

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3551895号

(P3551895)

(45) 発行日 平成16年8月11日(2004.8.11)

(24) 登録日 平成16年5月14日(2004.5.14)

(51) Int.Cl.⁷

G O 2 B 6/122

G O 2 B 6/13

F I

G O 2 B 6/12

A

G O 2 B 6/12

M

請求項の数 8 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2000-156269(P2000-156269)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成12年5月26日(2000.5.26)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2001-264563(P2001-264563A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成13年9月26日(2001.9.26)	(74) 代理人	100102691
審査請求日	平成12年11月28日(2000.11.28)		弁理士 中野 稔
(31) 優先権主張番号	特願2000-3515(P2000-3515)	(72) 発明者	佐々木 隆
(32) 優先日	平成12年1月12日(2000.1.12)		神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		気工業株式会社横浜製作所内
		(72) 発明者	平井 茂
			神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
			気工業株式会社横浜製作所内
		(72) 発明者	赤坂 伸宏
			神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
			気工業株式会社横浜製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 石英系光導波路及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上にコア導波路が形成され、該コア導波路を覆うように前記基板上に屈折率低下用ドーパント及び屈折率上昇用ドーパントが添加された石英系ガラスからなる上部クラッド部が形成された石英系光導波路において、前記上部クラッド部の前記基板及び前記コア導波路に接する部分に、前記屈折率上昇用ドーパントの濃度が前記上部クラッド部の表面よりも高くなった偏析層が形成されており、前記屈折率上昇用ドーパントによる前記上部クラッド部の偏析層以外の部分に対する該偏析層の屈折率の上昇分が、該偏析層において添加された前記屈折率低下用ドーパントの添加量の増加又は／及び別の屈折率低下用ドーパントの添加による屈折率の低下によって相殺され、前記上部クラッド部の屈折率分布が厚み方向でほぼ均一であることを特徴とする石英系光導波路。

10

【請求項2】

前記屈折率上昇用ドーパントは P_2O_5 であって、前記屈折率低下用ドーパントは B_2O_3 であって、前記別の屈折率低下用ドーパントはフッ素であることを特徴とする請求項1に記載の石英系光導波路。

【請求項3】

前記偏析層における P_2O_5 の添加濃度は1重量%以上、15重量%以下であって、偏析層の厚さは1.5 μm 以上、5 μm 以下であることを特徴とする請求項2に記載の石英系光導波路。

【請求項4】

20

前記基板の前記コア導波路に接する部分は、前記基板のそれ以外の部分より、少なくとも偏析層の厚みだけ突出していることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の石英系光導波路。

【請求項 5】

横断面が矩形又は正方形のコア導波路が上に形成された基板を $500^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ の温度に維持しながら該コア導波路を覆うように前記基板上に火炎堆積法にて屈折率低下用ドーパント及び P_2O_5 を添加した石英ガラスからなるガラス微粒子を堆積させることによって、基板及びコア導波路と接する部分に P_2O_5 が偏析して濃度の高くなった偏析層を有する多孔質ガラス層を形成し、しかる後該多孔質ガラス層をフッ素ガス雰囲気中で加熱することによって前記偏析層の P_2O_5 の偏析による屈折率の上昇分の少なくとも一部をフッ素の偏析による屈折率の低下によって相殺し、続いて該多孔質ガラス層を焼結して透明ガラス化した上部クラッド部となすことを特徴とする石英系導波路の製造方法。

10

【請求項 6】

横断面が矩形又は正方形のコア導波路が上に形成された基板を $500^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ の温度に維持しながら該コア導波路を覆うように前記基板上に火炎堆積法にて屈折率低下用ドーパント及び P_2O_5 を添加した石英ガラスからなるガラス微粒子を堆積させることによって、基板及びコア導波路と接する部分に P_2O_5 が偏析して濃度が高くなった偏析層を有する多孔質ガラス層を形成し、かつその間において前記屈折率低下用ドーパントの原料ガス供給量を調整することによって前記偏析層での屈折率低下用ドーパントの添加量を他の部分に比べて増加させ、しかる後該多孔質ガラス層を焼結して透明ガラス化して前記 P_2O_5 の偏析による偏析層における屈折率の上昇分の少なくとも一部を屈折率低下用ドーパントの添加量の増加による屈折率の低下によって相殺した偏析層を有する上部クラッド部となすことを特徴とする石英系導波路の製造方法。

20

【請求項 7】

前記屈折率低下用ドーパントは、 B_2O_3 であることを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の石英系導波路の製造方法。

