

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-510196
(P2004-510196A)

(43) 公表日 平成16年4月2日(2004.4.2)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO2B 6/12	GO2B 6/12	2H047
GO2B 6/12	GO2B 6/12	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2002-530889 (P2002-530889)	(71) 出願人	501042488
(86) (22) 出願日	平成13年9月25日 (2001.9.25)		ブックハム テクノロジー ピーエルシー
(85) 翻訳文提出日	平成15年3月26日 (2003.3.26)		イギリス、オックスフォードシャー オー
(86) 国際出願番号	PCT/GB2001/004270		エックス14 4アールワイ、アビングド
(87) 国際公開番号	W02002/027366		ン、ミルトン パーク 90
(87) 国際公開日	平成14年4月4日 (2002.4.4)	(74) 代理人	100078330
(31) 優先権主張番号	0023558.0		弁理士 笹島 富二雄
(32) 優先日	平成12年9月26日 (2000.9.26)	(74) 代理人	100087505
(33) 優先権主張国	イギリス (GB)		弁理士 西山 春之
(31) 優先権主張番号	09/708,452	(72) 発明者	ロバーツ, ステファン, ウィリアム
(32) 優先日	平成12年11月9日 (2000.11.9)		イギリス国、ハンツ エスオー22 4ピ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ーユー、ウィンチェスター、ハイフィール
			ド テラス 6
		Fターム(参考)	2H047 KA05 LA19 PA06 PA12 PA21
			PA24 QA02 QA04 TA22
			最終頁に続く

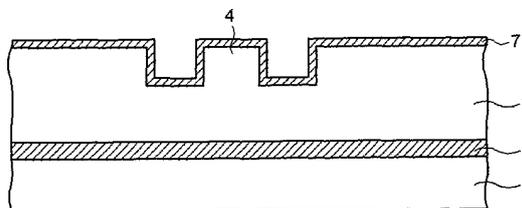
(54) 【発明の名称】 光導波路及びアレイ導波路格子における複屈折の制御

(57) 【要約】

【課題】シリコンで作製されたリブ型導波路における複屈折を制御する。

【解決手段】リブ型導波路は、上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメント(4)を含んで構成される。本方法は、リブ型導波路の少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層(7)を所定の厚さで形成することを含む。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコンで作製されたリブ型導波路における複屈折を制御する方法であって、前記リブ型導波路は、上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメントを含んで構成され、前記縦長のリブエレメントの少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層を所定の厚さで設けることを含む方法。

【請求項 2】

前記縦長のリブエレメントの一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層を設けることを含み、熱酸化物層の厚さ及びこの熱酸化物層が形成される縦長のリブエレメントの前記一部の長さを選択して、前記導波路における複屈折を実質的になくす請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

シリコン製のリブ型導波路の少なくとも一部に熱酸化物の層を所定の厚さで形成することにより複屈折を制御する、リブ型導波路を作製する方法における前記層の使用。

【請求項 4】

シリコンリブ型導波路を作製する方法であって、上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメントをシリコン基板に形成することと、前記縦長のリブエレメントの少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層を所定の厚さで設けることを含んで構成され、この所定の厚さを選択して、リブ型導波路における複屈折を制御する方法。

20

【請求項 5】

シリコンリブ型導波路を作製する方法であって、上面及び2つの側面を有する少なくとも1つの縦長のリブエレメントを含む複数の光学コンポーネントをシリコン基板に形成することと、前記複数の光学コンポーネント上で熱酸化物の層を成長させることと、1つ又は1組の前記光学コンポーネントから前記酸化層を、少なくとも前記縦長のリブエレメントの部分の少なくとも前記縦長のリブエレメント上に熱酸化物層を残して、選択的にエッチングすることとを含んで構成され、前記熱酸化物の層の厚さを選択して、前記縦長のリブエレメントにおける複屈折を制御する方法。

【請求項 6】

シリコンで作製された、異なる光路長及び固有の複屈折性を有する少なくとも2つのリブ型導波路を含む干渉式光学装置であって、各リブ型導波路は、上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメントを含んで構成され、前記2つの縦長のリブエレメントの少なくとも一方の少なくとも一部に熱酸化物の層が設けられ、前記2つのリブ型導波路の複屈折性が実質的に等しい装置。

30

【請求項 7】

シリコンで作製された、異なる光路長及び固有の複屈折性を有する一列のリブ型導波路を含んで構成され、各リブ型導波路が上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメントを含んで構成されるアレイ導波路格子を含む光学装置であって、前記縦長のリブエレメントの少なくとも幾つかの少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層が設けられ、前記各リブ型導波路の複屈折性が実質的に等しい装置。

40

【請求項 8】

シリコン製の一列のリブ型導波路の少なくとも幾つかの少なくとも一部に熱酸化物の層を所定の厚さで形成することにより複屈折を制御する、一列のリブ型導波路を含んで構成されるアレイ導波路格子を作製する方法における前記層の使用。

【請求項 9】

一列のシリコンリブ型導波路を含んで構成されるアレイ導波路格子を作製する方法であって、それぞれが上面及び2つの側面を有する一列の縦長のリブエレメントをシリコン基板に形成することと、

50

前記縦長のリブエレメントの少なくとも幾つかの少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層を所定の厚さで設けることとを含んで構成され、前記所定の厚さを選択して、前記アレイ導波路格子における複屈折を制御する方法。

【請求項 10】

前記一列のリブ型導波路は、シリコン基板の表面下を延伸する一列の縦長のトレンチを形成することにより設けられ、前記トレンチの側壁は、前記縦長のリブエレメントの前記側面を形成し、前記縦長のリブエレメントの前記上面は、シリコン基板の前記表面と一致する請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

一体光学装置を作製する方法であって、

それぞれが上面及び 2 つの側面を有する一列の縦長のリブエレメントを含んで構成されるアレイ導波路格子を含む複数の光学コンポーネントをシリコン基板に形成することと、前記複数の光学コンポーネント上に熱酸化物の層を成長させることと、

1 つ又は 1 組の前記光学コンポーネントから前記酸化層を、少なくとも前記一列の縦長のリブエレメントの部分の前記一列の縦長のリブエレメント上に熱酸化層を残して、選択的にエッチングすることとを含んで構成され、前記熱酸化物の層の厚さを選択して、前記一列の縦長のリブエレメントにおける複屈折を制御する方法。

【請求項 12】

シリコン基板に形成された複数の光学コンポーネントを含んで構成され、前記光学コンポーネントは、それぞれが上面及び 2 つの側面を有する一列の縦長のリブエレメントと、前記一列の縦長のリブエレメントの少なくとも一部に設けられた熱酸化物の層とを含んで構成されるアレイ導波路格子を含み、前記熱酸化物の層の厚さが選択されて、前記一列の縦長のリブエレメントにおける複屈折が制御され、前記複数の光学コンポーネントの少なくとも 1 つが前記熱酸化層を介して露出された一体光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光導波路、特にシリコンリブ型導波路における複屈折の制御に関し、また、アレイ導波路格子における複屈折の制御に関する。

