるため、導波路 202 の極近傍に電極 203 を取り付けることにより、導波路 202 中の電界強度を局所的に高めることが可能となる。従って、バルク型の光周波数コム発生器 3 と比較して導波路 202 に生じる電気光学効果が大きくなり、少ない電力で大きな変調を得ることが可能となる。

【0021】

【特許文献 1】特開 2003 - 202609 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

しかしながら、上述した従来の導波路型光周波数コム発生器 20 は、導波路 202 の構造上、入射側反射膜 204 及び出射側反射膜 205 の被着並びにこれらが被着される端面の研磨が困難であり、高いフィネスの共振器を再現性良く作ることが難しかった。導波路型光周波数コム発生器 20 の性能を高めるためには、これら入射側反射膜 204 及び出射側反射膜 205 で構成される共振器のフィネスを高めることが不可欠となる。導波路 202 における往路方向又は復路方向のみの変調指数が高くて、フィネスそのものが低い場合には、光の往復回数を増加させることができないため、広帯域に亘り高強度のサイドバンドを発生させることができないからである。

【0023】

また図 17 は、導波路型光周波数コム発生器 20 における、入射側反射膜 204 が形成

10

20

30

40

50

されている端面を示している。この図17によれば、基板201の上端に導波路202が形成され、その上に薄いパツファ層が積層されてなり、その上において更に電極203が形成されている。即ち、この導波路202は、導波路型光周波数コム発生器20の端面最上部の角に位置している。この端面最上部の角は、尖っているため研磨時に図17に示すように欠けが生じてしまう場合が多い。端面最上部に欠けが生じると、共振すべき光が散乱されて損失となる。

【0024】

また、端面研磨の状態によっては、端面最上部における角の欠けに至らなくても、角が丸くなる場合がある。角が丸くなると反射された光の一部が導波路202の導波モードから外れ、損失となる。

10

【0025】

また、ごく稀に端面最上部における角の欠けが発生せず、また角が丸くならない状態で研磨することができる場合もあるが、かかる場合においても、端面に入射側反射膜204を形成させる際に問題が発生する。入射側反射膜204等の高反射膜は、通常、屈折率の高い膜と低い膜を交互に堆積することによって作製されるが、端面最上部における角の部分は、膜そのものが剥がれやすく、また高反射膜の材料が端面から側面へ回り込むことにより膜厚が変化する結果、設計通りの膜厚に制御することができないという問題点もある。

【0026】

即ち、従来の導波路型光周波数コム発生器20における問題点をまとめると、以下のとおりになる。

20

【0027】

先ず、導波路202の端面が上述の如き端面最上部の角に位置することから、1)導波路202の端面の角が加工時に欠けやすい、2)導波路202の端面の角が加工時に丸くなることがある、3)導波路202の端面に形成された反射膜が、端面最上部の角の部分で剥がれやすくなる、4)導波路202の端面に形成された反射膜が、端面最上部の角の部分から回り込む結果、設計通りの膜厚に制御することができない、という問題点があった。

【0028】

これらの問題は、導波路202の端面に被着される反射膜の反射率低下、入射側反射膜204及び出射側反射膜205で構成される共振器のフィネス低下、導波路型光周波数コム発生器20自身の機能の低下等を招く。

30

【0029】

更に、これら1)~4)の問題点は、作製環境に依存するため、導波路型光周波数コム発生器20や、これを適用した導波路型のファブリペロー共振器の性能における再現性を担保することができず、歩留まりを向上させることができなかった。

【0030】

そこで、本発明は、上述した問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的とするところは、導波路端面の角の加工時における欠けや丸まりを抑え、各反射膜につき端面最上部の角の部分で剥がれることなく安定して被着させることにより、反射膜の反射率や共振器のフィネスを向上させ、デバイスそのものの機能を高めた光共振器、光変調器、光周波数コム発生器、光発振器を提供することにあり、またかかる機能を有する光共振器の作製方法を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0031】

本発明に係る光共振器は、上述した問題点を解決するために、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記共振手段により共振された光を伝搬させる光導波路と、上記光導波路を上面から形成させるための基板と、上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なく

50

とも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなる。

【0032】

本発明に係る光変調器は、上述した問題点を解決するために、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段により共振された光の位相を変調する光導波路と、上記光導波路を上面から形成させるための基板と、上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなる。

10

【0033】

本発明に係る光変調器は、上述した問題点を解決するために、電気信号を検出するための検出手段と、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記検出手段により検出された電気信号の波長に応じて上記共振手段により共振された光の位相を変調する光導波路と、上記光導波路を上面から形成させるための基板と、上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなる。

20

【0034】

本発明に係る光周波数コム発生器は、上述した問題点を解決するために、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光を共振させる共振手段と、上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段により共振された光の位相を変調し、上記入射された光の周波数を中心としたサイドバンドを上記変調信号の周波数の間隔で生成する光導波路と、上記光導波路を上面から形成させるための基板と、上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなる。

30

【0035】

本発明を適用した光発振器は、上述した問題点を解決するために、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光、又はレーザ増幅により発生された光を共振させる共振手段と、上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記共振手段により共振された光を増幅させるとともに、これを出射側反射膜を介して外部へ出射させる光導波路と、上記光導波路を上面から形成させるための基板と、上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなる。

40

【0036】

50

本発明を適用した光発振器は、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜より構成され、入射側反射膜を介して入射された光、又はレーザ増幅により発生された光を共振させる共振手段と、上記入射側反射膜から上記出射側反射膜にかけて貫通するように形成され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段により共振された光を増幅させるとともに、これを出射側反射膜を介して外部へ出射させる光導波路と、上記光導波路を上面から形成させるための基板と、上記基板と同じ硬さを持つ部材から構成され、上記部材における少なくとも一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設される端面保護手段とを備え、上記入射側反射膜並びに上記出射側反射膜は、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成される平面にそれぞれ被着されてなり、レーザ発振する多モード間の位相同期をとる。

10

【0037】

また、この光発振器における光導波路は、自身の電気光学効果に基づいて、レーザ発振する多モード間の位相同期をとり、発振手段は、上記共振手段のFSR (Free Spectral Range)の整数倍の周波数からなる変調信号を発振する。

【0038】

本発明を適用した光共振器の作製方法は、上述した問題点を解決するために、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜を貫通するように形成された光導波路により、互いに平行な入射側反射膜及び出射側反射膜を貫通するように形成された光導波路により、上記入射側反射膜を介して入射された光を共振させる光共振器の作製方法において、上記光導波路を基板の上面から形成する光導波路形成工程と、少なくとも上記光導波路形成工程において形成した光導波路を被覆するように上記基板上にパッファ層を積層する積層工程と、上記光導波路に対して電界を印加するための電極を上記積層工程において積層したパッファ層上に形成する電極形成工程と、上記基板と同じ硬さを持つ部材を、少なくともその一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設する配設工程と、上記配設工程において配置した上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより平面を形成する研磨工程と、上記研磨工程において形成された上記平面上に上記入射側反射膜又は上記出射側反射膜を被着させる反射膜被着工程とを有する。

20

【発明の効果】

30

【0039】

本発明では、光導波路を上面から形成させるための基板と同じ硬さを持つ部材を、少なくともその一の端面が上記光導波路における光入射端又は光出射端を含む上記基板の端面と同一の平面を形成するように上記光導波路の上部に配設し、上記部材の端面と上記基板の端面を研磨することにより形成された上記平面上に共振手段を構成する入射側反射膜並びに出射側反射膜を被着させるので、導波路端面の角の加工時における欠けや丸まりを抑え、各反射膜につき端面最上部の角の部分で剥がれることなく安定して被着させることができ、反射膜の反射率や共振器のフィネスを向上させ、デバイスそのものの機能を高めることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0040】

以下、本発明を実施するための最良の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0041】

本発明は、図1, 2に示す光変調器8に適用される。この光変調器8は、基板11と、基板11上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路12と、この基板11において導波路12を被覆するように積層されるパッファ層14と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路12の上面に設けられた電極83と、導波路12を介して互いに対向するように設けられた第1の端面84並びに第2の端面85と、第1の端面84と同一の平面を形成するように導波路12の上部に配設される第1の保護

50

材 8 6 と、第 2 の端面 8 5 と同一の平面を形成するように導波路 1 2 の上部に配設される第 2 の保護材 8 7 と、第 1 の端面 8 4 並びに第 1 の保護材 8 6 の端面 8 6 a との間で形成される平面 9 1 上に被着される入射側反射膜 9 3 と、第 2 の端面 8 5 並びに第 2 の保護材 8 7 の端面 8 7 a との間で形成される平面 9 2 上に被着される出射側反射膜 9 4 と、電極 8 3 の一端側に配設され周波数  $f_m$  の変調信号を発振する発振器 1 6 と、電極 8 3 の他端側に配設される終端抵抗 1 8 とを備えている。