【請求項 8】

前記コア導波路が形成された基板の $500^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ の温度での維持は、該基板をシリコンからなるホルダにて保持し、該ホルダを回転するターンテーブルのシリコンで形成された部分の上に載置して該ターンテーブルの下に配置したヒータにて加熱することによって行なうことを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の石英系導波路の製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信分野で使用される基板上にコア導波路と上部クラッド部を設けた石英系光導波路及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

石英、シリコン等からなる基板上に横断面矩形又は正方形の GeO_2 等の屈折率上昇用ドーパントが添加された石英系ガラスからなる屈折率の比較的高いコア導波路を設け、そのコア導波路を覆うように基板上にコア導波路よりも屈折率の低い石英系ガラスからなる上部クラッド部を形成した石英系光導波路は良く知られている。また、この石英系光導波路の上部クラッド部は、通常火炎堆積法によってコア導波路を設けた基板上に石英系ガラス微粒子を堆積させて多孔質ガラス層を形成し、それを焼結して透明化することによって製造している。

40

【0003】

また、多孔質ガラス層の焼結時の加熱によってコア導波路が変形をしないようにするため、上部クラッド部の軟化温度がコア導波路の軟化温度よりも低くなるように、上部クラッド部では、 SiO_2 に P_2O_5 、 B_2O_3 等のドーパントを軟化温度を低下させるために添加している。なお、上部クラッド部の屈折率はコア導波路の屈折率よりも低くして基板

50

の屈折率と同程度の屈折率にする必要があるので、 P_2O_5 の屈折率上昇効果と B_2O_3 の屈折率低下効果とで打ち消し合うようにしている。

【0004】

この石英系光導波路においては、コア導波路を取り囲む基板及び上部クラッド部の熱膨張係数の差によって、コア導波路に異方性の熱歪みが発生し、偏波依存性が生じる。石英系光導波路で構成された光波長合分波器においては、その偏波依存性によって合分波特性が変化するので、出来るだけ偏波依存性の少ない石英系光導波路が求められている。特開平6-27342号公報、特開平7-318734号公報には、石英系光導波路の偏波依存性を少なくする方法が記載されている。

【0005】

特開平6-27342号公報に記載された方法は、上部クラッド部の P_2O_5 及び B_2O_3 の総ドーピング量を1~3%にすることによって偏波依存性を少なくしようとするものである。また、特開平7-318734号公報に記載された方法は、基板及びコア導波路と上部クラッド部との境界面にコア導波路の屈折率よりも小さくかつ基板の屈折率と同じかそれ以上の屈折率を有する薄膜ガラス層を形成することによって偏波依存性を少なくしようとするものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、偏波依存性を少なくするために上部クラッド部の P_2O_5 及び B_2O_3 の総ドーピング量を低減させた場合、発明者は、コア導波路と上部クラッド部との界面に結晶が発生することがあることを見出した。この結晶の発生は光導波路としての伝送損失に大きな悪影響をもたらすので避ける必要がある。また、特開平7-318734号公報に記載された方法では、薄膜ガラス層の屈折率が上部クラッド部の屈折率よりも大きくなる。従って、薄膜ガラス層の厚さが大きいと光導波路において複数のコア導波路を平行して狭い間隔で配置することが出来ず、光導波路の全体の大きさを小さくすることが困難である。

【0007】

本発明は、このような従来技術の問題点、即ちコア導波路と上部クラッド部の界面に発生する結晶を無くし、かつコア導波路と上部クラッド部との界面に屈折率が上部クラッド部の他の部分よりも大きな薄膜層が出来ないようにしてコア導波路の高密度配列を可能にし、かつ屈折率の高い偏析層が形成されることで生じる偏波依存性を小さくできる光導波路及びその製造方法を提供するものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明の石英系光導波路は、基板上にコア導波路が形成され、該コア導波路を覆うように前記基板上に屈折率低下用ドーパント及び屈折率上昇用ドーパントが添加された石英系ガラスからなる上部クラッド部が形成された石英系光導波路において、前記上部クラッド部の前記基板及び前記コア導波路に接する部分に、前記屈折率上昇用ドーパントの濃度が前記上部クラッド部の表面よりも高くなった偏析層が形成されており、前記屈折率上昇用ドーパントによる前記上部クラッド部の偏析層以外の部分に対する該偏析層の屈折率の上昇分が、該偏析層において添加された前記屈折率低下用ドーパントの添加量の増加又は／及び別の屈折率低下用ドーパントの添加による屈折率の低下によって相殺され、前記上部クラッド部の屈折率分布が厚み方向でほぼ均一であるものである。