【0002】

【従来の技術】

よく知られたように、複屈折は、光導波路に関する重大な問題を生じる。複屈折は、多くの異なる発生因子を持ち、それらの因子の各々が、光を異なる態様で偏光させ、異なる屈折率を与える。これにより、異なる偏りを持つ光が、導波路を介して異なって伝送されることとなり、結果として、ランダムな偏り及び特に伝搬損失を持つ光を受けた装置の動作は、予期不能なものとなる。複屈折のよく知られた発生因子として、導波路の結晶構造、（光を案内する断面で見たときの）導波路の形状、及び導波路で構成された経路におけるあらゆる曲げ、基板の不連続等の結果として生じる応力及び歪みがある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

シリコン - オン - インシュレータチップ上に作製されたリブ型導波路が知られている。PCT 特許明細書第 WO 95 / 08787 号には、そのような構成の一例が記載されている。この形態の導波路は、光ファイバに接続することが可能であり、かつ他の一体コンポーネントとの互換性を持つ、典型的には 3 ~ 5 ミクロンのオーダの寸法の単一モード、かつ（典型的には 1.2 ~ 1.6 ミクロンの波長範囲について 0.2 dB / cm 未満の）低損失な導波路を提供する。また、この形態の導波路は、（上記の WO 95 / 08787 号に記載のように）従来のシリコン - オン - インシュレータウェーハから容易に作製することが可能であるため、作製費用が比較的安価である。本発明の目的は、このタイプの構造において、複屈折を制御することである。

【0004】

10

20

30

40

50

図7に平面で示すアレイ導波路格子では、複屈折は、伝搬光の偏りが変化したときのパスバンド周波数中心値のシフトとして実験的に確認することのできる偏光依存周波数(PDF)を生じさせる(図8)。本発明の他の目的は、このタイプの構造において、偏光依存周波数効果を制御することである。

【0005】

シリコンリブ型導波路上に熱酸化物の層を形成した場合に、この層がTM及びTE偏光の相対的な伝搬に影響する物理的な応力を、シリコンリブ型導波路に固有な複屈折の発生因子の全体的な影響とは反対の方向に生じさせることが判明している。また、応力を生じさせる熱酸化層がTM及びTE偏光の相対的な伝搬に影響する度合いは、熱酸化層を形成する厚さに依存することも判明している。

10

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明の一形態によれば、シリコンで作製されたリブ型導波路における複屈折を制御する方法が提供され、前記リブ型導波路は、上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメントを含んで構成され、この方法は、前記リブ型導波路の少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層を所定の厚さで設けることを含む。

【0007】

一実施例では、熱酸化物の層は、導波路の一部に設けられ、その熱酸化層の厚さ及びこれが形成される導波路の部分の長さは、導波路における複屈折が実質的になくなるように選択される。

20

【0008】

しかしながら、リブ型導波路を含んで構成される光学装置が使用されるアプリケーションに応じ、前記熱酸化層は、制御された、ゼロでない所定レベルの複屈折が導波路に残るように形成される場合があり、その複屈折は、熱酸化層が形成される前の導波路における複屈折と比較して大きく又は小さい場合がある。

【0009】

本発明の他の形態によれば、シリコン製のリブ型導波路の少なくとも一部に熱酸化物の層を所定の厚さで形成することにより複屈折を制御するための、リブ型導波路を作製する方法における前記熱酸化物の層の使用が提供される。

【0010】

本発明の他の形態によれば、上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメントをシリコン基板に形成することと、前記縦長のリブエレメントの少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層を所定の厚さで設けることを含んで構成され、リブ型導波路における複屈折が制御されるように前記所定の厚さを選択する、シリコンリブ型導波路を作製する方法が提供される。

30

【0011】

本発明の他の形態によれば、シリコンリブ型導波路を作製する方法が提供され、この方法は、上面及び2つの側面を有する少なくとも1つの縦長のリブエレメントを含む複数の光学コンポーネントをシリコン基板に形成することと、前記複数の光学コンポーネント上に熱酸化物の層を成長させることと、1つ又は1組の前記光学コンポーネントから前記酸化層を、少なくとも前記縦長のリブエレメントの部分の少なくとも前記縦長のリブエレメント上に熱酸化層を残して、選択的にエッチングすることとを含んで構成され、前記熱酸化物の層の厚さを選択して、前記縦長のリブエレメントにおける複屈折を制御する。

40

【0012】

本発明の他の形態によれば、異なる光路長及び固有の複屈折性を有する、シリコンで作製された少なくとも2つのリブ型導波路を含む干渉式光学装置が提供され、前記2つのリブ型導波路の少なくとも一方の少なくとも一部に、前記2つのリブ型導波路の複屈折性が実質的に等しくなるように熱酸化物の層が設けられる。

【0013】

本発明の他の形態によれば、異なる光路長及び固有の複屈折性を有する、シリコンで作製

50

された一列のリブ型導波路を含んで構成されるアレイ導波路格子を含む光学装置が提供され、各リブ型導波路は、上面及び2つの側面を有する縦長のリブエレメントを含んで構成され、前記縦長のリブエレメントの少なくとも幾つかの少なくとも一部の前記上面及び側面に、各リブ型導波路の複屈折性が実質的に等しくなるように熱酸化物の層が設けられる。

【0014】

本発明のこの形態では、偏光依存周波数のシフトを実質的にゼロに減少させるように前記熱酸化層が形成される。また、アレイ導波路格子における複屈折を制御する本発明による方法では、前記熱酸化層は、そのアレイ導波路格子が使用されることとなるアプリケーションに応じ、偏光依存周波数のシフトを、その熱酸化層の形成前における偏光依存周波数よりも大きく又は小さな、ゼロでない所定の量に制御するように形成される。

10

【0015】

本発明の他の形態によれば、シリコン製の一列のリブ型導波路を含んで構成されるアレイ導波路格子を作製する方法における熱酸化物の層の使用が提供され、前記リブ型導波路の少なくとも幾つかの少なくとも一部に前記層を所定の厚さで形成することにより複屈折を制御する。

【0016】

本発明の他の形態によれば、それぞれが上面及び2つの側面を有する一列の縦長のリブエレメントをシリコン基板に形成することと、前記縦長のリブエレメントの少なくとも幾つかの少なくとも一部の前記上面及び側面に熱酸化物の層を所定の厚さで提供することとを含んで構成される、一列のシリコンリブ型導波路を含んで構成されるアレイ導波路格子を作製する方法が提供され、そのアレイ導波路格子における複屈折が制御されるように前記所定の厚さを選択する。

20

【0017】

本発明の他の形態によれば、一体光学装置を作製する方法が提供され、この方法は、それぞれが上面及び2つの側面を有する一列の縦長のリブエレメントを含んで構成されるアレイ導波路格子を含む複数の光学コンポーネントをシリコン基板に形成することと、前記複数の光学コンポーネント上に熱酸化物の層を成長させることと、1つ又は1組の前記光学コンポーネントから前記酸化層を、少なくとも前記一列の縦長のリブエレメントの一部の前記一列の縦長のリブエレメント上に熱酸化層を残して、選択的にエッチングすることとを含んで構成され、前記熱酸化物の層の厚さを選択して、前記一列の縦長のリブエレメントにおける複屈折を制御する。