【 0 0 4 2 】

基板 1 1 は、例えば引き上げ法により育成された 3 ~ 4 インチ径の  $\text{LiNbO}_3$  や  $\text{GaAs}$  等の大型結晶をウェハ状に切り出したものである。この切り出した基板 1 1 上には、機械研磨や化学研磨等の処理を施す。

【 0 0 4 3 】

導波路 1 2 は、入射側反射膜 9 3 から出射側反射膜 9 4 にかけて貫通するように形成され、共振された光を伝搬させるべく形成されている。この導波路 1 2 を構成する層の屈折率は、基板 1 1 等の他層よりも高く設定されている。導波路 1 2 に入射した光は、導波路 1 2 の境界面で全反射しながら伝搬する。一般に、この導波路 1 2 は、基板 1 1 中において  $\text{Ti}$  原子を拡散させることにより、或いは基板 1 1 上へのエピタキシャル成長させることにより作製することができる。

【 0 0 4 4 】

なお、この導波路 1 2 として、 $\text{LiNbO}_3$  結晶光導波路を適用してもよい。この  $\text{LiNbO}_3$  結晶光導波路は、 $\text{LiNbO}_3$  等からなる基板 1 1 表面に  $\text{Ti}$  を拡散させることにより形成することができる。この  $\text{Ti}$  が拡散された領域については他の領域よりも屈折率が高くなるところ、光を閉じ込めることができるため、光を伝搬させることができる導波路 1 2 を形成することができる。このような方法に基づいて作製した  $\text{LiNbO}_3$  結晶型の導波路 1 2 は、屈折率が電界に比例して変化するポッケルス効果や、屈折率が電界の自乗に比例して変化するカー効果等の電気光学効果を有するため、かかる物理現象を利用して光の変調を行うことができる。

【 0 0 4 5 】

バッファ層 1 4 は、導波路 1 2 における光の伝搬損失を抑えるべくこれを被覆するものである。ちなみに、このバッファ層 1 4 の膜厚をあまりに厚くし過ぎると、電界強度が下がり、変調効率が低下するため、光の伝搬損失が大きくなり範囲においてなるべく膜厚を薄く設定するようにしてもよい。

【 0 0 4 6 】

電極 8 3 は、例えば  $\text{Ti}$  や  $\text{Pt}$ 、 $\text{Au}$  等の金属材料からなり、発振器 1 6 から供給された周波数  $f_m$  の変調信号を導波路 1 2 に駆動入力することにより、導波路 1 2 内を伝搬する光に位相変調をかける。

【 0 0 4 7 】

第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 は、それぞれ基板 1 1 の材質に対応する部材から構成される。第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 は、基板 1 1 と同一の材質から構成してもよい。また上記平面 9 1 を形成する第 1 の保護材 8 6 の端面 8 6 a と第 1 の端面 8 4 とが、互いに同一の結晶方位を有するように加工されていてもよく、同様に上記平面 9 2 を形成する第 2 の保護材 8 7 の端面 8 7 a と第 2 の端面 8 5 とが、互いに同一の結晶方位を有するように加工されていてもよい。

【 0 0 4 8 】

入射側反射膜 9 3 及び出射側反射膜 9 4 は、導波路 1 2 に入射した光を共振させるために互いに平行となるように設けられたものであり、導波路 1 2 を通過する光を往復反射させることにより共振させる共振器 5 を構成する。

【 0 0 4 9 】

入射側反射膜 9 3 は、図示しない光源から周波数  $\omega_1$  の光が入射される。また、この入射側反射膜 9 3 は、出射側反射膜 9 4 により反射されて、かつ導波路 1 2 を通過した光を反射する。出射側反射膜 9 4 は、導波路 1 2 を通過した光を反射する。またこの出射側反

10

20

30

40

50

射膜 9 4 は、導波路 1 2 を通過した光を一定の割合で外部に出射する。

【 0 0 5 0 】

なお、これら入射側反射膜 9 3 及び / 又は出射側反射膜 9 4 は、それぞれ平面 9 1 , 9 2 一面に亘って形成されていてもよいが、導波路 1 2 の端部のみを最低限被覆するように形成されていればよい。

【 0 0 5 1 】

終端抵抗 1 8 は、電極 8 3 の終端に取り付けられる抵抗器であり、終端における電気信号の反射を防止することにより、その波形の乱れを防ぐ。

【 0 0 5 2 】

図 3 は、入射側反射膜 9 3 が形成される平面 9 1 上を図 2 中 A 方向から示している。

10

【 0 0 5 3 】

導波路 1 2 の光入射端を含む第 1 の端面 8 4 と保護材 8 6 の端面 8 6 a とにより、同一の平面 9 1 が形成されている。この形成される平面 9 1 は、傾き  $0.05^\circ$  以下である。この傾き  $0.05^\circ$  の平面 9 1 に対して、 $1/e^2$  ビーム径  $10\ \mu\text{m}$  の光が傾き  $0.05^\circ$  の端面で反射される場合における損失を計算すると、 $4 \times 10^{-4}$  であり、入射側反射膜 9 3 の反射率と比較して無視できるほど小さい。

【 0 0 5 4 】

このように第 1 の端面 9 1 並びに第 2 の端面 9 2 を導波路 1 2 に対して略垂直に形成させることにより、これに被着される入射側反射膜 9 3 並びに出射側反射膜 9 4 により光を効率よく共振させることができる。

20

【 0 0 5 5 】

上述の如き構成からなる光変調器 8 において、入射側反射膜 9 3 を介して外部から入射された光は導波路 1 2 内を往路方向へ伝搬し出射側反射膜 9 4 により反射されるとともに一部外部へ透過する。この出射側反射膜 9 4 を反射した光は導波路 1 2 内を復路方向へ伝搬して入射側反射膜 9 3 により反射される。これが繰り返されることにより、光は導波路 1 2 内を共振することになる。

【 0 0 5 6 】

また、光が導波路 1 2 内を往復する時間に同期した電気信号を電極 8 3 を介して駆動入力とすることにより、光がこの光変調器 8 内を 1 回だけ通過する場合と比較して、数十倍以上の深い位相変調をかけることが可能となる。また入射される光の周波数  $\omega_1$  を中心として、数百本ものサイドバンドを広帯域にわたり生成することができる。ちなみに、この生成される各サイドバンドの周波数間隔は、全て入力された電気信号の周波数  $f_m$  と同等である。このため、光変調器 8 は、多数のサイドバンドにより構成される光周波数コム発生器としても適用可能となる。

30

【 0 0 5 7 】

次に、本発明を適用した光変調器 8 の作製方法につき図 4 を用いて説明をする。

【 0 0 5 8 】

まずステップ S 1 1 において、 $\text{LiNbO}_3$  結晶からなる基板 1 1 の表面にフォトレジストのパターンを作製し、そこに Ti を蒸着させる。次にこのフォトレジストを除去することにより、ミクロンサイズの幅で構成される Ti の細線を作製する。

40

【 0 0 5 9 】

次にステップ S 1 2 へ移行し、この Ti の細線が形成された基板 1 1 を加熱することにより、Ti 原子を基板 1 1 中に熱拡散させて導波路 1 2 を形成する。

【 0 0 6 0 】

なお、このステップ S 1 1、1 2 の導波路 1 2 の作製工程においては、Ti を熱拡散させる場合に限定されるものではなく、 $\text{LiNbO}_3$  結晶を安息香酸に浸すことにより Li を  $\text{H}^+$  に置換させるプロトン交換法にこれを代替してもよい。

【 0 0 6 1 】

次にステップ S 1 3 へ移行し、バッファ層 1 4 としての  $\text{SiO}_2$  薄膜を基板 1 1 表面に蒸着させる。このステップ S 1 3 では、 $\text{SiO}_2$  ウェハを基板 1 1 表面に貼り付ける方法

50

によりバッファ層 14 を形成させるようにしてもよい。かかる場合には、後述するステップ S 14 における電極の取り付け領域を考慮して、この蒸着させたバッファ層 14 を研磨することにより適当な膜圧に制御するようにしてもよい。

【0062】

次にステップ S 14 へ移行し、バッファ層 14 上に電極 83 を形成させる。次にステップ S 15 へ移行し、導波路 12 の上部において保護材 86, 87 を接着する。この保護材 86, 87 の接着方法については、接着剤で貼り付けるようにしてもよいし、他の手法に基づいて直接的に接合するようにしてもよい。この保護材 86, 87 は、基板 11 を  $\text{LiNbO}_3$  結晶で構成した場合には、同一材質としての  $\text{LiNbO}_3$  により構成してもよい。このステップ S 15 においては、貼り付けた保護材 86, 87 につき、それぞれ端面 86a, 87a が第 1 の端面 84, 第 2 の端面 85 との間で、それぞれ平面 91, 92 を形成することができるように、切り揃える。