【0009】

これによって、上部クラッド部の基板及びコア導波路に接する部分には屈折率上昇用ドーパントの濃度が高くなった偏析層が形成されているので、結晶の発生を抑制することが出来る。また、その偏析層の屈折率の上昇分の少なくとも一部は、屈折率低下用ドーパントの添加量の増加又は／及び別の屈折率低下用ドーパントの添加による屈折率の低下によって相殺されているので、上部クラッド部のコア導波路に接する部分の屈折率は上部クラッド部の他の部分とあまり変わらないものとするのが可能で、複数本のコア導波路を平行に狭い間隔で高密度配列を行なっても互いに伝送光が干渉することは少なくなる。

10

20

30

40

50

【0010】

また、本発明に係る光導波路は次のようにして製造することが出来る。まず、基板上にコアガラス膜を形成した後、該コアガラス膜からフォトリソグラフィ及び反応性イオンエッチング等によって横断面が矩形又は正方形のコア導波路を形成する。そして、該コア導波路が形成された基板を $500^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ の温度に維持しながら該コア導波路を覆うように前記基板上に火炎堆積法にて屈折率低下用ドーパント及び P_2O_5 を添加した石英ガラスからなるガラス微粒子を堆積させることによって、基板及びコア導波路と接する部分に P_2O_5 が偏析して濃度の高くなった偏析層を有する多孔質ガラス層を形成する。

【0011】

次いで、該多孔質ガラス層をフッ素ガス雰囲気中で加熱することによってフッ素を添加し前記偏析層の P_2O_5 の偏析による屈折率の上昇分をフッ素の偏析による屈折率の低下によって相殺し、続いて該多孔質ガラス層を焼結して透明ガラス化された上部クラッド部とする。また、偏析層の P_2O_5 の偏析による屈折率の上昇をフッ素による屈折率低下で相殺する代わりに、その部分の屈折率低下用ドーパントの原料供給量を調整してそのドーパントの添加量を増加させることによって、 P_2O_5 の偏析による屈折率の上昇分を屈折率低下用ドーパントの添加量の増加によって相殺することも出来る。また、フッ素による相殺と屈折率低下用ドーパントの添加量の増加による相殺の両方を併せることによって P_2O_5 偏析層の偏析による屈折率の上昇の全部を相殺するようにしても良い。

【0012】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の石英系光導波路の実施形態を示す横断面図であって、1は基板、2はコア導波路、3は上部クラッド部、3aは偏析層、3bは上部クラッド部の偏析層以外の部分である。基板1は、石英ガラス又はシリコンからなる平板又はそれらの平板の表面に SiO_2 ガラス膜を形成した平板である。コア導波路2は、基板1上に GeO_2 等の屈折率を上昇させるドーパントを含んだ石英ガラスからなるコアガラス膜をプラズマCVD法、火炎堆積法等によって形成し、そのコアガラス膜からフォトリソグラフィ及び反応性イオンエッチングによって横断面が矩形又は正方形の長手方向に延びる回路として形成したものである。

【0013】

また、上部クラッド部3は、コア導波路2を覆うように基板1上に形成した石英ガラスを主成分とするガラス層であって、その屈折率はコア導波路2の屈折率よりも低く基板1の屈折率とほぼ同等になっている。上部クラッド部3は、コア導波路2を覆うように基板1上に火炎堆積法にて B_2O_3 等の屈折率低下用ドーパントと P_2O_5 等の屈折率上昇用ドーパントを含んだ石英ガラスからなるガラス微粒子を堆積させて多孔質ガラス層を形成し、多孔質ガラス層を焼結して透明ガラス化することによって製造する。また、多孔質ガラス層の形成は、CVD法、プラズマCVD法によることも可能である。

【0014】

この多孔質ガラス層の形成に当たっては、コア導波路2を設けた基板1を $500^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ に加熱した状態で上記のガラス微粒子の堆積を行なうことによって、基板及びコア導波路に接する部分に屈折率上昇用ドーパントである P_2O_5 の濃度が他の部分よりも高くなった偏析層を有する多孔質ガラス層が形成される。なおこの時、屈折率上昇用ドーパントである P_2O_5 は部分的に濃度が高くなった偏析層が出来るが、屈折率低下用ドーパントである B_2O_3 の濃度は一様で偏析を起こさない。