30

【0018】

本発明の他の形態によれば、シリコン基板に形成された複数の光学コンポーネントを含んで構成される一体光学装置が提供され、前記光学コンポーネントは、それぞれが上面及び2つの側面を有する一列の縦長のリブエレメントと、前記一列の縦長のリブエレメントの少なくとも一部に設けられた熱酸化物の層とを含んで構成されるアレイ導波路格子を含み、前記熱酸化物の層の厚さを選択して、前記一列の縦長のリブエレメントにおける複屈折が制御され、前記複数の光学コンポーネントの少なくとも1つが前記熱酸化層を介して露出される。

40

【0019】

本発明をより詳細に理解するため、及び本発明がいかに実施されるかを示すため、添付の図面を例示として参照する。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明の好ましい実施形態によるシリコンリブ型導波路を作製する方法について説明する。ここで述べる導波路は、シリコン-オン-インシュレータチップを基礎としている。このタイプのチップを形成するプロセスは、J. Morgailらによる論文(“Reduced defect density in silicon-on-insulator structures formed by oxygen implantation

50

in two steps”、Appl. Phys. Lett.、54、p526、1989)に記載されている。この論文には、シリコン-オン-インシュレータウェーハを作製するプロセスが記載されている。このウェーハのシリコン層を、たとえばエピタキシャル成長により増大させ、ここで述べる一体導波路の基礎を形成するのに適したものとする。図1は、そのようなシリコン-オン-インシュレータウェーハの断面を示しており、縦長のリブエレメントが形成されている。このウェーハ又はチップは、二酸化シリコン層3によりシリコン基板2から分離されたシリコン層1を含んで構成される。縦長のリブエレメント4は、このシリコン層1にエッチングにより形成される。

【0021】

縦長のリブエレメント4の幅は、典型的には1~10ミクロン、特に3~5ミクロンのオーダーである。 10

光波を案内するうえで問題となるのは、複屈折性を持つ物質が光の異なる偏りに対して異なる屈折率を示すことである。案内される光の方向性を制御することが困難であるか、あるいはこれが不可能である導波路では、この問題により重大な問題が生じ、特に大きな損失の原因となる。熱酸化層を使用して、たとえばここで述べるリブ型導波路の複屈折性を実質的に低減し又は特になくすことができることが判明している。

【0022】

続く処理ステップでは、1050での熱成長により酸化層が形成される。この層は、図2に符号7で示されている。図2では、図1におけると同じ部分を同じ符号で示している。 20

【0023】

熱酸化物の成長は、多数のシリコン導波路及び他の光学コンポーネントと結合したウェーハの表面全体で生じる。このウェーハには、他の一体光学コンポーネントを形成してもよい。ウェーハ上にフォトレジスト8が置かれ、ウェーハの選択部分からエッチングされる。ここで、熱酸化層が必要なウェーハの部分にフォトレジスト部8が残される。

【0024】

次いで、HFエッチングが行われて熱酸化層7のうち保護されていない部分が除去され、縦長のリブエレメント4の上面5及び側面6上の層が残される。

最終的な構造は、図4に示すようである。すなわち、熱酸化物の層は、この最終的な構造において、縦長のリブエレメント4の上面及び側面5、6上に残されている。 30

【0025】

一実施形態では、熱酸化物は、縦長のリブエレメントの選択部分のみの上面及び側面に残される。この熱形成層の厚さは、熱酸化物が設けられた導波路の部分が熱酸化層が設けられていない導波路の部分とは反対の符号の複屈折性を持つように選択される。たとえばうね(リッジ)の高さが4.3μm、うねの幅が5.8μm、エッチングの深さが1.7μmである導波路の複屈折性が、1050で湿潤成長させた0.35ミクロンの熱酸化層を設けることにより(複屈折性を $n_{TE} - n_{TM}$ で定義したときに) $+3.1 \times 10^{-4}$ から -0.55×10^{-4} に低減すること、及びうねの高さが4.3μm、うねの幅が3.8μm、エッチングの深さが2.3μmである導波路の複屈折性が、同様な熱酸化層を設けることにより $+1.8 \times 10^{-4}$ から -6.4×10^{-4} に低減することが実験により確認されている。熱酸化層が設けられた縦長のリブエレメントの部分の相対的な長さは、導波路全体の複屈折性が実質的にゼロとなるように選択される。たとえば熱酸化物が設けられる導波路の部分が、熱酸化層のない導波路の部分と比較して5倍の大きさの複屈折性を有するとすれば、熱酸化層が設けられる部分の長さは、導波路における複屈折が全体として実質的になくなるように、熱酸化層のない部分の長さの1/5に設定する。 40

【0026】

他の実施形態では、縦長のリブエレメント全体の上面及び側面に熱酸化物のブランケット層が残され、その熱酸化層の厚さは、導波路全体の複屈折性が実質的にゼロとなるように選択される。

【0027】

上記の実施形態の特徴として記載してはいないが、熱酸化層は、シリコン基板の表面全体に残すこととしてもよい。また、基板の側面上で熱酸化層を広げる範囲を変化させることで、導波路における複屈折を制御することができると考えられる。

【0028】

アレイ導波路格子における複屈折の制御への本発明の適用について、以下に一例を述べる。

デマルチプレクサ等の一体光学コンポーネントは、図7に平面で概略を示すもののようなアレイ導波路格子を含んで構成される。このような格子は、一定量だけ光路長を増大させたリブ型導波路12の列から第1の自由伝搬領域16により分離された入力リブ型導波路10と、このリブ型導波路の列から第2の自由伝搬領域18により分離された1組の出力リブ型導波路14とを有する、上記の種類シリコン-オン-インシュレータウェーハ8を含んで構成されるのが典型的である。出力リブ型導波路は、ウェーハ8の端縁に並列に配列されている。リブ型導波路は、図6に黒色で示すようにエピタキシャルシリコン層にエッチングされた溝により形成されている。

【0029】

上記のように、導波路における複屈折は、パスバンド周波数中心値のシフトとして実験的に確認することのできる偏光依存周波数効果をもたらす。本発明者は、並んだリブ型導波路上に熱酸化層を成長させることによりその効果が制御可能であることを認識した。

【0030】

導波路の列は、次の条件のもとで形成する。シリコン層を $1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ の厚さにエピタキシャル成長させた後、トレンチをエピタキシャルシリコンの厚さの $10\% \sim 90\%$ に相当する深さにエッチングし、 $1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ の範囲の幅と、 $1\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ の範囲の隔離距離とを有する一列のリブを残す。そして、列全体に対し、熱酸化物の層を $800 \sim 1200$ の範囲の酸化成長温度で $0.01\mu\text{m} \sim 1.0\mu\text{m}$ の範囲の厚さに形成する。

【0031】

図5は、このような熱酸化層が設けられた導波路の断面を示している。3つの導波路のみが示されているが、より多くの導波路を含んで列が構成されるのが典型的である。図5では、図4における同じ部分を同じ符号で示している。

【0032】

図7に示す実施形態では、アレイ導波路格子の選択部分から上記の技術により熱酸化層がエッチングされ、アレイ導波路格子の選択部分に三角形の頭を切り落とした形状の熱酸化物パッチ30が残されている。