10

【0063】

最後にステップ S 16 へ移行し、この得られた平面 91, 92 を研磨する。そしてこの研磨された平面 91, 92 上に入射側反射膜 93、出射側反射膜 94 をそれぞれ一面に亘って形成させる。ちなみに、このステップ S 16 においては、平面 91, 92 上に入射側反射膜 93、出射側反射膜 94 を最初に形成させ、次にこれを研磨するようにしてもよい。

【0064】

このように、本発明を適用した光変調器 8 では、各端部において保護材 86, 87 を貼り付けて構成するため、従来において、端面最上部の角に位置していた導波路の端面が図 3 に示すように平面 91 (92) の略中央部に移動する。その結果、ステップ S 16 における研磨時において平面 91 (92) の角が欠けた場合においても、導波路 12 の端面が欠けることがなくなる。即ち、導波路 12 の端面そのものが欠けにくくなる構成とすることが可能となる。これにより、導波路 12 の各端面からの光損失を極力抑えることが可能となる。

20

【0065】

また、保護材 86, 87 の材質を基板 11 の材質に対応する最適な材質で構成することにより、ステップ S 16 における研磨速度を基板 11 における第 1 の端面 84, 第 2 の端面 85 から端面 86a, 87a にかけて均一にすることができる。これにより、導波路 12 の端面が加工時に丸くなることがなくなり、平坦な研磨面からなる平面 91, 92 を得ることができ、導波路 12 端面における反射損失を最小限に抑えることが可能となる。また、各平面 91, 92 を構成する端面の結晶方位を同一にすることにより、反射損失を更に抑え込むことも可能となる。

30

【0066】

さらに、この保護材 86, 87 をあえて設けることにより、ステップ S 16 における研磨の精度が向上し、得られる平面 91 (92) の導波路 12 に対する垂直性も向上する。その結果、かかる垂直性の逸脱による光損失も最小限に抑えることが可能となる。

【0067】

また、この保護材 86, 87 を設けることにより、被着すべき入射側反射膜 93 並びに出射側反射膜 94 が平面 91, 92 から他の側面に回り込むことによる膜厚の変化を抑えることができる。このため、反射率を確保する上で重要となる導波路 12 の端面付近の膜厚を最適化することができ、反射率をより向上させることができる。

40

【0068】

また、入射側反射膜 93、出射側反射膜 94 は、基板 11 における第 1 の端面 84, 第 2 の端面 85 から端面 86a, 87a にかけて広範囲に亘って形成されているため、非常に安定であり、剥がれにくく、さらに製膜の再現性をも向上させることが可能となる。

【0069】

実際に、保護材 86, 87 を設けたことによる効果を実験的に検証すべく、保護材 86, 87 を貼り付けた後の平面 91 (92) の研磨を行ったところ、導波路 12 の端面部分に

50

おける欠けや曲がりは一切発生せず、入射側反射膜 9 3, 出射側反射膜 9 4 の被着に適した、平坦な光学研磨が施されていることを確認することができる。

【 0 0 7 0 】

特に第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 を、基板 1 1 と同一の材質から構成し、また平面 9 1, 9 2 を形成する保護材 8 6, 8 7 の端面 8 6 a, 8 7 a と第 1 の端面 8 4, 第 2 の端面 8 5 とが、互いに同一の結晶方位を有するように加工することにより、結晶の硬度が両者間で同一となるため、研磨速度の違いにより平面 9 1, 9 2 が傾くこともなくなる。

【 0 0 7 1 】

このように、本発明を適用した光変調器 8 では、各端部において保護材 8 6, 8 7 を貼り付けることにより、導波路 1 2 の端面を平面 9 1 ( 9 2 ) の略中央部に移動させることができるため、導波路 1 2 の端面の欠けや丸まり、導波路 1 2 と平面 9 1, 9 2 間の垂直性の確保、平面 9 1, 9 2 における研磨精度の向上、入射側反射膜 9 3 及び出射側反射膜 9 4 の剥がれや回り込みの抑制、入射側反射膜 9 3 及び出射側反射膜 9 4 における反射率の向上、設計した反射特性の実現、反射膜の性能再現性向上が可能となる。その結果、入射側反射膜 9 3 及び出射側反射膜 9 4 より構成される共振器 5 のフィネスを向上させることができ、性能のよい光変調器、光周波数コム発生器を再現性よく作製することが可能となり、歩留まりを向上させることも可能となる。

【 0 0 7 2 】

実際に上述の構成からなる光変調器 8 を、研磨された平面 9 1, 9 2 上において、反射率 9 7 % からなる反射膜 9 3, 9 4 を被着させることにより作製した結果、導波路 1 2 の結晶長を 2 7 . 4 mm とした場合 ( 以下、短共振器という。 ) において、最高 6 1 ものフィネスを得ることができ、また、導波路 1 2 の結晶長を 5 4 . 7 mm とした場合 ( 以下、長共振器という。 ) において、最高 3 8 ものフィネスを得ることができた。従来の導波路型の光共振器 ( IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 8, No. 10, 1996 ) のフィネスは、3 0 が最高であったことから、この端面研磨、コーティングの精度を向上させた光変調器 8 は、フィネスを大幅に向上させることができることが分かる。特に、作製した光変調器 8 のサンプル 6 個全てにつき、3 0 以上のフィネスを得ることができ、作製プロセスの再現性が高いことも示されている。

【 0 0 7 3 】

図 5 は、導波路 1 2 における往路方向又は復路方向のうち何れか一の伝搬方向あたりの共振器 5 の内部損失を示している。この図 5 では、上述した長共振器で構成される光変調器 8 につきの伝搬方向あたりの損失を 3 個のサンプルに亘り測定してプロットし ( 図中丸印で示す )、また短共振器で構成される光変調器 8 につきの伝搬方向あたりの損失を 3 個のサンプルに亘り測定してプロットし ( 図中四角で示す )、得られた各プロットを直線で近似している。

【 0 0 7 4 】

この得られた直線より、長さ  $l$  の共振器 5 の導波路 1 2 における伝搬方向あたりの内部損失  $L_s$  は、反射膜 9 3, 9 4 における反射率を  $R$ 、導波路 1 2 における単位長さあたりの損失を  $\alpha$  とするとき、損失そのものが小さい場合において  $L_s = \alpha l - \ln R$  で表される。測定されたフィネスを  $F$  としたとき、一伝搬方向あたりの損失  $L_s$  は、 $L_s = \alpha l / F$  と求められる。測定したフィネス  $F$  から内部損失  $L_s$  を求め、これをグラフ化すると、図 5 に示すように導波路 1 2 の結晶長が長くなるにつれ、導波路 1 2 による内部損失が増加することが分かる。

【 0 0 7 5 】

ちなみに、この図 5 において共振器 5 の長さが 0 である場合における内部損失は、結晶端面において生じた損失に基づくものである。即ち、反射率 9 7 % ( 透過率 3 % ) の反射膜 9 3, 9 4 がコーティングされているため、最低 3 % の損失が生じることになる。しかしこの図 5 より、平面 9 1, 9 2 における反射膜 9 3, 9 4 への透過以外に目立った損失がないことが分かる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

同様に、この光変調器 8 を光周波数コム発生器に応用した場合には、保護材 8 6 , 8 7 を貼り付けた状態で平面 9 1 , 9 2 の研磨と入射側反射膜 9 3 及び出射側反射膜 9 4 の被着を行うため、これら反射膜 9 3 , 9 4 の反射率を向上させることが可能となる。その結果、光共振器 5 のフィネスを向上させることができ、サイドバンドの発生周波数帯域を拡大させることもできる。

【 0 0 7 7 】

ちなみに、この光変調器 8 を光周波数コム発生器に応用する場合には、入射側反射膜 9 3 を、導波路 1 2 内へ入射させる光のみ透過させ、導波路 1 2 内において発生させたサイドバンドを反射する狭帯域フィルタに置換してもよい。このような狭帯域フィルタに置換することにより、入射させる光からサイドバンドへの変換効率を向上させることができる。

10

【 0 0 7 8 】

同様に、出射側反射膜 9 4 は、出力スペクトルフラット化のためのフィルタに置換してもよい。通常の光周波数コム発生器において、得られるサイドバンドの光強度は、その次数の増加とともに指数関数的に減少する。そこで出射側反射膜 9 4 を、次数に応じた光強度の減少を相殺するような特性を持つフィルタに代替させることにより、得られる各サイドバンドの光強度を平坦化させることが可能となる。

【 0 0 7 9 】

なお、入射側反射膜 9 3 及び出射側反射膜 9 4 それぞれにつき、上述した各フィルタに置換してもよいし、何れか一方の反射膜 9 3 , 9 4 につき上述した各フィルタに置換してもよい。