【0015】

また、 P_2O_5 偏析層における P_2O_5 濃度及び偏析層の厚さは、原料ガスの供給量及び基板の加熱温度によって調整することが出来る。また、基板1上への多孔質ガラス層の形成に当たって用いられるターンテーブルの全体又はその主要部分をシリコンで形成し、基板1をシリコンからなるホルダで支持してそれを回転するターンテーブルのシリコンで形成された部分の上に載置して、ターンテーブルの下側に配置したヒータで加熱することとすれば、シリコンの良好な熱伝導性によって、基板が均一に加熱されるので、 P_2O_5 の

10

20

30

40

50

偏析層の濃度及び厚さを均一なものとする事が出来る。

【0016】

次いで、その多孔質ガラス層が形成された基板を SiF_4 、ヘリウムガスを含むフッ素ガス雰囲気中で加熱する。そうすると多孔質ガラス層の中にフッ素が取り込まれる。そうしておいて、 SiF_4 の供給を停めてヘリウムガスだけにして加熱を続け、多孔質ガラス層を透明ガラス化して上部クラッド部3とする。これによって、上部クラッド部の表面付近に一旦入ったフッ素は、ヘリウムガス雰囲気での加熱中に上部クラッド部の表面から出るので、上部クラッド部の表面よりも遠い部分である P_2O_5 の偏析層部分のフッ素濃度を高め、その他の部分のフッ素濃度を低くしてフッ素も偏析させる事が出来る。

【0017】

このようにして、上部クラッド部3の基板1及びコア導波路2に接する部分に P_2O_5 の濃度が高くなった厚さ $1.5\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 程度の偏析層3aを形成する。また、フッ素濃度及びフッ素が偏析した部分の厚さは、フッ素ガス雰囲気での SiF_4 の濃度及び SiF_4 存在下、不存在下での加熱温度、加熱時間の調整によって、それらの調整を行なう事が出来るので、そのようにしてその厚さを P_2O_5 の偏析層の厚さに合せる。また、 P_2O_5 偏析層の P_2O_5 の濃度は1重量%～15重量%とし、そこでのフッ素の濃度は、 P_2O_5 による屈折率の上昇分を B_2O_3 及びそのフッ素による屈折率の低下によって打ち消すのに十分な程度とする。

【0018】

図2(A)(B)は、それぞれ上部クラッド部の各ドーパントの濃度の分布と各ドーパントによる屈折率の変化を説明するグラフである。縦軸は上部クラッド部における基板又はコア導波路からの距離を示し、横軸は図2(A)の場合はドーパント濃度を、図2(B)の場合は屈折率変化を示す。上部クラッド部の基板又はコア導波路に近い部分には偏析層が出来ており、偏析層では他の部分に比較して P_2O_5 及びフッ素の濃度は高くなっている。また、 B_2O_3 の濃度は他の部分と変わらない。

【0019】

また、 P_2O_5 によって屈折率は、偏析層部分では+側に大きく、それ以外の部分では+側に少し変化する。フッ素によって屈折率は、偏析層部分では-側に大きく、それ以外の部分では-側に少し変化する。また、 B_2O_3 によって屈折率は、一様に-側に変化する。 P_2O_5 、フッ素、 B_2O_3 を合わせた屈折率の変化は、偏析層部分及びそれ以外の部分でそれぞれほぼ零となるようにそれぞれのドーパント濃度を調整する。

【0020】

以上、上部クラッド部の P_2O_5 の濃度が高くなった偏析層の屈折率の他の部分の屈折率に対する上昇分をフッ素の偏析によって相殺し、上部クラッド部全体の P_2O_5 による屈折率の上昇を B_2O_3 とフッ素の添加によって相殺する方法を示したが、フッ素を使わずに B_2O_3 だけで偏析層の屈折率を相殺することも可能である。

【0021】

B_2O_3 による相殺を行なう場合は、火炎堆積法で多孔質ガラス層を形成するに当たって、 B_2O_3 を生成する原料ガスの供給量を当初は多く途中で減少させることによって B_2O_3 の添加量を変化させ、 P_2O_5 の偏析層での B_2O_3 の添加量を他の部分での B_2O_3 の添加量よりも増量する。これによって、 P_2O_5 の偏析層での P_2O_5 の濃度が高くなっているに伴う屈折率の上昇分を B_2O_3 の添加量の増加に伴う屈折率の低下によって相殺することが出来る。