【0033】

このアレイ導波路格子の各導波路は、長さ及び曲率が異なるため、固有の構造的な複屈折性が異なる。熱酸化物パッチ30は、この列の各導波路における全体的な複屈折が実質的に同じとなるように構成されている。熱酸化層は、それが形成された導波路の部分の複屈折性を低減させる(複屈折性は、TE及びTMモードの屈折率の差、すなわち、 $n_{TE} - n_{TM}$ として定義する。)。固有の構造的な複屈折性は、並んだ導波路のうちで長いものほど大きくなる。このため、熱酸化物パッチは、並んだ導波路の間での固有の複屈折性の違いを補うように、熱酸化層が設けられた各導波路の部分の長さが、図7に示すように導波路の長さの増大とともに増大するように構成されている。熱酸化層の厚さ及びパッチの形状は、並んだ導波路のそれぞれについて、全体的な複屈折性のレベルが実質的に共通するように、あるいは全体的な複屈折性が実質的にゼロとなるように選択される。

【0034】

他の実施形態では、熱酸化物のブランケット層がアレイ導波路格子全体に残され、その熱酸化層の厚さが選択されて、偏光依存周波数のシフトがゼロ(又はアレイ導波路格子が使用されることとなるアプリケーションに応じた他の所定量)に減少する。

【0035】

たとえば $4.3\mu\text{m}$ のシリコンのエピタキシャル厚さ、シリコンの厚さの 40% に相当す

10

20

30

40

50

るエッチングの深さ、 $4\ \mu\text{m}$ 又は $6\ \mu\text{m}$ のリブ型導波路の幅、 $5\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$ の範囲の導波路の隔離距離、及び 1050 の温度で $0.35\ \mu\text{m}$ の厚さに成長させた熱酸化層についてよい結果が得られている。

【0036】

図8は、熱酸化層の3つの異なる厚さに関し、アレイ導波路の公称隔離距離に対するPDFシフト測定値のプロットをそのような実施形態について示している。この図8のグラフが基づく結果は、隣り合う導波路の間で光路長に必要な増大分を持たせるため、列における個々の導波路同士の隔離距離が複雑に変化するアレイ導波路格子について得られたものである。第2の自由伝搬領域と結合するところでの導波路の隔離距離は、一定であり、ここで述べる導波路の公称隔離距離は、導波路同士の平均隔離距離にほぼ等しいと考えられるこのポイントでのものとしている。ここで述べる隔離距離は、図5にSで示すような隣り合う導波路の中心間距離をいう。

10

【0037】

アレイ導波路格子が形成されるウェーハは、シリコンで作製された他の追加の光学コンポーネントを含んで構成されてもよい。そのような実施形態では、熱酸化層は、選択エッチングを行って追加の光学コンポーネントを露出させることで、アレイ導波路格子及び追加の光学コンポーネント上に形成することができる。図6は、アレイ導波路格子の一部の概略を示しており、熱酸化層の一部が除去されて、追加の光学コンポーネント20が露出している。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】リブ型導波路の製造ステップを示す。

【図2】リブ型導波路の製造ステップを示す。

【図3】リブ型導波路の製造ステップを示す。

【図4】改良された複屈折のない構造を示す。

【図5】アレイ導波路格子のための、改良された複屈折のない一列の導波路を模式的に示す。

【図6】本発明により作製されたアレイ導波路格子の一部の概略を示す。

【図7】本発明により作製されたアレイ導波路格子の概略を平面で示す。

【図8】熱酸化層の異なる厚さに応じた平均PDFシフト及びアレイ導波路の公称隔離距離の関係を示す。

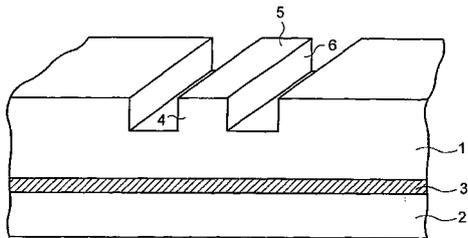
30

【図9】アレイ導波路格子における偏光によりパスバンド周波数がいかに変化するかを示す。

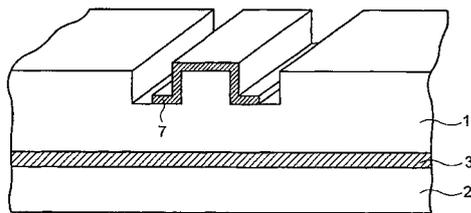
【符号の説明】

1 ... シリコン層、2 ... シリコン基板、3 ... 二酸化シリコン層、4 ... リブエレメント、5 ... (リブエレメントの) 上面、6 ... (リブエレメントの) 側面、7 ... 熱酸化層、8 ... フォトリソグレイ、10 ... 入力リブ型導波路、12 ... リブ型導波路、14 ... 出力リブ型導波路、16 ... 第1の自由伝搬領域、18 ... 第2の自由伝搬領域、20 ... 光学コンポーネント、30 ... 熱酸化物パッチ。

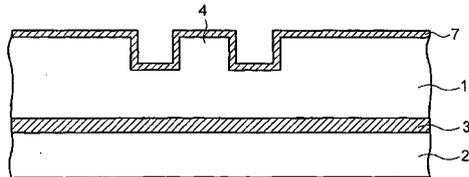
【図1】



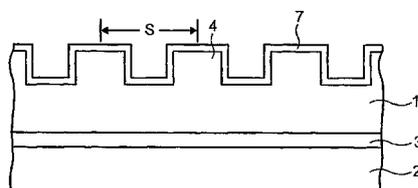
【図4】



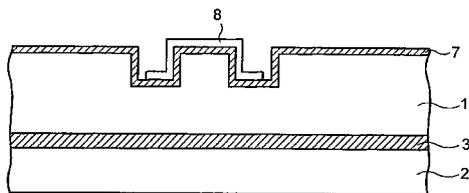
【図2】



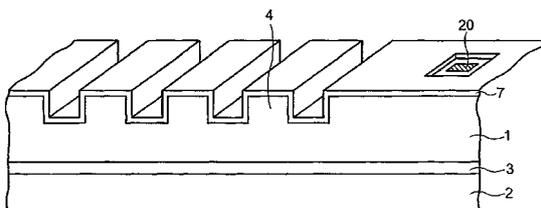
【図5】



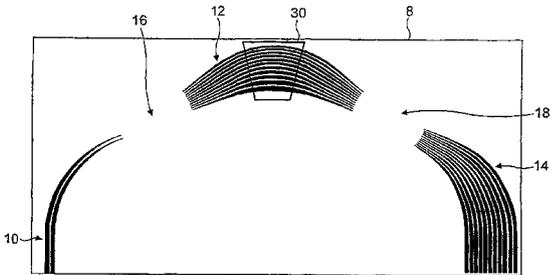
【図3】



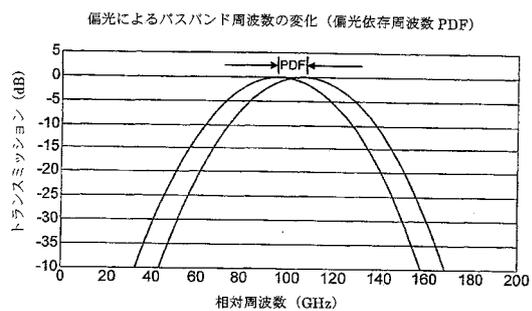
【図6】



【図7】

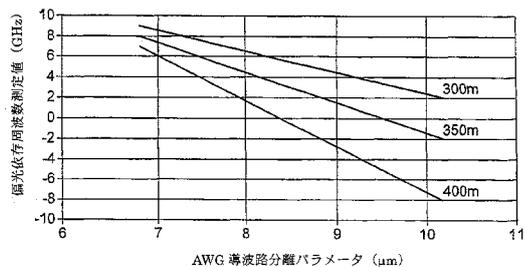


【図9】



【図8】

AWG 導波路分離パラメータ及び異なる3つの熱酸化層厚さに対する偏光依存周波数測定値



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
4 April 2002 (04.04.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/27366 A1