20

【 0 0 8 0 】

なお、本発明を適用した光変調器 8 並びにこれを応用した光周波数コム発生器は、平面 9 1 , 9 2 に対して直接的に入射側反射膜 9 3 並びに出射側反射膜 9 4 を形成させるモノリシック型で構成されている。換言すれば、この光変調器 8 は、平面 9 1 , 9 2 と空間的に離間した位置に各反射膜 9 3 , 9 4 を設ける構成ではないため、共振器 5 の F S R (Free Spectral Range) は、ステップ S 1 6 における研磨後の導波路 1 2 を構成する結晶の平面 9 1 から平面 9 2 に至るまでの結晶長さに支配される。このため、光変調器 8 は、光共振器 5 の F S R の整数倍が所望の変調周波数となるようにきわめて精密な結晶長さの制御が

30

【 0 0 8 1 】

例えば、共振器 5 の F S R を周波数  $f_{FSR}$  に一致させる場合、導波路 1 2 の群屈折率  $n_g$  と、入射側反射膜 9 3 及び出射側反射膜 9 4 の群遅延時間の平均値  $\tau_g$  を考慮して、導波路 1 2 の結晶長さ（基板 1 1 における第 1 の端面 8 4 から第 2 の端面 8 5 に至るまでの間隔）L を以下の式（ 1 ）

$$L = c / 2 n_g f_{FSR} - c \tau_g / n_g \dots \dots \dots (1)$$

（ c は真空中の光速）

に合わせることにより、共振器 5 の F S R を  $f_{FSR}$  に一致させることができ、変調効率を大幅に向上させることが可能となる。

40

【 0 0 8 2 】

なお本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではない。例えば図 6 に示すような光変調器 9 にも適用することができる。この光変調器 9 において上述した光変調器 8 と同一の構成、要素については、図 1 , 2 における説明を引用し、ここでの説明を省略する。

【 0 0 8 3 】

光変調器 9 は、基板 1 1 と、基板 1 1 上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路 1 2 と、導波路 1 2 の上面に設けられたウェハ 9 5 と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるようにウェハ 9 5 の上面に設けられた電極 8 3 と、導波路 1 2 を介して互いに対向するように設けられた第 1 の端面 8 4 並びに第 2 の端面 8 5 と、第 1

50

の端面 8 4 並びにウェハ 9 5 の端面 9 6 a との間で形成される平面 1 0 1 上に被着される入射側反射膜 9 3 と、第 2 の端面 8 5 並びにウェハ 9 5 の端面 9 7 a との間で形成される平面 1 0 2 上に被着される出射側反射膜 9 4 とを備えている。

【 0 0 8 4 】

この光変調器 9 においても、上述した光変調器 8 と同様に、周波数  $f_m$  の変調信号を発振する図示しない発振器と、図示しない終端抵抗が接続される。

【 0 0 8 5 】

ウェハ 9 5 は、 $SiO_2$  等からなり、導波路 1 2 と略同一の長さでコ字状となるように構成される。このウェハ 9 5 は端部のみ厚く構成され、電極 8 3 が配設される中央部分のみ薄く構成する。これにより導波路 1 2 内を伝搬する光につき電極 8 3 から変調電界を効率よく印加することができる。

10

【 0 0 8 6 】

このウェハ 9 5 は、上述したバッファ層 1 4 としての役割を担い、基板 1 1 の表面直下に形成されてなる導波路 1 2 を被覆することにより光損失を抑える。またこのウェハ 9 5 は、上述した光変調器 8 における第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 としての役割も担い、それぞれ端面 9 6 a, 9 7 a が第 1 の端面 8 4, 第 2 の端面 8 5 との間で、それぞれ平面 1 0 1, 1 0 2 を形成することができるように切り揃えられている。

【 0 0 8 7 】

このウェハ 9 5 を配設する場合には、端部の厚みに合わせた  $SiO_2$  のウェハを基板 1 1 上に貼り付け、次に電極 8 3 を設ける部分につき切削していくことで、図 6 に示すようなコ字状に仕上げることが可能となる。

20

【 0 0 8 8 】

即ち、この光変調器 9 は、光変調器 8 と同等の効果が得られるとともに、保護材を取り付ける手間を省くことができるという利点がある。

【 0 0 8 9 】

なお本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではない。例えば図 7 に示すような往復変調型の光変調器 5 1 にも適用することができる。この光変調器 5 1 において上述した光変調器 8 と同一の構成、要素については、図 1, 2 における説明を引用し、ここの説明を省略する。

【 0 0 9 0 】

30

光変調器 5 1 は、図 7 (a) に示すように、基板 1 1 と、基板 1 1 上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路 1 2 と、この基板 1 1 において導波路 1 2 を被覆するように積層されるバッファ層 1 4 と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路 1 2 の上面に設けられた電極 8 3 と、導波路 1 2 の上部に配設される第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 と、平面 9 1 上に被着される反射防止膜 6 3 と、平面 9 2 上に被着される出射側反射膜 9 4 とを備えている。

【 0 0 9 1 】

また、この光変調器 5 1 を実際に使用する場合には、更に図 7 (b) に示すように、図示しない光源からの入力光を伝送し或いは光変調器 5 1 から出力される出力光を外部へ伝送するための光ファイバ等で構成される光伝送路 2 3 と、上記入力光並びに出力光を分離するための光サーキュレータ 2 1 と、この光サーキュレータ 2 1 に光接続されるフォーカサー 2 2 からなる光学系が実装され、電極 8 3 の一端側に配設され周波数  $f_m$  の変調信号を発振する発振器 1 6 と、電極 8 3 の他端側に配設される終端抵抗 1 8 とがさらに配設される。

40

【 0 0 9 2 】

反射防止膜 6 3 は、第 1 の端面 8 4 並びに第 1 の保護材 8 6 の端面 8 6 a との間で形成される平面 9 1 上に被着される。この反射防止膜 6 3 は、低反射膜により構成されていてもよいし、無コートで構成することにより、低反射膜を被着したのと同様の効果が得られるようにしてもよい。

【 0 0 9 3 】

50

フォーカサー 22 は、光サーキュレータ 21 を通過した入力光を導波路 12 の端部へ集束させるとともに、導波路 12 の端部から反射防止膜 63 を透過した出力光を集光してこれを光サーキュレータ 21 へ送る。このフォーカサー 22 は、導波路 12 の径に応じたスポット径となるように入力光を光結合させるためのレンズ等で構成してもよい。

【0094】

このような構成からなる光変調器 51 は、導波路 12 の一の端部につき高反射膜としての出射側反射膜 94 を設け、他の端部につき反射防止膜 63 を設けることにより、いわゆる往復変調型の光変調器として動作する。導波路 12 に入射された入力光は、導波路 12 を伝搬しながら変調され、端面の出射側反射膜 94 により反射された後、再び導波路 12 を伝搬して反射防止膜 63 を透過してフォーカサー 22 側に出射され出力光となる。同時に、発振器 16 から供給される周波数  $f_m$  の電気信号は、入力光を変調しつつ電極 83 上を伝搬した後、終端抵抗 18 により吸収されることになる。

10

【0095】

また、この光変調器 51 は、図 7(c) に示すように、発振器 25 並びに終端抵抗 27 を電極 83 の一端側に設け、発振器 25 から供給される電気信号を電極 83 上において伝搬させた上で、これを電極 83 の他端側で反射させるようにしてもよい。このとき、発振器 25 から供給される電気信号と、電極 83 の他端側で反射された電気信号を分けるためのアイソレータ 26 を設けるようにしてもよい。また、この光変調器 51 では、反射率の高い入射側反射膜 93 を被着させる。これにより導波路 12 内部において光を共振させることができる。また、この入射側反射膜 93 の代替として、上述した低反射率の反射防止膜 63 を被着させるようにしてもよい。これにより、光を導波路 12 内において一度だけ往復させつつ、位相変調を施すことも可能となる。

20

【0096】

この光変調器 51 では、出射側反射膜 94 により反射される光の位相に合わせて電気信号の反射位相を調整することにより、電極 83 を往復する電気信号それぞれにより光の位相を変調させることができるため、変調効率を増大させることができる。特に、保護材 86, 87 を貼り付けることにより、上述の如く膜 63, 94 の剥がれや欠け等を抑え、フィネスをより向上させた光変調器 51 では、光変調効率をさらに増大させることが可能となる。

【0097】

また、これら光変調器 51 を光周波数コム発生器に適用した場合において、電極を往復する電気信号により、導波路 12 内で共振する光につき往復変調を施すことが可能となる。かかる場合において、発生させたサイドバンドの各周波数（波長）における強度分布は、図 8 に示すように、電極 83 へ印加する電気信号の変調周波数を 25 GHz とし、そのパワーを 0.5 W とした場合において、導波路 12 内に加わる変調の大きさとして表される変調指数は、伝搬方向あたり ラジアンである。この結果より、位相を半波長動かすために必要な電圧として定義される半波長電圧  $V$  は、7.1 V であることが分かる。