【0022】

図3(A)(B)は、それぞれその場合の上部クラッド部の各ドーパントの濃度の分布と各ドーパントによる屈折率の変化を説明するグラフである。縦軸は上部クラッド部における基板又はコア導波路からの距離を示し、横軸は図3(A)の場合はドーパント濃度を、図3(B)の場合は屈折率変化を示す。上部クラッド部の基板又はコア導波路に近い部分には P_2O_5 の偏析層が出来ており、偏析層では他の部分に比較して P_2O_5 及び B_2O_3 の濃度が高くなっている。

10

20

30

40

50

【0023】

これによって図3(B)に示すように、 P_2O_5 によって屈折率は、偏析層部分では+側に大きく、それ以外の部分では+側に少し変化する。そして、 B_2O_3 によって屈折率は、偏析層部分では-側に大きく、それ以外の部分では-側に少し変化させる。 P_2O_5 、 B_2O_3 を合わせた屈折率の変化は、偏析層部分及びそれ以外の部分でそれぞれほぼ零となるようにそれぞれのドーパント濃度を調整する。

【0024】

また、 P_2O_5 の偏析層での屈折率変化をフッ素の添加又は B_2O_3 の増量によってそれぞれ単独で相殺することも出来るが、フッ素の添加及び B_2O_3 の増量を併せて行い、フッ素及び B_2O_3 の両方でもって P_2O_5 の偏析層の屈折率変化を相殺し、偏析層の屈折率を上部クラッド部の他の部分の屈折率とほぼ同等にすることも可能である。また、フッ素の添加は熱膨張係数を下げる方向に作用し、上部クラッド部と基板との熱膨張係数の差を小さくするので、熱歪み発生に伴う偏波依存性が小さくなるという更なる効果を奏することが出来る。

10

【0025】

また、 P_2O_5 の偏析層の P_2O_5 の濃度は、上部クラッド部と基板及びコア導波路との界面における結晶の成長に影響することが分かった。図4は、偏析層の P_2O_5 の濃度と結晶の発生個数の関係を示すグラフである。これによれば、 P_2O_5 偏析層における P_2O_5 の濃度を1重量%以上にすると結晶の発生個数を零にすることが出来る。なお、結晶の発生を抑えるための P_2O_5 の偏析層の厚さは幾らでも良いが、製造の容易性から1.5 μm 以上が好ましい。また、図5は、 P_2O_5 偏析層の厚さとTE偏波・TM偏波における透過中心波長のずれ($PD\lambda$)との関係を示すグラフである。これによると偏析層の厚さが小さいほど、 $PD\lambda$ は小さくなり、偏波依存性は良くなる。また、偏析層の厚さが5 μm 以下なら、 $PD\lambda$ は0.03 nm以下であり実用上は支障は生じない。

20

【0026】

なお、基板1のコア導波路2に接する部分は、基板1のそれ以外の部分より、少なくとも偏析層3aの厚みだけ突出させると好都合である。この様にすると、コア導波路近くにおいて、 P_2O_5 濃度の大きな部分が、さらに減少するので、コア導波路を取り囲む基板及び上部クラッド部の熱膨張係数の差に基づくコア導波路に異方性の熱歪みによる偏波依存性をさらに抑制することが出来る。

30

【0027】

【実施例】

「実施例1」として、次の石英系光導波路を製作した。厚さ0.5 mm、直径10 cmの石英ガラスからなる基板上に、プラズマCVD法にて GeO_2 をドーブした SiO_2 からなるコアガラス膜を形成した。コアガラス膜の厚さは6 μm 、石英ガラス基板との比屈折率差は0.75%であった。そのコアガラス膜からフォトリソグラフィー及び反応性イオンエッチングによってアレイ導波型合分波器(AWG)の回路からなるコア導波路を作成した。

【0028】

次いでそのコア導波路が形成された基板をシリコンからなるホルダにて把持し、それをターンテーブルのシリコンで形成された部分の上に載置して、ターンテーブルの下側に配置したヒータでターンテーブルを600℃に加熱し回転させながら、基板上に火炎堆積法にて P_2O_5 及び B_2O_3 をドーブした SiO_2 からなる多孔質ガラス層を形成した。次に、多孔質ガラス層が形成された基板を焼結炉内に入れて SiF_4 /ヘリウムガスの混合ガスを流しながらその雰囲気下で1000℃で1時間加熱した。その後、 SiF_4 の供給を停止し、ヘリウムガスのみを流しながらその雰囲気下で1300℃で1時間加熱し、多孔質ガラス層を透明ガラス化した。

40

【0029】

それによってコア導波路を覆って基板上に厚さ30 μm の上部クラッド部が形成されたアレイ導波型合分波器(AWG)の回路を有する石英系光導波路を得た。その石英系光導波