- (51) International Patent Classification*: **G02B 6/126, 6/12**
- (21) International Application Number: PCT/GB01/04270
- (22) International Filing Date:
25 September 2001 (25.09.2001)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:
0023558.0 26 September 2000 (26.09.2000) GB
09/7708,452 9 November 2000 (09.11.2000) US
- (71) Applicant (for all designated States except US):
BOOKHAM TECHNOLOGY PLC [GB/GB]; 90
Milton Park, Abingdon, Oxfordshire OX14 4RA (GB).
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:

- with international search report
- before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments

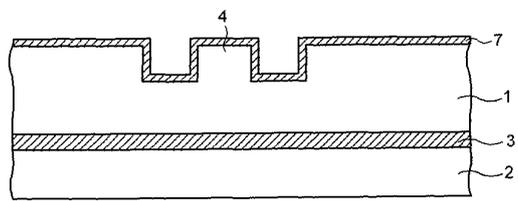
For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.



- (72) Inventor; and
- (75) Inventor/Applicant (for US only): **ROBERTS, Stephen, William** [GB/GB]; 6 Highfield Terrace, Winchester, Hants SO22 4PU (GB).
- (74) Agents: **DRIVER, Virginia, Rozanne** et al.; Page Whete & Farrer, 54 Doughty Street, London WC1N 2LS (GB).

(54) Title: CONTROLLING BIREFRINGENCE IN AN OPTICAL WAVEGUIDE AND IN AN ARRAYED WAVEGUIDE GRATING

WO 02/27366 A1



(57) Abstract: A method of controlling birefringence in a rib waveguide structure manufactured in silicon (1), the rib waveguide structure comprising an elongated rib element (4) having an upper face and two side faces, the method comprising forming a layer of thermal oxide (7) to a predetermined thickness on said upper face and side faces of at least a portion of said rib waveguide structure.

CONTROLLING BIREFRINGENCE IN AN OPTICAL WAVEGUIDE
AND IN AN ARRAYED WAVEGUIDE GRATING

The present invention relates to controlling birefringence in an optical waveguide, particularly a silicon rib waveguide structure, and also to controlling birefringence in an arrayed waveguide grating.

As is well known, birefringence represents a significant problem in optical waveguides. Birefringence can result from a number of different sources each of which causes light polarised in a different manner to be subjected to different refractive indices. This results in light of different polarisations being transmitted differently by the waveguide with the result that the behaviour of a device receiving light with a random polarisation, and in particular transmission losses, become unpredictable. Some well known sources of birefringence are the crystalline structure of waveguides, the shape of the waveguide (in terms of its light guiding cross section), and stress and strain induced as a result of any bends, substrate discontinuities etc. in the path of the waveguide.

Rib waveguide structures manufactured on a silicon-on-insulator chip are known. One such arrangement is described for example in PCT Patent Specification No. WO95/08787. This form of waveguide provides a single mode, low loss (typically less than 0.2 dB/cm for the wavelength range 1.2 to 1.6 microns) waveguide typically having dimensions in the order of 3 to 5 microns which can be coupled to optical fibres and which is compatible with other integrated components. This form of waveguide can also be easily fabricated from conventional silicon-on-insulator wafers (as described

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

in WO95/08787 referred to above) and so is relatively inexpensive to manufacture. It is an aim of the invention to control birefringence in structures of this type.

In an arrayed waveguide grating of the kind shown in plan view in Figure 6, birefringence can lead to polarisation-dependent frequency (PDF), which can be seen experimentally as a shift in passband centre frequency as the transmitted light polarisation is changed – see Figure 8. It is another aim of the present invention to control polarisation-dependent frequency effects in structures of this type.

It has been found that when a layer of thermal oxide is formed on a silicon rib waveguide structure, it induces a physical stress that effects the relative transmission of the TM and TE polarisations in an opposite way to the overall effect of the sources of birefringence inherent in the silicon rib waveguide. It has also been found that the degree to which the stress-inducing thermal oxide layer effects the relative transmission of the TM and TE polarisations depends on the thickness to which the thermal oxide is formed.

According to one aspect of the present invention there is provided a method of controlling birefringence in a rib waveguide structure manufactured in silicon, the rib waveguide structure comprising an elongated rib element having an upper face and two side faces, the method including: providing a layer of thermal oxide to a predetermined thickness on said upper face and side faces of at least a portion of said rib waveguide structure.

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

According to one embodiment, the layer of thermal oxide is provided on a portion of the waveguide structure, the thickness of the thermal oxide layer and the length of the portion of the waveguide structure over which it is formed being selected so as to substantially eliminate birefringence in the waveguide structure.

However, depending on the application to which the optical device comprising the rib waveguide structure is used, the thermal oxide layer may be formed so as to leave the waveguide with a controlled, predetermined, non-zero level of birefringence, which may be greater or smaller than the birefringence of the waveguide before the thermal oxide layer was formed.

According to another aspect of the present invention, there is provided the use of a layer of thermal oxide in a method of fabricating a rib waveguide structure in silicon to control birefringence by forming said layer to a predetermined thickness on at least a portion of said rib waveguide structure.

According to another aspect of the present invention, there is provided a method of manufacturing a silicon rib waveguide structure comprising: forming an elongated rib element in a silicon substrate, the elongated rib element having an upper face and two side faces; and providing a layer of thermal oxide to a predetermined thickness on said upper face and side faces on at least a portion of said elongated rib element, the predetermined thickness being selected such as to control birefringence in the rib waveguide structure.

According to another aspect of the present invention, there is provided a method of manufacturing a silicon rib waveguide structure, the method

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

comprising: forming a plurality of optical components in a silicon substrate, said optical components including at least one elongate rib element having an upper face and two side faces; growing a layer of thermal oxide on said plurality of optical components; selectively etching the oxide layer from one or a set of said optical components, but retaining the thermal oxide layer over said at least elongate rib element at least in a portion thereof, wherein the thickness of the layer of thermal oxide is selected to control birefringence in the elongate rib element.

According to another aspect of the present invention, there is provided an interferometric optical device including at least two rib waveguide structures manufactured in silicon and of different path lengths and inherent birefringences, wherein a layer of thermal oxide is provided on at least a portion of at least one of the two rib waveguide structures so as to substantially equalize the birefringence of the two rib waveguide structures.

According to another aspect of the present invention, there is provided an optical device including an array waveguide grating comprising an array of rib waveguide structures manufactured in silicon and having different path lengths and different inherent birefringences, each rib waveguide structure comprising an elongated rib element having an upper face and two side faces, wherein a layer of thermal oxide is provided on the upper and side faces of at least a portion of at least some of the elongated rib elements so as to substantially equalize the birefringence of each of the rib waveguide structures.