30

【0098】

短共振器で構成される光変調器 8 は、長共振器で構成される光変調器 8 と比較して、上述の如くフィネスが高い分、サイドバンドの発生の効率は高く、またサイドバンドの発生周波数帯域幅  $f$  は 11 THz に達する。また、短共振器で構成される光変調器 8 の電極 83 の長さは、僅か 20 mm であるが、長共振器で構成される光変調器 8 と比較して遜色のない変調効率を得られる。即ち、往復変調が有効に作用していることが分かる。

40

【0099】

なお、この光変調器 51 は、電気信号を反射させる代わりに、信号源としての発振器 16 の出力を分割することにより、電極 83 の両端から電気信号を別々に駆動入力するようにしてもよいし、電極 83 の両端にそれぞれ別の発振器 16 を接続することにより、これを実行するようにしてもよい。

【0100】

なお本発明は、例えば図 9 に示すような光導波路型のレーザ発振器 52 にも適用するこ

50

とができる。このレーザ発振器 5 2 において、上述した光変調器 8 と同一の構成、要素については、図 1, 2 における説明を引用し、ここでの説明を省略する。

【 0 1 0 1 】

レーザ発振器 5 2 は、図 9 に示すように、基板 1 1 と、基板 1 1 上に形成されてなる導波路 1 2 と、この基板 1 1 において導波路 1 2 を被覆するように積層されるバッファ層 1 4 と、導波路 1 2 の上部に配設される第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 と、平面 9 1 上に被着される入射側反射膜 9 3 と、平面 9 2 上に被着される出射側反射膜 9 4 とを備え、入射側反射膜 9 3 と出射側反射膜 9 4 との間で共振器 5 を構成する。また、このレーザ発振器 5 2 を実際に使用する場合には、波長  $\lambda_0$  の光を出射する励起光源 2 8 が実装される。

10

【 0 1 0 2 】

このレーザ発振器 5 2 における導波路 1 2 中には、例えばエルビウムイオンのような、入射側反射膜 9 3 を介して入射された光を吸収して媒質固有の光の波長に対して増幅特性を有する増幅媒質を拡散させる。これにより、導波路 1 2 を光の増幅媒質として働かせることが可能となる。またこのような増幅媒質としての導波路 1 2 に対して、適当な波長の光を入射させると、エネルギー準位で決まる固有の波長に対する光の増幅器として作用することになる。また、自然放出遷移により発生した光を増幅して発振する発振器としても作用することになる。レーザ発振するのは、共振器 5 内における増幅率が損失率を上回った場合であるから、保護材 8 6, 8 7 を貼り付けて反射膜 9 3, 9 4 の剥がれや欠け等を防止しつつ導波路 1 2 の端面における反射特性を高めることにより、共振器 5 内の損失率も

20

【 0 1 0 3 】

ちなみに、このレーザ発振器 5 2 を光パラメトリック発振器として適用してもよい。かかる場合には、発振が起こるのは共振器 5 内の増幅率が損失率を上回った場合であるから、保護材 8 6, 8 7 を貼り付けた反射膜 9 3, 9 4 の剥がれや欠けのない高フィネスの共振器 5 を構成することにより、発振の閾値を低下させることができる。

【 0 1 0 4 】

導波路 1 2 内に特別な増幅媒質を導入しなくても、この導波路 1 2 として  $\text{LiNbO}_3$  結晶のような非線形光学結晶で構成することにより、導波路 1 2 内に入射される光によって誘起される非線形分極により、当該入射される光とは異なる波長に増幅利得を持たせる

30

【 0 1 0 5 】

このレーザ発振器 5 2 における共振器 5 を構成する入射側反射膜 9 3 は、励起光源 2 8 からの光に対して低反射率であり、かつ導波路 1 2 により発振される光の波長に対して高反射率の膜を使用してもよい。また、この共振器 5 を構成する出射側反射膜 9 4 は、導波路 1 2 により発振される光の波長に対して最適な出力カップリングが可能な反射率を有する膜を使用してもよい。

【 0 1 0 6 】

上述の如くレーザ発振器 5 2 やこれを適用する光パラメトリック発振器において導波路 1 2 を用いる利点は、光を狭い領域に閉じ込めることができると、電界強度が高めることができることによる増幅率の向上である。特にこのレーザ発振器 5 2 等では、従来の発振器と比較して高いフィネスを得ることができるため、導波路 1 2 を用いることの利点がさらに助長されることになる。

40

【 0 1 0 7 】

なお本発明は、例えば図 10 に示すようなモードが同期された光を発振するレーザ発振器 5 3 にも適用することができる。このモードが同期された光とは、等しい周波数間隔で発振している多数のモードの位相を揃えたものである。このレーザ発振器 5 3 において、上述した光変調器 8 並びにレーザ発振器 5 2 と同一の構成、要素については、図 1, 2, 9 における説明を引用し、ここでの説明を省略する。

50

## 【 0 1 0 8 】

レーザ発振器 5 3 は、図 1 0 (a), (b) に示すように、基板 1 1 と、基板 1 1 上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路 1 2 と、この基板 1 1 において導波路 1 2 を被覆するように積層されるパツファ層 1 4 と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路 1 2 の上面に設けられた電極 8 3 と、導波路 1 2 の上部に配設される第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 と、平面 9 1 上に被着される入射側反射膜 9 3 と、平面 9 2 上に被着される出射側反射膜 9 4 とを備え、入射側反射膜 9 3 と出射側反射膜 9 4 との間で共振器 5 を構成する。また、このレーザ発振器 5 3 を実際に使用する場合には、波長  $\lambda_0$  の光を出射する励起光源 2 8 が実装され、更に電極 8 3 の一端側に配設され周波数  $f_m$  の変調信号を発振する発振器 1 6 と、電極 8 3 の他端側に配設される終

10

## 【 0 1 0 9 】

このような構成からなるレーザ発振器 5 3 では、上述したレーザ発振器 5 2 において導波路 1 2 の上部に電極 8 3 を配設することにより、各モードにつき同期がとられたモード同期レーザの発振が可能となる。ここで、共振器 5 の FSR の整数倍に一致する周波数の変調信号を発振器 1 6 から駆動入力することにより、多モードの光を発振する導波路 1 2 の電気光学効果に基づき、各モードの位相同期が施される結果、モード同期レーザを発振するレーザ発振器として動作することになる。

20

## 【 0 1 1 0 】

このモード同期が施されると、レーザ発振器 5 3 より発振される光の時間波形は、増幅周波数帯域幅の逆数程度の時間幅を持つ短パルスとなる。また、周波数軸の波形は、一定の周波数間隔でサイドバンドが配列する光周波数コムとなる。このため、レーザ発振器 5 3 に対する制御を最適化させることにより、光の周波数測定への応用や多波長光源への応用も可能となる。またこのレーザ発振器 5 3 を、上述したレーザ発振器 5 2 と同様に光パラメトリック発振器として適用してもよいことは勿論である。特にこのレーザ発振器 5 3 は、保護材 8 6, 8 7 が貼り付けられているため反射膜 9 3, 9 4 の剥がれや欠けがなく、共振器 5 全体のフィネスを向上させることができ、モード同期レーザを効率よく発振させることが可能となる。

30

## 【 0 1 1 1 】

ちなみに、レーザ発振器 5 3 におけるモード同期は、上述した電気光学効果を利用するものに限定されるものではなく、共振器 5 内における光学素子の非線形効果を利用するものであればいかなる現象に基づくものであってもよい。例えば、 $\text{LiNbO}_3$  結晶を導波路 1 2 に用いることにより、その効果をより際立たせることも可能となる。

## 【 0 1 1 2 】

なお本発明は、例えば図 1 1 に示すような変形ファブリペロー (FP) 電気光学変調器 5 4 にも適用することができる。この変形 FP 電気光学変調器 5 4 において、上述した光変調器 8 並びにレーザ発振器 5 2 と同一の構成、要素については、図 1, 2, 9 における説明を引用し、ここでの説明を省略する。

## 【 0 1 1 3 】

変形 FP 電気光学変調器 5 4 は、図 1 1 に示すように、基板 1 1 と、基板 1 1 上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路 1 2 と、この基板 1 1 において導波路 1 2 を被覆するように積層されるパツファ層 1 4 と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路 1 2 の上面に設けられた電極 8 3 と、導波路 1 2 の上部に配設される第 1 の保護材 8 6 並びに第 2 の保護材 8 7 と、平面 9 1 上に被着される入射側反射膜 9 3 と、平面 9 2 上に被着される出射側反射膜 9 4 とを備え、入射側反射膜 9 3 と出射側反射膜 9 4 との間で共振器 5 を構成する。また、このレーザ発振器 5 3 を実際に使用する場合には、反射鏡 3 1 が実装され、必要な場合には、更に電極の一端側に配設され周波数  $f_m$  の変調信号を発振する図示しない発振器と、電極の他端側に配設される図示しない終端抵抗とが配設される。