50

路の上部クラッド部とコア導波路との界面に結晶の成長が見られるか調べたが結晶の成長は無かった。また、石英系光導波路の一部を切断して上部クラッド部の各ドーパント濃度の測定を行なった。その結果、上部クラッド部の基板及びコア導波路に接する部分には、 P_2O_5 の濃度が高くなった偏析層が出来ており、その厚さは $4\mu m$ 、 P_2O_5 の濃度は 1.8 重量%であった。また、同じ箇所にフッ素の偏析層も出来ており、その厚さは $4\mu m$ 、フッ素の濃度は 0.5 重量%であった。また、偏析層以外の部分では P_2O_5 の濃度は 1.2 重量%、フッ素の濃度は 0.1 重量%以下であった。なお、 B_2O_3 の濃度は、上部クラッド部全体にわたって 1.5 重量%で偏析はしていなかった。

【0030】

また、そのアレイ導波型合分波器 (AWG) の回路を有する石英系光導波路について、光学特性を評価したところ、挿入損失は $3\text{ dB} \sim 4\text{ dB}$ 、クロストークは $-28\text{ dB} \sim -35\text{ dB}$ 、TE偏波・TM偏波における透過中心波長のずれ ($PD\lambda$ とも呼ばれる) は 0.015 nm で非常に良好な値であった。 10

【0031】

「実施例2」として、次の石英系光導波路を製作した。厚さ 1.0 mm 、直径 10 cm のシリコンからなる平板上にプラズマCVD法にて SiO_2 からなるガラス膜を形成したものを基板として使用し、その基板の上に、プラズマCVD法にて GeO_2 をドーブした SiO_2 からなるコアガラス膜を形成した。コアガラス膜の厚さは $6\mu m$ 、石英ガラス基板との比屈折率差は 0.75% であった。そのコアガラス膜からフォトリソグラフィ及び反応性イオンエッチングによってアレイ導波型合分波器 (AWG) の回路からなるコア導波路を作成した。 20

【0032】

次いでそのコア導波路が形成された基板をシリコンからなるホルダにて把持し、それをターンテーブルのシリコンで形成された部分の上に載置して、ターンテーブルの下側に配置したヒータでターンテーブルを 500°C に加熱し回転させながら、基板上に火炎堆積法にて P_2O_5 及び B_2O_3 をドーブした SiO_2 からなる多孔質ガラス層を形成した。その際、コア導波路及び基板付近では B_2O_3 の添加濃度が高くなるように最初のバーナトラバース4回分はB原料投入量をそれ以降のバーナトラバース40回分のB原料投入量の8倍に設定した。次に、多孔質ガラス層が形成された基板を焼結炉内に入れてヘリウムガス雰囲気下で 1100°C で2時間加熱し、多孔質ガラス層を透明ガラス化し上部クラッド部とした。 30

【0033】

それによってコア導波路を覆って基板上に厚さ $30\mu m$ の上部クラッド部が形成されたアレイ導波型合分波器 (AWG) の回路を有する石英系光導波路を得た。その石英系光導波路の上部クラッド部とコア導波路及び基板との界面に結晶の成長が見られるか調べたが結晶の成長は無かった。また、石英系光導波路の一部を切断して上部クラッド部の各ドーパント濃度の測定を行なった。その結果、上部クラッド部の基板及びコア導波路に接する部分には、 P_2O_5 の濃度が高くなった偏析層が出来ており、その厚さは約 $5\mu m$ 、 P_2O_5 の濃度は 10 重量%であった。また、コア導波路及び基板に近い側では B_2O_3 の濃度も高くなっておりその部分での B_2O_3 濃度は 15 重量%、その部分の厚さは約 $5\mu m$ であった。また、その他の部分での P_2O_5 濃度は 8 重量%、 B_2O_3 濃度は 12 重量%であった。 40

【0034】

また、そのアレイ導波型合分波器 (AWG) の回路を有する石英系光導波路について、光学特性を評価したところ、挿入損失は $3\text{ dB} \sim 4\text{ dB}$ 、クロストークは $-25\text{ dB} \sim -32\text{ dB}$ 、TE偏波・TM偏波における透過中心波長のずれ ($PD\lambda$ とも呼ばれる) は 0.03 nm で実用上良好な値であった。

【0035】

「比較例1」として次の石英系光導波路を製造した。基板上への多孔質ガラス層の形成までは、実施例1と同じとした。多孔質ガラス層を形成した基板を焼結炉内に入れて、ヘリ 50

ウムガス雰囲気として1300℃で1時間加熱し、多孔質ガラス層を透明ガラス化した。それによってコア導波路を覆って基板上に厚さ30μmの上部クラッド部が形成されたアレイ導波型合分波器(AWG)の回路を有する石英系光導波路を得た。その石英系光導波路の上部クラッド部とコア導波路との界面に結晶の成長が見られるか調べたが結晶の成長はなかった。

【0036】

また、石英系光導波路の一部を切断して上部クラッド部の各ドーパント濃度の測定を行なった。その結果、上部クラッド部の基板及びコア導波路に接する部分には、 P_2O_5 の濃度が高くなった偏析層が出来ており、その厚さは4μm、 P_2O_5 の濃度は1.8重量%であった。また、偏析層以外の部分では P_2O_5 の濃度は1.2重量%、であった。なお、 B_2O_3 の濃度は、上部クラッド部全体にわたって1.5重量%で偏析はしていなかった。

10

【0037】

また、そのアレイ導波型合分波器(AWG)の回路を有する石英系光導波路について、光学特性を評価したところ、挿入損失は3dB~4dB、クロストークは-20dB~-27dB、TE偏波・TM偏波における透過中心波長のずれ(PDλとも呼ばれる)は0.04nmで、実施例1及び実施例2に比べるとクロストーク、透過中心波長のずれ共に大きかった。

【0038】

「比較例2」として次の石英系光導波路を製造した。基板上へのコア導波路の形成までは実施例1と同じとした。また、基板上への多孔質ガラス層の形成に当たっては、ターンテーブルの加熱温度を300℃としたほかは、実施例1と同じとした。また、多孔質ガラス層を形成した基板を焼結炉内に入れて、ヘリウムガス雰囲気として1300℃で1時間加熱し、多孔質ガラス層を透明ガラス化した。それによってコア導波路を覆って基板上に厚さ30μmの上部クラッド部が形成されたアレイ導波型合分波器(AWG)の回路を有する石英系光導波路を得た。

20

【0039】

その石英系光導波路の上部クラッド部とコア導波路との界面調べたところ、結晶の点在が見られた。また、石英系光導波路の一部を切断して上部クラッド部の各ドーパント濃度の測定を行なった。その結果、上部クラッド部全体にわたって P_2O_5 の濃度は1.3重量%で偏析はしていなかった。また、 B_2O_3 の濃度は、上部クラッド部全体にわたって1.5重量%で偏析はしていなかった。また、そのアレイ導波型合分波器(AWG)の回路を有する石英系光導波路について、光学特性を評価したところ、挿入損失は5dB~8dB、クロストークは-15dB~-20dBで光学特性は実施例1及び実施例2に比べてかなり劣っていた。また、比較例1と比較しても良くなかった。

30

【0040】

【発明の効果】

本発明の石英系光導波路は、基板上のコア導波路を覆うように設けた上部クラッド部の基板及びコア導波路に接する部分に、屈折率上昇用ドーパントの濃度が高くなった偏析層を形成し、その偏析層の偏析層以外の部分に対する屈折率の上昇分の少なくとも一部を、偏析層において添加された屈折率低下用ドーパントの添加量の増加又は／及び別の屈折率低下用ドーパントの添加による屈折率の低下によって相殺したものである。従って、偏析層による屈折率の高さは緩和されるので、コア導波路の間隔が狭くても回路間の干渉が起り難くなる。

40

【0041】

また、 P_2O_5 の偏析層があることによって、コア導波路を取り囲む基板及び上部クラッド部の熱膨張係数の差に基づくコア導波路に異方性の熱歪みによる偏波依存性を抑制することが出来、更に上部クラッド部とコア導波路の界面での結晶の成長を抑制して伝送損失の小さい光導波路とすることが出来る。また、 P_2O_5 偏析層の屈折率上昇分をフッ素添

50

加によって相殺することになれば、フッ素の添加は熱膨張係数を下げる方向に作用し、上部クラッド部と基板との熱膨張係数の差を小さくするので、熱歪み発生に伴う偏波依存性が更に小さくすることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の石英系光導波路の実施形態を示す横断面図である。

【図 2】 (A) (B) は、 P_2O_5 偏析層の屈折率の上昇分をフッ素の添加で相殺する場合の、上部クラッド部の各ドーパントの濃度の分布と各ドーパントによる屈折率の変化を説明するグラフである。

【図 3】 (A) (B) は、 P_2O_5 偏析層の屈折率の上昇分を B_2O_3 の増量で相殺する場合の、上部クラッド部の各ドーパントの濃度の分布と各ドーパントによる屈折率の変化を説明するグラフである。

10

【図 4】 偏析層の P_2O_5 の濃度と結晶の発生個数の関係を示すグラフである。

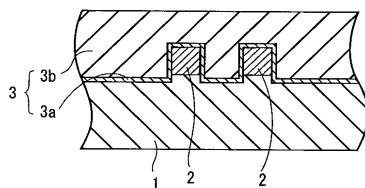
【図 5】 P_2O_5 偏析層の厚さと TE 偏波・TM 偏波における透過中心波長のずれ ($PD\lambda$) との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1：基板
- 2：コア導波路
- 3：上部クラッド部
- 3a：偏析層
- 3b：上部クラッド部の偏析層以外の部分

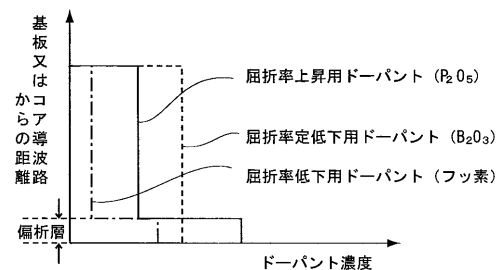
20

【図 1】

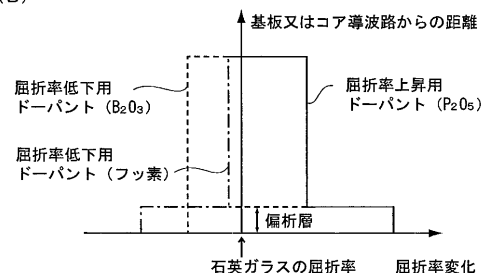


【図 2】

(A)

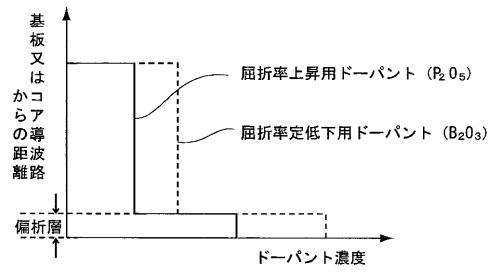


(B)

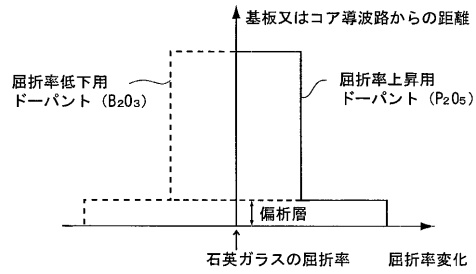


【図 3】

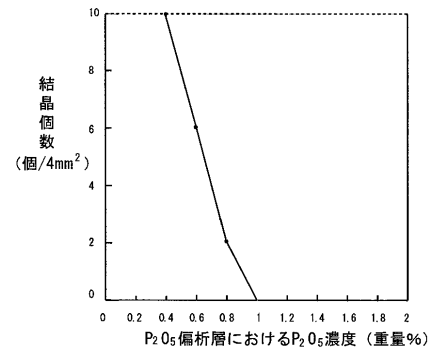
(A)



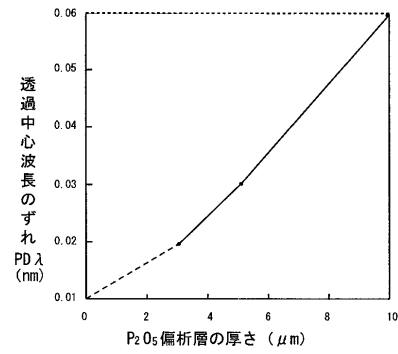
(B)



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 田中 茂
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
(72)発明者 広瀬 智財
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

審査官 日夏 貴史

- (56)参考文献 特開平04-344603 (JP, A)
特開平07-318734 (JP, A)
特開平05-232335 (JP, A)
特開平11-231152 (JP, A)
特開平06-27342 (JP, A)
特開平07-43541 (JP, A)
特開平06-265743 (JP, A)
特開平7-507151 (JP, A)
特開平1-169406 (JP, A)
特開平07-35936 (JP, A)
国際公開第01/25829 (WO, A1)
特開平08-114718 (JP, A)
特開平06-127959 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G02B 6/13 - 6/14
G02F 1/00 - 2/02