In this aspect of the present invention, the thermal oxide layer is formed so as to reduce the polarisation-dependent frequency shift to substantially zero. Alternatively, in a method of controlling birefringence in an array waveguide

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

grating according to the present invention, the thermal oxide layer may be formed so as to control the polarisation dependent frequency shift to a predetermined, non-zero amount, which may be more or less than the polarisation dependent frequency prior to formation of the thermal oxide layer, depending on the application to which the array waveguide grating is to be used.

According to another aspect of the present invention, there is provided the use of a layer of thermal oxide in a method of fabricating an array waveguide grating comprising an array of rib waveguide structures in silicon to control birefringence by forming said layer to a predetermined thickness on at least a portion of at least some of said rib waveguide structures.

According to another aspect of the present invention, there is provided a method of manufacturing an array waveguide grating comprising an array of silicon rib waveguide structures comprising: forming an array of elongated rib elements in a silicon substrate, each elongated rib element having an upper face and two side faces; and providing a layer of thermal oxide to a predetermined thickness on the upper and side faces of at least a portion of at least some of said elongated rib elements, the predetermined thickness being selected such as to control birefringence in the array waveguide grating.

According to another aspect of the present invention, there is provided a method of manufacturing an integrated optical device, the method comprising: forming a plurality of optical components in a silicon substrate, said optical components including an arrayed waveguide grating comprising an array of elongate rib elements, each having an upper face and two side faces; growing a layer of thermal oxide over said plurality of optical

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

components; and selectively etching the oxide layer from one or a set of said optical components, but retaining the thermal oxide layer over said array of elongate rib elements at least in a portion thereof, wherein the thickness of the layer of thermal oxide is selected to control birefringence in the array of elongate rib elements.

According to another aspect of the present invention, there is provided an integrated optical device, comprising a plurality of optical components formed in a silicon substrate, said optical components including an arrayed waveguide grating comprising an array of elongate rib elements, each having an upper face and two side faces; and a layer of thermal oxide on at least a portion of said array of elongate rib elements, the thickness of the layer of thermal oxide being selected to control birefringence in the array of elongate rib elements; wherein at least one of the plurality of optical components is exposed through the thermal oxide layer.

For a better understanding of the present invention and to show how the same may be carried into effect, reference will now be made by way of example to the accompanying drawings in which:

Figures 1 to 3 illustrate steps in manufacturing methods of a rib waveguide structure;

Figure 4 illustrates an improved non-birefringent structure;

Figure 5 illustrates schematically an improved non-birefringent array of waveguides for an arrayed waveguide grating;

Figure 5a is a schematic view of a portion of an arrayed waveguide grating produced according to the present invention;

Figure 6 shows a schematic plan view of an arrayed waveguide grating produced according to the present invention;

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

Figure 7 shows a graph of mean PDF shift v. array waveguide nominal separation for different thermal oxide thicknesses; and

Figure 8 shows a graph showing how the passband frequency can change with the polarisation in an arrayed waveguide grating.

A method of making a silicon rib waveguide structure in accordance with a preferred embodiment of the invention is described. The waveguide structure described herein is based on a silicon-on-insulator chip. A process for forming this type of chip is described in a paper entitled "Reduced defect density in silicon-on-insulator structures formed by oxygen implantation in two steps" by J. Morgail et al, Appl. Phys. Lett., 54, p526, 1989. This describes a process for making a silicon-on-insulator wafer. The silicon layer of such a wafer is then increased, for example by epitaxial growth, to make it suitable for forming the basis of the integrated waveguide structure described herein. Figure 1 shows a cross section through such a silicon-on-insulator wafer in which an elongated rib element has been formed. The wafer or chip comprises a layer of silicon 1 which is separated from silicon substrate 2 by a layer of silicon dioxide 3. The elongated rib element 4 is formed in the silicon layer 1 by etching.

The width of the elongated rib element is typically in the order of 1 to 10 microns, more particularly 3 to 5 microns.

It is a problem in guiding optical waves that birefringent materials demonstrate a different refractive index for different light polarisations. In waveguide structures where it is difficult or impossible to control the polarity of the guided light, this can present a significant problem and in particular can be the cause of significant losses. It has been found that a thermal oxide layer can be used, for example, to substantially reduce or

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

practically eliminate birefringence of a rib waveguide structure as described herein.

In a subsequent processing step, a layer of oxide is formed by thermal growth at 1050°C. This layer is denoted 7 in Figure 2. In Figure 2 like numerals denote like parts as in Figure 1.

The growth of the thermal oxide takes place over the whole surface of the wafer, which may incorporate a number of silicon waveguides and other optical components. The wafer may have other integrated optical components formed on it. Photoresist 8 is put down over the wafer and then etched away from selected portions of the wafer. Thus, photoresist portions 8 are left over those parts of the wafer where a thermal oxide layer is required.

Subsequently an HF etch is carried out to remove the unprotected parts of the thermal oxide layer 7, leaving a layer on the upper face 5 and side faces 6 of the elongated rib element 4.

The finished structure is as illustrated in Figure 4. That is, a layer of thermal oxide is left in the finished structure on the upper face and side faces 5,6 of the elongated rib element 4.

According to one embodiment, the thermal oxide is left on the upper and side faces of only a selected portion of the elongated rib element. The thickness of the thermal layer is selected such that the portion of the waveguide on which the thermal oxide is provided has a birefringence of opposite sign to the portion of the waveguide not provided with a thermal oxide layer. For example, it has been determined from experiment that the

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

birefringence of a waveguide having a ridge height of $4.3\mu\text{m}$, a ridge width of $5.8\mu\text{m}$ and an etch depth of $1.7\mu\text{m}$ is reduced from $+3.1 \times 10^{-4}$ to -0.55×10^{-4} (where birefringence is defined as $n_{\text{TE}} - n_{\text{TM}}$) by the provision of a $0.35\mu\text{m}$ thermal oxide layer wet-grown at 1050°C , and that the birefringence of a waveguide having a ridge height of $4.3\mu\text{m}$, a ridge width of $3.8\mu\text{m}$ and an etch depth of $2.3\mu\text{m}$ is reduced from $+1.8 \times 10^{-4}$ to -6.4×10^{-4} by the provision of such a thermal oxide layer. The relative length of the portion of the elongated rib element provided with the thermal oxide layer is selected such that the overall birefringence of the waveguide is substantially zero. For example, if the portion of the waveguide on which the thermal oxide is provided has a birefringence of magnitude 5 times greater than the portion of the waveguide without the thermal oxide layer, then the length of the portion on which the thermal oxide layer is provided is selected to be one-fifth ($1/5$) of the length of the portion without the thermal oxide layer so as to substantially eliminate birefringence for the waveguide as a whole.

In an alternative embodiment, a blanket layer of thermal oxide is left on the upper and side faces of the entire elongated rib element, and the thickness of the thermal oxide layer is selected such that the overall birefringence of the waveguide is substantially zero.

Although not shown as a feature of the embodiment described above, the thermal oxide layer may be left over the whole surface of the silicon substrate. It is thought that varying the extent to which the thermal oxide layer extends over the substrate flanks may also be used to control birefringence in the waveguide.

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

The application of the present invention to controlling birefringence in array waveguide gratings shall now be described, also by way of example only.