40

## 【0114】

反射鏡31は、外部から供給される光を透過させ変形FP電気光学変調器54側の導波路12の端部へ導くとともに、当該導波路12の端部から出射された光を反射する。即ち、この反射鏡31を設けることにより、導波路12内へ入射させる光のみ透過させ、導波路12内で発生させたサイドバンドを反射することができるため、入射させる光からサイドバンドへの変換効率を向上させることができる。即ち、このような構成からなる変形FP電気光学変調器54では、入射側反射膜93を、導波路12内へ入射させる光のみ透過させ発生させたサイドバンドを反射する狭帯域フィルタに置換した場合と同様の効果を得ることができる。特にこの変形FP電気光学変調器54では、保護材86,87が貼り付けられているため反射膜93,94の剥がれや欠けがなく、共振器5全体のフィネスを向上させることができるため、サイドバンドへの変換効率をより高めることが可能となる。

10

## 【0115】

なお、本発明を適用した光変調器8は更に以下に説明する通信システム55に適用することもできる。

## 【0116】

通信システム55は、例えば、WDM通信方式に基づいて符号分割多重接続を行うシステムが適用され、図12(a)に示すように、歩行者が携帯可能な移動体端末としての携帯通信機器57と、携帯通信機器57との間で無線信号を送受信を行うことにより通信を中継するための複数の基地局58と、接続された光ファイバ通信網35,38を介して基地局58を含めたネットワーク全体における通信を制御するホスト制御装置59とを備えている。

20

## 【0117】

携帯通信機器57は、各地区に設けられた基地局58との間で無線信号を送受信すべく、車載或いは携帯できるように構成されている。即ち、この携帯通信機器57は、例えばファクシミリ通信やパーソナルコンピュータ等に搭載されてデータ通信を行うための装置を含むものであるが、一般には音声による通話を行うための携帯電話やPHS(パーソナルハンディホンシステム)等であり、特に小型軽量で携帯性に特化した機器として構成されている。

## 【0118】

各基地局58には、図12(a)に示すように光変調器8が搭載される。光変調器8における電極83には、携帯通信機器57との間でマイクロ波を送受信するためのアンテナ33が接続されている。また、この光変調器8は、ホスト制御装置59から光ファイバ通信網35を介して伝送された光の一部が入射側反射膜93を介して導波路12内へ入射される。この導波路12内へ入射された光は、略平行に配設された入射側反射膜93並びに出射側反射膜94により共振されることになる。またこの光変調器8では、携帯通信機器57から供給されるマイクロ波をアンテナ33を介して受信し、かかるマイクロ波に応じた変調信号を電極83を介して導波路12内を伝搬する光に印加することができるため、携帯通信機器57からの送信情報に応じた位相変調をこれに施すことが可能となる。なお、光変調器8は、位相変調した光を出射側反射膜94を介して出射させる。出射された光は光ファイバ通信網38を介してホスト制御装置59へ伝送されることになる。

30

40

## 【0119】

ホスト制御装置59は、基地局58へ伝送するための光を発生させ、また基地局58において変調された光を光電変換して検波出力を得る。即ち、このホスト制御装置59は、様々な基地局からの検波出力を一括管理することができる。

## 【0120】

このような通信システム55では、ホスト制御装置59から出力された光を光ファイバ通信網35を介して基地局58へ伝送する。基地局58は、この伝送された光を光変調器8における導波路12内を伝搬させるとともに、更にマイクロ波に応じた位相変調を施した上で、光ファイバ通信網38を介してこれをホスト制御装置59へ伝送する。

## 【0121】

50

即ち、基地局 5 8 へ伝送される光は、当該基地局 5 8 周辺にある携帯通信機器 5 7 から発呼された場合に、上述したマイクロ波に含まれる通話内容に応じた位相変調が施されることになる。一方、この基地局 5 8 へ伝送される光は、当該基地局 5 8 周辺にある携帯通信機器 5 7 から発呼されなかった場合に、上述した位相変調が施されることはなくなる。ホスト制御装置 5 9 では、基地局 5 8 から光ファイバ通信網 3 8 を介して伝送される光につき位相変調が施されていた場合には、これを光電変換することにより、通話内容に応じた検波出力を取得することが可能となる。

【 0 1 2 2 】

この通信システム 5 5 では、保護材 8 6 , 8 7 を貼り付けた高フィネスの共振器を有する光変調器 8 を基地局 5 8 へ搭載するため、導波路 1 2 内を伝搬する光の往復回数を増やすことができ、光変調器 8 自体の感度を向上させることが可能となる。

10

【 0 1 2 3 】

なお、この通信システム 5 5 では、図 1 2 (b) に示すように、一芯双方向で光伝送するようにしてもよいことは勿論である。

【 0 1 2 4 】

さらに、本発明を適用した光変調器 8 では、図 1 に示すように導波路 1 2 の往路方向 ( 復路方向 ) の結晶長  $L C 1$  を  $2.7 \text{ mm}$  ( 又は  $5.4 \text{ mm}$  ) 程度になるように調整されていてもよい。かかる結晶長にすることにより奏する効果につき、以下において説明する。

【 0 1 2 5 】

導波路 1 2 における往路方向 ( 復路方向 ) へ伝播する光の損失率を  $L o 1$  としたとき、かかる損失率  $L o 1$  と導波路 1 2 の結晶長  $L C 1$  との関係を図 1 3 (a) に示す。結晶長  $L C 1$  が増加していくにつれて、伝播する光の損失は徐々に大きくなることが示されている。また図 1 3 (b) は、かかる結晶長  $L C 1$  に対するフィネスの関係を示している。この図 1 3 (b) に示すようにフィネスは、一般に  $1 / L o 1$  で表されるが、結晶長  $L C 1$  が小さいほど高くなるのがわかる。

20

【 0 1 2 6 】

光変調器 8 の性能指数は、 $V / (\text{フィネス})$  で表すことができる ( $V$  は光位相をラジアン変調するために要する電圧)。この性能指数が小さいほど光変調器 8 として、また当該光変調器 8 を用いた光周波数コム発生器として、性能がより優れていることになる。

30

【 0 1 2 7 】

図 1 4 は、これらフィネスや損失率  $L o 1$  に基づいて計算した性能指数を結晶長  $L C 1$  との関係において示している。この図 1 4 において、 $l m$  は、結晶長  $L C 1$  に対する電極 8 3 の長さの差分を表している。一般に導波路 1 2 の両端から数 mm は電極を設けることができないため、この  $l m$  を  $6 \text{ mm}$  とした場合と、 $l m$  を  $1 \text{ mm}$  とした場合を例に挙げて計算をしている。

【 0 1 2 8 】

この図 1 4 に示すように  $l m = 6 \text{ mm}$  である場合において、結晶長  $L C 1$  が  $1.5 \sim 3.0 \text{ mm}$  のときに性能指数が小さくなるのが分かる。またかかる性能指数の結晶長  $L C 1$  に対応する  $F S R$  をプロットすると、 $2.5 \text{ GHz}$  付近において最も優れた性能となることが分かる。ちなみに、この図 1 4 における傾向をシミュレーションの上において、変調周波数を  $2.5 \text{ GHz}$  とし、電極 8 3 によるマイクロ波の伝送損失を  $-10 \text{ dB} / 50 \text{ mm}$  @  $2.5 \text{ GHz}$  と仮定し、さらに変調効率を、往復変調時において  $P_{in} = 0.43 \text{ W}$ 、結晶長  $L C 1 = 2.7 \text{ mm}$  ( 電極 8 3 の長さが  $2.1 \text{ mm}$  のとき ) である場合に変調指数がラジアンであることを考慮し、さらに光の伝送損失が  $-0.0106 / \text{cm}$  である場合を仮定している。また、ミラーの反射率は、結晶長に応じた損失率に対して最適化されている。

40

【 0 1 2 9 】

このため、 $l m = 6 \text{ mm}$  である場合において、導波路 1 2 の結晶長  $L C 1$  を  $2.7 \text{ mm}$  程度とすることにより、光変調器 8 としての性能をより向上させることが可能となる。ちな

50

みに、この結晶長  $L C 1$  は  $27 \text{ mm}$  にある場合に限定されるものではなく、 $24 \pm 6 \text{ mm}$  の範囲であればいかなる長さで構成されていてもよい。なお、実用上の結晶長  $L C 1$  は、光通信分野における時分割多重化 (TDM: Time Division Multiplex) 光通信における  $10 \text{ GHz}$  や波長割多重化 (WDM: Wavelength Division Multiplex) 光通信における  $25 \text{ GHz}$  の最大公約数である  $5 \text{ GHz}$  の整数分の 1 とするのが好適であり、 $27 \text{ mm}$  は  $2.5 \text{ GHz}$  に相当している。

【0130】

また、結晶長  $L C 1$  に対応する FSR のプロットが  $1.25 \text{ GHz}$  である場合においても、同様に優れた性能が示されることから、これに対応する結晶長  $L C 1$  を  $54 \text{ mm}$  程度で構成してもよい。

【0131】

また  $l m = 1 \text{ mm}$  である場合においても、同様にシミュレーションすると、 $10 \text{ GHz}$  程度で優れた性能が示されることから、結晶長  $L C 1$  をこれに対応させることで、光変調器 8 としての性能をより高めることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0132】

【図1】本発明を適用した光変調器の構成を示す図である。

【図2】本発明を適用した光変調器の側面図である。

【図3】本発明を適用した光変調器における入射側反射膜が形成される平面を示す図である。

【図4】本発明を適用した光変調器の作製方法につき説明するためのフローチャートである。

【図5】本発明を適用した光変調器の損失特性の実験結果につき説明するための図である。

【図6】保護材とバッファ層の役割を共に担わせたウェハを有する光変調器の構成を示す図である。

【図7】本発明を適用した往復変調型の光変調器の構成を示す図である。

【図8】本発明を光周波数コム発生器に適用した場合における、サイドバンドの各周波数(波長)における強度分布を示す図である。

【図9】本発明を適用した光導波路型のレーザ発振器の構成を示す図である。

【図10】本発明を適用したレーザ発振器の構成を示す図である。

【図11】本発明を適用した変形FP電気光学変調器の構成を示す図である。

【図12】本発明を適用した光変調器を基地局に搭載した通信システムの例につき説明するための図である。

【図13】本発明を適用した光変調器の長さを限定する場合につき説明するための図である。

【図14】本発明を適用した光変調器の長さを限定する場合につき説明するための他の図である。

【図15】従来における光周波数コム発生器の原理的な構造を示す図である。

【図16】従来における導波路型光周波数コム発生器の原理的な構造を示す図である。

【図17】従来における導波路型光周波数コム発生器における、入射側反射膜が形成されている端面を示す図である。

【符号の説明】

【0133】

8 光変調器、11 基板、12 導波路、14 バッファ層、16 発振器、18 終端抵抗、83 電極、84 第1の端面、85 第2の端面、86 第1の保護材、87 第2の保護材、91, 92 平面、93 入射側反射膜、94 出射側反射膜

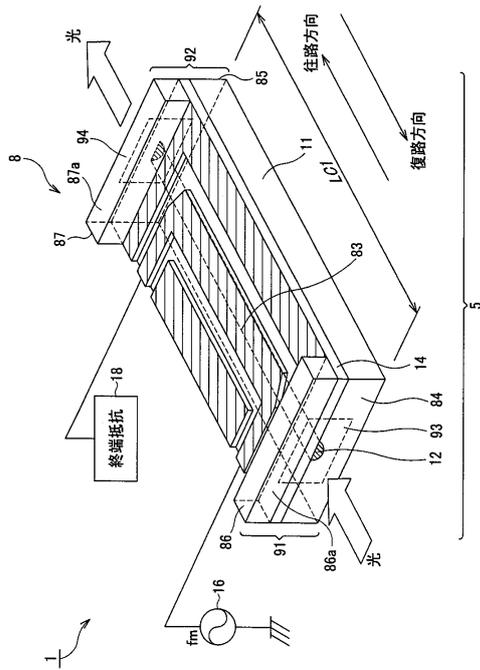
10

20

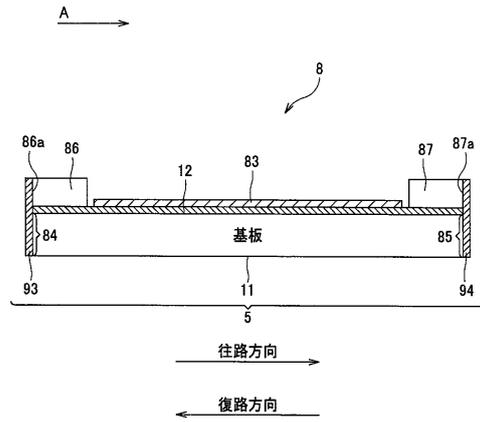
30

40

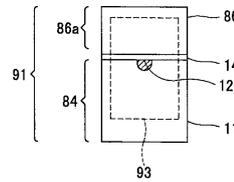
【図1】



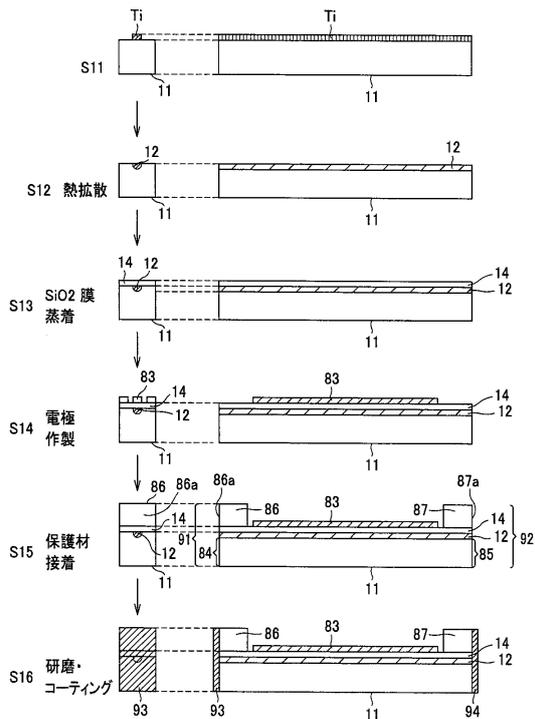
【図2】



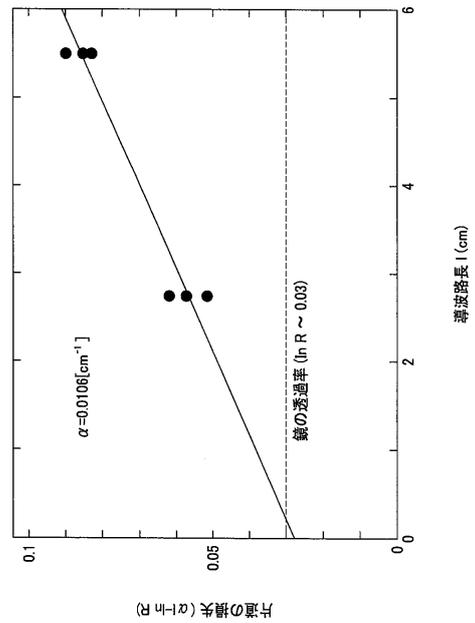
【図3】



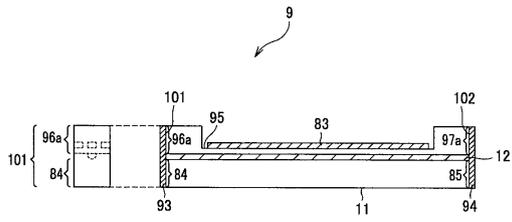
【図4】



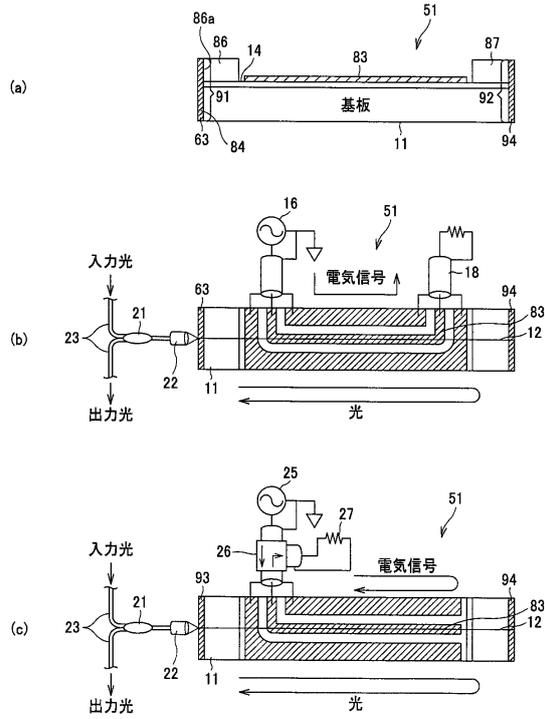
【図5】



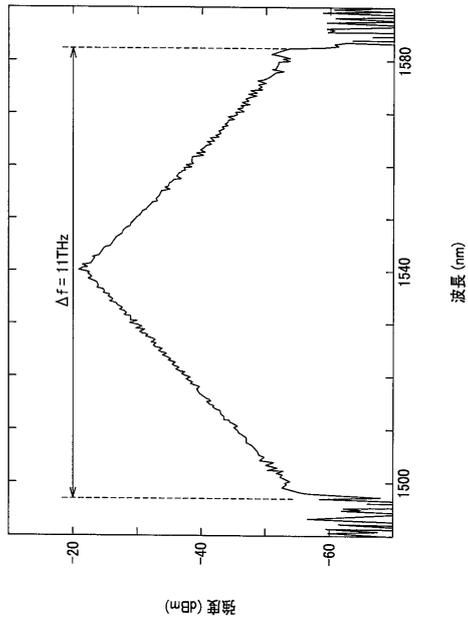
【図6】



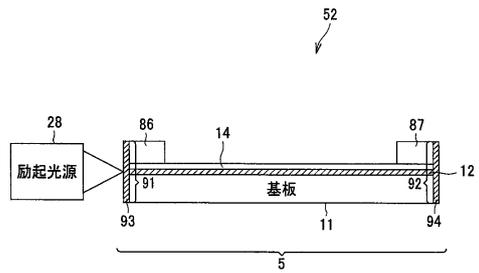
【図7】



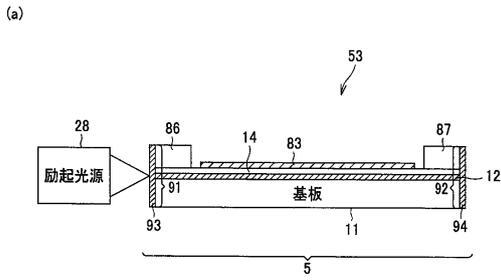
【図8】



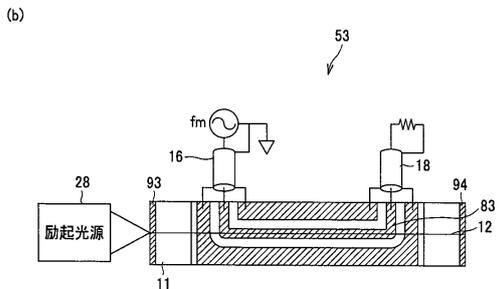
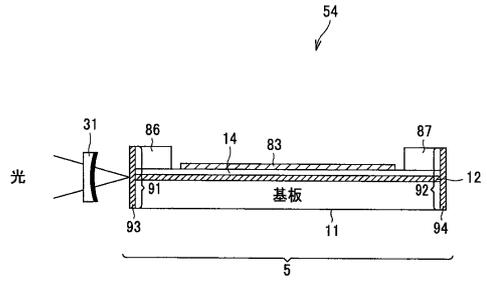
【図9】



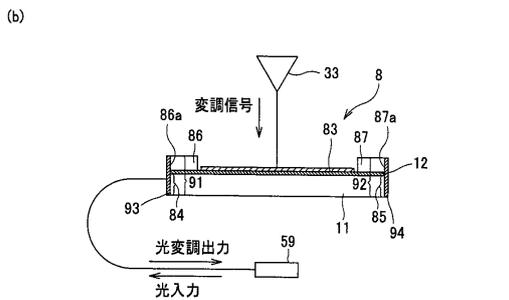
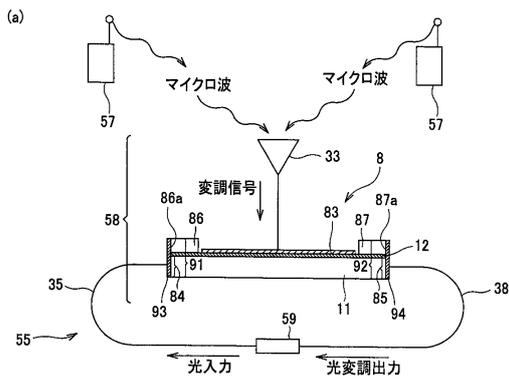
【図10】



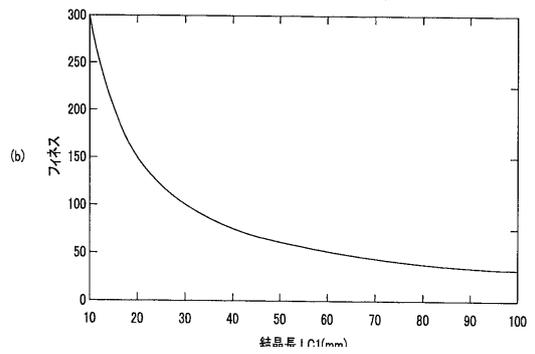
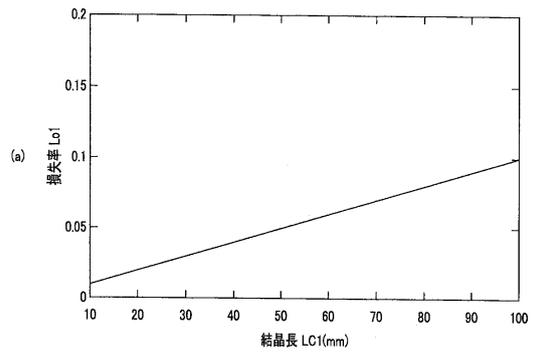
【図11】



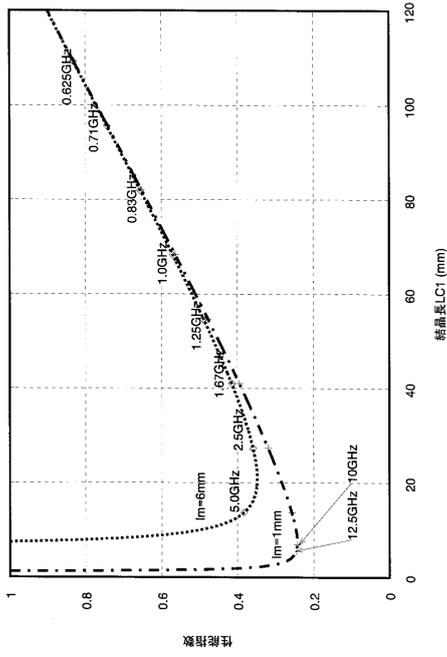
【図12】



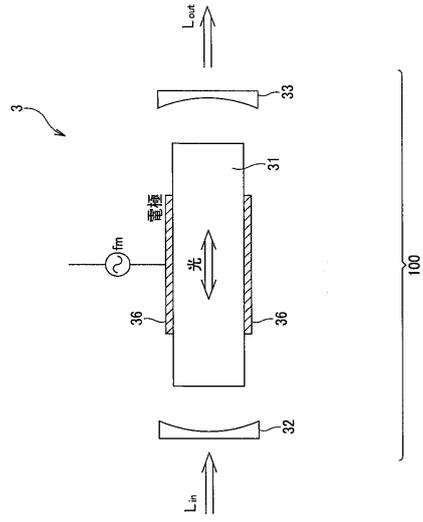
【図13】



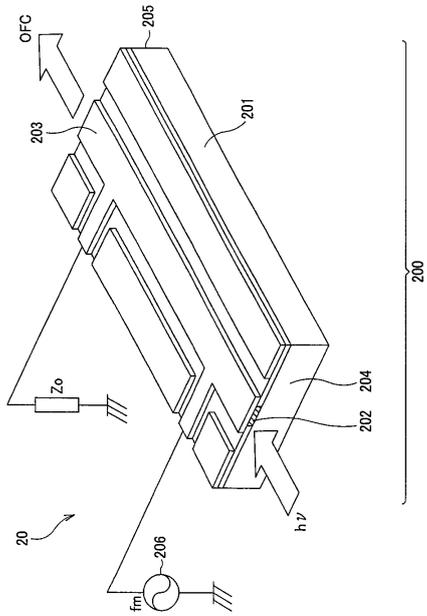
【図14】



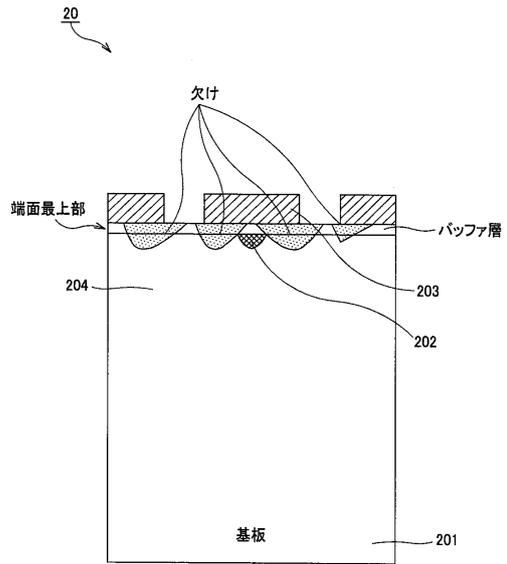
【図15】



【図16】



【図17】



---

フロントページの続き

(72)発明者 興梠 元伸

神奈川県横浜市旭区若葉台4-28-905

(72)発明者 今井 一宏

神奈川県横浜市緑区いぶき野8-1 リヴェールいぶき野506

(72)発明者 バンバン ウィディアトモコ

神奈川県横浜市緑区長津田町3034-3

審査官 佐藤 宙子

(56)参考文献 特開2003-295140(JP,A)

特開平07-027931(JP,A)

特開平11-352350(JP,A)

特開平07-277896(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/12

G02F 1/01-2/02

H01S 3/00