Integrated optical components such as demultiplexers comprise an arrayed waveguide grating such as the one schematically shown in schematic plan view in Figure 6. Such a grating typically comprises a silicon-on-insulator wafer 8 of the kind described above having an input rib waveguide 10 separated by a first free propagation region 16 from an array of rib waveguides 12 whose optical lengths increase in fixed increments, and a set of output rib waveguides 14 separated from the array of rib waveguides by a second free propagation region 18. The output rib waveguides are aligned in parallel at the edge of the wafer 8. The rib waveguides are defined by grooves etched in the epitaxial silicon layer, which are shown in black in Figure 6.

As mentioned above, birefringence in the waveguides can lead to polarization-dependent frequency effects, which can be seen experimentally as a shift in pass-band centre frequency. The inventors of the present invention have found that these effects can be controlled by growing a thermal oxide layer on the array of rib waveguides.

An array of waveguides may be formed under the following conditions. A layer of silicon is epitaxially grown to a thickness of $1\ \mu\text{m}$ to $10\ \mu\text{m}$, and then trenches are etched to a depth corresponding to 10% to 90% of the thickness of the epitaxial silicon to leave an array of ribs having a width in the range of $1\ \mu\text{m}$ to $10\ \mu\text{m}$ and a separation in the range of $1\ \mu\text{m}$ and $50\ \mu\text{m}$. A layer of thermal oxide is then formed over the entire array at an oxide growth temperature in the range of 800°C to 1200°C to a thickness in the range of $0.01\ \mu\text{m}$ to $1.0\ \mu\text{m}$.

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

A schematic-cross-sectional view of a waveguide provided with such a thermal oxide layer is shown in Fig. 5. Only three waveguides have been shown, although the array will typically comprise more waveguides. In Figure 5, like numerals denote like parts as in Figure 4.

According to one embodiment as shown in Figure 6, the thermal oxide layer is etched away from selected portions of the array waveguide grating by the techniques described above to leave a truncated triangular thermal oxide patch 30 on a selected portion of the array waveguide grating.

Owing to their different lengths and degrees of curvature, each waveguide of the array waveguide grating has a different inherent structural birefringence. The thermal oxide patch 30 is configured such that the overall birefringence in each waveguide of the array is substantially the same. The thermal oxide layer reduces the birefringence of the portion of the waveguide on which it is formed (where birefringence is defined as the difference in refractive index between the TE and the TN modes, i.e. $n_{TE} - n_{TM}$). The inherent structural birefringence is greater for the longer waveguides of the array. Accordingly, as shown in Figure 6, the thermal oxide patch is configured such that the length of the portion of each waveguide provided with the thermal oxide layer increases with increasing length of the waveguide so as to compensate for the difference in inherent birefringence between the waveguides of the array. The thickness of the thermal oxide layer and the configuration of the patch is selected such that each waveguide of the array has a substantially common level of overall birefringence or substantially zero overall birefringence.

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

In an alternative embodiment, a blanket layer of thermal oxide is left over the entire array waveguide grating, and the thickness of the thermal oxide layer is selected to reduce the polarisation dependent frequency shift to zero (or to another predetermined amount, depending on the application to which the array waveguide grating is to be used).

For example, results have been achieved with a silicon epitaxial thickness of 4.3 μm , an etch depth corresponding to 40% of the silicon thickness, a rib waveguide width of 4 μm or 6 μm , a waveguide separation in the range of 5 μm to 15 μm , and a thermal oxide layer grown at a temperature of 1050°C to a thickness of 0.35 μm .

A plot of measured PDF shift v array waveguide nominal separation for three different thermal oxide layer thickness is shown for such an embodiment in Figure 7. The results on which the graph of Figure 7 are based were achieved for an arrayed waveguide grating in which the separation between the individual waveguides in the array varies in a complex manner in order to provide the required incremental increase in optical length between adjacent waveguides. The separation of the waveguides where they join the second free propagation region are constant, and the waveguide nominal separation referred to here is the separation at this point which is considered to equate approximately to the average separation between the waveguides. The separation referred to here refers to the distance between the centres of adjacent waveguides as shown as S in Figure 5.

The wafer in which the arrayed waveguide grating is formed may also comprise other additional optical components manufactured in silicon. In such an embodiment, the thermal oxide layer may be formed on the arrayed

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

waveguide grating and the additional optical components, followed by selective etching to expose the additional optical components. Figure 5a illustrates schematically a portion of an arrayed waveguide grating showing a portion of the thermal oxide layer having been removed to expose an additional optical component 20.

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

CLAIMS:

1. A method of controlling birefringence in a rib waveguide structure manufactured in silicon, the rib waveguide structure comprising an elongated rib element having an upper face and two side faces, the method including:
 - providing a layer of thermal oxide to a predetermined thickness on said upper face and side faces of at least a portion of said elongated rib element.
2. A method according to claim 1, including providing a layer of thermal oxide on the upper face and side faces of a portion of the elongated rib element, the thickness of the thermal oxide layer and the length of the portion of the elongated rib element over which it is formed selected so as to substantially eliminate birefringence in the waveguide structure.
3. Use of a layer of thermal oxide in a method of fabricating a rib waveguide structure in silicon to control birefringence by forming said layer to a predetermined thickness on at least a portion of said rib waveguide structure.
4. A method of manufacturing a silicon rib waveguide structure comprising:
 - forming an elongated rib element in a silicon substrate, the elongated rib element having an upper face and two side faces; and
 - providing a layer of thermal oxide to a predetermined thickness on said upper face and side faces on at least a portion of said elongated rib element, the predetermined thickness being selected such as to control birefringence in the rib waveguide structure.

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

5. A method of manufacturing a silicon rib waveguide structure, the method comprising:

forming a plurality of optical components in a silicon substrate, said optical components including at least one elongate rib element having an upper face and two side faces;

growing a layer of thermal oxide on said plurality of optical components;

selectively etching the oxide layer from one or a set of said optical components, but retaining the thermal oxide layer over said at least elongate rib element at least in a portion thereof, wherein the thickness of the layer of thermal oxide is selected to control birefringence in the elongate rib element.

6. An interferometric optic device including at least two rib waveguide structures manufactured in silicon and having different path lengths and inherent birefringences, each rib waveguide structure comprising an elongated rib element having an upper face and two side faces, wherein a layer of thermal oxide is provided on at least a portion of at least one of the two elongated rib elements so as to substantially equalize the birefringence of the two rib waveguide structures.

7. An optic device including an array waveguide grating comprising an array of rib waveguide structures manufactured in silicon and having different path lengths and different inherent birefringences, each rib waveguide structure comprising an elongated rib element having an upper face and two side faces, wherein a layer of thermal oxide is provided on the upper and side faces of at least a portion of at least some of the elongated

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

rib elements so as to substantially equalize the birefringence of each of the rib waveguide structures.

8. Use of a layer of thermal oxide in a method of fabricating an arrayed waveguide grating comprising an array of rib waveguide structures in silicon to control birefringence by forming said layer to a predetermined thickness on at least a portion of at least some of said rib waveguide structures.

9. A method of manufacturing an arrayed waveguided grating comprising an array of silicon rib waveguide structures comprising:

forming an array of elongated rib elements in a silicon substrate, each elongated rib element having an upper face and two side faces; and

providing a layer of thermal oxide to a predetermined thickness on the upper and side faces of at least a portion of at least some of said elongated rib elements, the predetermined thickness being selected such as to control birefringence in the arrayed waveguide grating.

10. A method according to claim 9 wherein the array of rib waveguide structures are formed by forming an array of elongate trenches extending below a surface of the silicon substrate, the side walls of the trenches defining the side faces of the elongate rib elements, and the upper faces of the elongated rib elements coinciding with said surface of the silicon substrate.

11. A method of manufacturing an integrated optical device, the method comprising:

forming a plurality of optical components in a silicon substrate, said optical components including an arrayed waveguide grating comprising an array of elongate rib elements, each having an upper face and two side faces;

WO 02/27366

PCT/GB01/04270

growing a layer of thermal oxide over said plurality of optical components; and

selectively etching the oxide layer from one or a set of said optical components, but retaining the thermal oxide layer over said array of elongate rib elements at least in a portion thereof, wherein the thickness of the layer of thermal oxide is selected to control birefringence in the array of elongate rib elements.

12. An integrated optical device, comprising a plurality of optical components formed in a silicon substrate, said optical components including an arrayed waveguide grating comprising an array of elongate rib elements, each having an upper face and two side faces; and a layer of thermal oxide on at least a portion of said array of elongate rib elements, the thickness of the layer of thermal oxide being selected to control birefringence in the array of elongate rib elements; wherein at least one of the plurality of optical components is exposed through the thermal oxide layer.

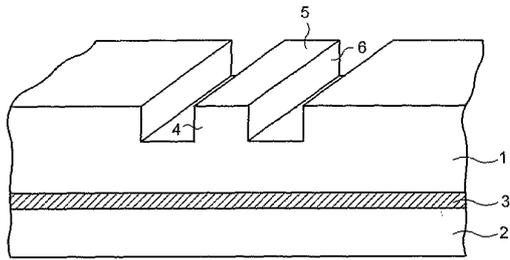


FIG. 1

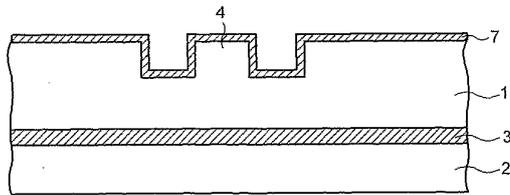


FIG. 2

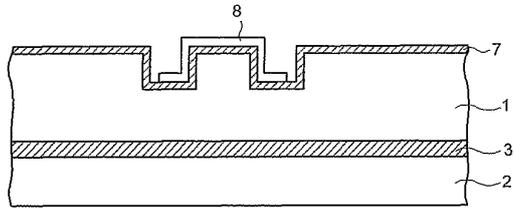


FIG. 3

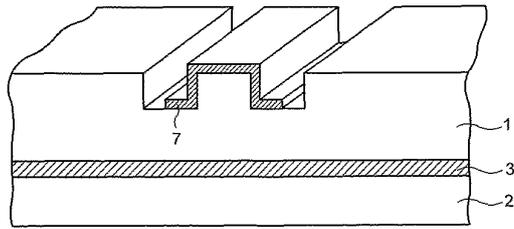


FIG. 4

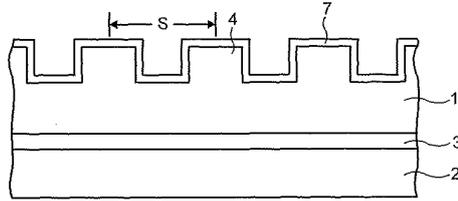


FIG. 5

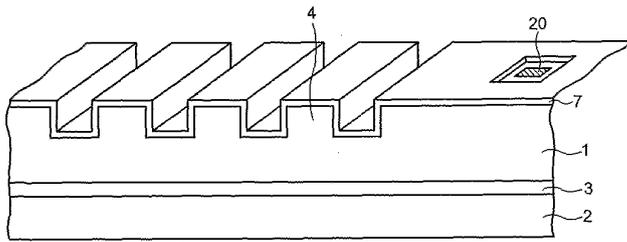


FIG. 5A

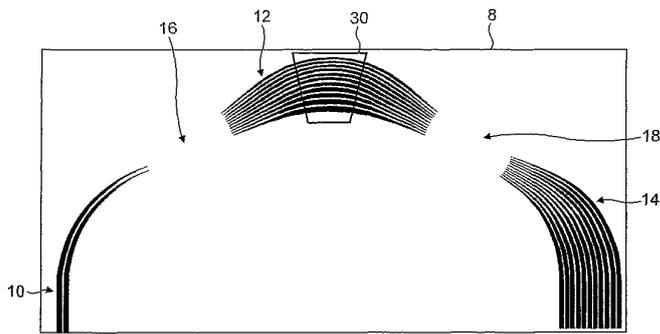


FIG. 6

Graph derived from measured values of polarisation-dependent frequency for various AWG waveguide separation parameter values and three different thermal oxide thicknesses

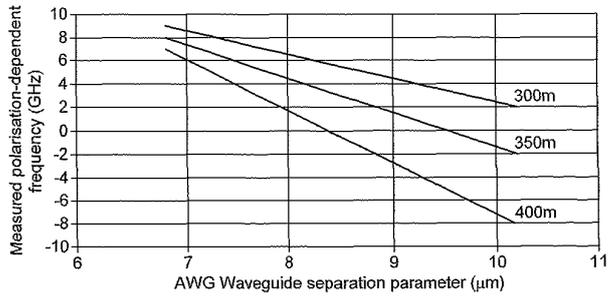


FIG. 7

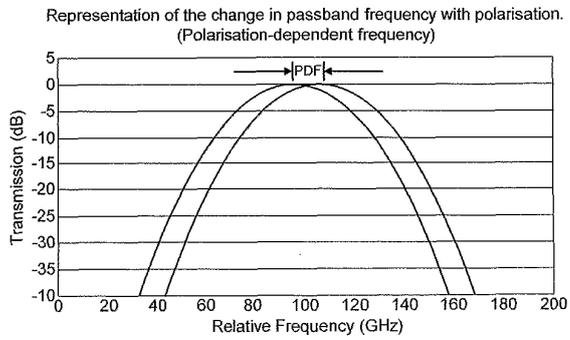


FIG. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PC1/GB 01/04270

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MASAYAKU OKUNO ET AL: "BIREFRINGENCE CONTROL OF SILICA WAVEGUIDES ON SI AND ITS APPLICATION TO A POLARIZATION-BRAN SPLITTER/SWITCH" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE. NEW YORK, US, vol. 12, no. 4, 1 April 1994 (1994-04-01), pages 625-633, XP000470361 ISSN: 0733-8724 page 625 -page 626; figures 1,6	6
A	HIROSHI TAKAHASHI ET AL: "POLARIZATION-INSENSITIVE ARRAYED-WAVEGUIDE WAVELENGTH MULTIPLEXER WITH BIREFRINGENCE COMPENSATING FILM" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 5, no. 6, 1 June 1993 (1993-06-01), pages 707-709, XP000384062 ISSN: 1041-1135 page 708; figures 1,2	7-11

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inter national Application No
PC1/GB 01/04270

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0907090 A	07-04-1999	US 5930439 A	27-07-1999
		CA 2245409 A1	01-04-1999
		EP 0907090 A2	07-04-1999
		GB 2334787 A	01-09-1999
		JP 11174246 A	02-07-1999

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZW