

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4259399号
(P4259399)

(45) 発行日 平成21年4月30日(2009.4.30)

(24) 登録日 平成21年2月20日(2009.2.20)

(51) Int. Cl.	F I
GO2B 6/122 (2006.01)	GO2B 6/12 A
GO2B 6/13 (2006.01)	GO2B 6/12 M
	GO2B 6/12 D

請求項の数 11 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2004-163628 (P2004-163628)	(73) 特許権者	000004260
(22) 出願日	平成16年6月1日(2004.6.1)		株式会社デンソー
(65) 公開番号	特開2005-345630 (P2005-345630A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43) 公開日	平成17年12月15日(2005.12.15)	(74) 代理人	100068755
審査請求日	平成18年7月31日(2006.7.31)		弁理士 恩田 博宣
		(74) 代理人	100105957
			弁理士 恩田 誠
		(72) 発明者	大原 淳士
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内
		(72) 発明者	吉原 晋二
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリコン基板の非熱酸化部分の上に、熱酸化部分である平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱を複数備えてなり、それらシリコン酸化物の柱は、その上部において互いに接するとともに、この互いに接する部位よりも下方において前記シリコン基板の非熱酸化部分側ほど幅が広がる空隙が形成された状態で立設され、同シリコン酸化物の柱が互いに接する部位を含んで光を伝播させるコア層が形成されてなることを特徴とする光導波路。

【請求項2】

前記空隙の幅の差による最大平均屈折率と最小平均屈折率とは4%以上の差があることを特徴とする請求項1に記載の光導波路。

【請求項3】

前記複数のシリコン酸化物の柱は、当該光導波路を伝播する光の伝播方向の端部が、前記シリコン基板の非熱酸化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなることを特徴とする請求項1または2に記載の光導波路。

【請求項4】

前記複数のシリコン酸化物の柱は、前記光の伝播方向に延設される途中が、前記シリコン基板の非熱酸化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の光導波路。

【請求項5】

パターニングしたマスクを用いたトレンチエッチングによりシリコン基板に多数のトレン

チを並設する際に、それらトレンチと隣合うシリコン層の幅を「W11」とし、同トレンチの幅を「W12」とするとき、該トレンチの上部においてこれらシリコン層の幅「W11」とトレンチの幅「W12」との比が、

$$W11 : W12 = 0.45 : 0.55$$

であるとともに、その下方ほど幅が広くなるように各トレンチを形成する第1工程と、

熱酸化により前記トレンチ内にシリコン酸化物を形成してかつトレンチ間のシリコン層をシリコン酸化物で完全に置き換えるとともに、それらシリコン酸化物で置き換えた部分に上下方向における下方側ほど幅が広くなる空隙を形成して、同部分をシリコン基板のうち同部分の下方にあってシリコン酸化物で置き換えられていない部分と一体化された光透過用ブロックとする第2工程と、

を有することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項6】

シリコン基板の非熱酸化部分の上に、熱酸化部分である平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱を複数備えてなり、それらシリコン酸化物の柱は、その上下方向における所定の高さ位置で互いに接するとともに、この互いに接する部位よりも上方および下方において上下に離間するほど幅が広くなる空隙が形成された状態で立設され、同シリコン酸化物の柱が互いに接する部位を含んで光を伝播させるコア層が形成されてなることを特徴とする光導波路。

【請求項7】

前記空隙の幅の差による最大平均屈折率と最小平均屈折率とは4%以上の差があることを特徴とする請求項6に記載の光導波路。

【請求項8】

前記複数のシリコン酸化物の柱は、当該光導波路を伝播する光の伝播方向の端部が、前記シリコン基板の非熱酸化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなることを特徴とする請求項6または7に記載の光導波路。

【請求項9】

前記複数のシリコン酸化物の柱は、前記光の伝播方向に延設される途中が、前記シリコン基板の非熱酸化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなることを特徴とする請求項6～8のいずれか1項に記載の光導波路。

【請求項10】

パターンニングしたマスクを用いたシリコン基板に対するトレンチエッチングに係るプロセス条件を途中で変更して、その前半においてはトレンチの断面形状がテーパ形状となるプロセス条件を設定するとともに、後半においてはトレンチの断面形状が逆テーパ形状となるプロセス条件を設定して、前記シリコン基板の所定高さ位置に比べ上方および下方ほど幅が広くなるトレンチを多数並設する工程であって、前記トレンチと隣合うシリコン層の幅を「W11」とし、同トレンチの幅を「W12」とするとき、前記所定高さ位置におけるこれらシリコン層の幅「W11」とトレンチの幅「W12」との比を

$$W11 : W12 = 0.45 : 0.55$$

とする第1工程と、

熱酸化により前記トレンチ内にシリコン酸化物を形成してかつトレンチ間のシリコン層をシリコン酸化物で完全に置き換えるとともに、それらシリコン酸化物で置き換えた部分に上下方向における前記所定高さ位置から上下に離間するほど幅が広くなる空隙を形成して、同部分をシリコン基板のうち同部分の下方にあってシリコン酸化物で置き換えられていない部分と一体化された光透過用ブロックとする第2工程と、

を有することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項11】

複数の光伝送路を集合させる区間において、平面での各シリコン酸化物の柱の延設方向に沿って連続的に各シリコン酸化物の柱の幅を縮小することにより導波路全体の幅を縮小したことを特徴とする請求項1～4, 6～9のいずれか1項に記載の光導波路。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、光導波路およびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光導波路は、電気配線上を流れる電流のように光を扱うためにシリコン(Si)等の基板上に任意形状で形成されるものである。その一例を図15に示す。図15においてシリコン基板100の上にクラッド層101を介して光導波路(コア層102)がパターンニングされている。光導波路(コア層102)において、A方向から入射してきた光が分波され、B方向とC方向へ出射する機能をもっている。

10

【0003】

これに更にプリズム、波長フィルタ等の受動素子や、半導体レーザ等の能動素子を一括して形成すれば、電子集積回路のような機能をもつ平面型光回路(PLC: Planer Light-wave-Circuit)を形成することができる。

【0004】

さて、光導波路は、光ファイバーを基板上に形成するようなものであるから、シリコン(Si)等の基板上に屈折率の異なる2種類の石英層(SiO₂層)を形成し、クラッド層(低屈折率層)、コア層(高屈折率層)として作り分ける必要がある。

【0005】

従来一般的な方法としては、CVD法によりSiO₂層を堆積し、それを所望の形状にエッチングして形成する。

20

例えば、図16(a)に示すように、シリコン基板100を用意し、図16(b)に示すように、CVDにより低屈折率のSiO₂層110を堆積してSiO₂層110を下部クラッド層とする。次に、図16(c)に示すように、コア層となる高屈折率のSiO₂層111を堆積する。その後、図17(a)に示すように、エッチング用のマスク材(例えばCr膜)を堆積してフォト工程により所望の形状にエッチングしてマスク112を形成する。そして、図17(b)に示すように、コア層となるSiO₂層111をドライエッチング等によりエッチングする。ここまでで、最低限の機能をもつ光導波路が実現する。なぜなら、コア層であるSiO₂層111に入った光は、上下方向にはコア層であるSiO₂層111よりも屈折率の低いSiO₂層(クラッド層)110およびエア層に囲まれることになるため閉じ込められ、横方向にも屈折率の低いエア層に囲まれるため、コア層であるSiO₂層111内に閉じ込められつつ伝播することになる。実際にはコア層であるSiO₂層111の保護のため、図17(c)に示すようにマスクを除去した後、図17(d)に示すように、再び屈折率の低いSiO₂層(上部クラッド層)113を再度、堆積させることが多い。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところが、コア層となる高屈折率のSiO₂層111は成膜する上で限界があるため当該コア層となるSiO₂層111の厚さについても限界があり、そのため、光源との結合において、結合損失が大きくなってしまふ。

40

【0007】

本発明は、上記課題に着目してなされたものであり、その目的は、新規な構成にて結合損失を少なくすることができる光導波路およびその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1に記載の光導波路は、シリコン基板の非熱酸化部分の上に、熱酸化部分である平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱を複数備えてなり、それらシリコン酸化物の柱は、その上部において互いに接するとともに、この互いに接する部位よりも下方において前記シリコン基板の非熱酸化部分側ほど幅が広がる空隙が形成された状態で立設され、

50

同シリコン酸化物の柱が互いに接する部位を含んで光を伝播させるコア層が形成されてなることを特徴とする。この構成により、シリコン酸化物の柱群において、上下方向における平均屈折率として、上部にいくほど平均屈折率が緩やかに大きくなり、これによりシリコン酸化物の柱群の上部において光が閉じ込められる（コア層となる）。よって、シリコン酸化物の柱を高くすることによりコア層を厚くすることができ、結合損失を少なくすることができる。

【0011】

請求項2に記載のように請求項1に記載の光導波路において、空隙の幅の差による最大平均屈折率と最小平均屈折率とは4%以上の差があると、光の閉じ込めをより効果的に行うことができる。

10

【0012】

請求項3に記載のように、請求項1または2に記載の光導波路において、複数のシリコン酸化物の柱は、当該光導波路を伝播する光の伝播方向の端部が、シリコン基板の非熱酸化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなるようにすると、シリコン酸化物の柱を補強することができる。

【0013】

請求項4に記載のように、請求項1～3のいずれか1項に記載の光導波路において、複数のシリコン酸化物の柱は、光の伝播方向に延設される途中が、シリコン基板の非熱酸化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなるようにすると、シリコン酸化物の柱を補強することができる。

20

【0014】

このような光導波路の製造方法として、請求項5に記載のように、パターンニングしたマスクを用いたトレンチエッチングによりシリコン基板に多数のトレンチを並設する際に、それらトレンチと隣合うシリコン層の幅を「W11」とし、同トレンチの幅を「W12」とするとき、該トレンチの上部においてこれらシリコン層の幅「W11」とトレンチの幅「W12」との比が、「W11 : W12 = 0.45 : 0.55」であるとともに、その下方ほど幅が広くなるように各トレンチを形成する第1工程と、熱酸化により前記トレンチ内にシリコン酸化物を形成してかつトレンチ間のシリコン層をシリコン酸化物で完全に置き換えるとともに、それらシリコン酸化物で置き換えた部分に上下方向における下方側ほど幅が広がる空隙を形成して、同部分をシリコン基板のうち同部分の下方にあってシリコン酸化物で置き換えられていない部分と一体化された光透過用ブロックとする第2工程と、を有するものであるとよい。

30

【0016】

請求項6に記載の光導波路は、シリコン基板の非熱酸化部分の上に、熱酸化部分である平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱を複数備えてなり、それらシリコン酸化物の柱は、その上下方向における所定の高さ位置で互いに接するとともに、この互いに接する部位よりも上方および下方において上下に離間するほど幅が広がる空隙が形成された状態で立設され、同シリコン酸化物の柱が互いに接する部位を含んで光を伝播させるコア層が形成されてなることを特徴としている。この構成により、シリコン酸化物の柱群において、上下方向における平均屈折率として、所定高さ位置より上下方向にいくほど平均屈折率が緩やかに小さくなり、これによりシリコン酸化物の柱群の所定高さ位置において光が閉じ込められる（コア層となる）。よって、シリコン酸化物の柱を高くすることによりコア層を厚くすることができ、結合損失を少なくすることができる。

40

【0019】

請求項7に記載のように、請求項6に記載の光導波路において、空隙の幅の差による最大平均屈折率と最小平均屈折率とは4%以上の差があると、光の閉じ込めをより効果的に行うことができる。

【0020】

請求項8に記載のように、請求項6または7に記載の光導波路において、複数のシリコン酸化物の柱は、当該光導波路を伝播する光の伝播方向の端部が、シリコン基板の非熱酸化

50

化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなるようにすると、シリコン酸化物の柱を補強することができる。

【0021】

請求項9に記載のように、請求項6～8のいずれか1項に記載の光導波路において、複数のシリコン酸化物の柱は、光の伝播方向に延設される途中が、シリコン基板の非熱酸化部分の上に立設されたシリコン酸化物の柱によって互いに連結されてなるようにすると、シリコン酸化物の柱を補強することができる。

【0022】

この光導波路の製造方法として、請求項10に記載のように、パターンニングしたマスクを用いたシリコン基板に対するトレンチエッチングに係るプロセス条件を途中で変更して、その前半においてはトレンチの断面形状がテーパ形状となるプロセス条件を設定するとともに、後半においてはトレンチの断面形状が逆テーパ形状となるプロセス条件を設定して、シリコン基板の所定高さ位置に比べ上方および下方ほど幅が広がるトレンチを多数並設する工程であって、トレンチと隣合うシリコン層の幅を「W11」とし、同トレンチの幅を「W12」とするとき、所定高さ位置におけるこれらシリコン層の幅「W11」とトレンチの幅「W12」との比を、「W11 : W12 = 0.45 : 0.55」とする第1工程と、熱酸化により前記トレンチ内にシリコン酸化物を形成してかつトレンチ間のシリコン層をシリコン酸化物で完全に置き換えるとともに、それらシリコン酸化物で置き換えた部分に上下方向における所定高さ位置から上下に離間するほど幅が広がる空隙を形成して、同部分をシリコン基板のうち同部分の下方にあってシリコン酸化物で置き換えられていない部分と一体化された光透過用ブロックとする第2工程と、を有しているといふ。

【0025】

請求項11に記載のように、請求項1～4, 6～9のいずれか1項に記載の光導波路において、複数の光伝送路を集合させる区間において、平面での各シリコン酸化物の柱の延設方向に沿って連続的に各シリコン酸化物の柱の幅を縮小することにより導波路全体の幅を縮小すると、合波箇所において導波路の幅の変化を少なくすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

(第1の実施の形態)

以下、本発明を具体化した第1の実施形態を図面に従って説明する。

図1には本実施形態における光導波路の斜視図を示す。図2には光導波路の縦断面図を示す。図3には、図2のA-A線での断面図を示す。

【0027】

シリコン基板1の上面に台座部2が形成され、この台座部(突条)2は光を伝播させる方向に延びている。台座部2の上には光透過用ブロック3が形成されている(光透過用ブロック3が一方向に延びるように形成されている)。光透過用ブロック3に関して、シリコン基板1での台座部2上に、平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱4が複数、上下方向における上部が接するとともに当該部位よりも下方において空隙5が形成された状態で立設され、かつ、空隙5は下方ほど幅が広がっている。つまり、空隙5の縦断面の形状が三角形をなし、下ほど幅が広がっている。よって、図1においてシリコン酸化物の柱4の幅を「W1」、シリコン酸化物の柱4の間の空隙5の幅を「W2」としたとき、「W1 / W2」が下方ほど小さくなっている。

【0028】

ここで、平均屈折率は、上下方向におけるSiO₂層(屈折率: 1.46)と空隙(空気の屈折率: 1.0)との比で決まる。平均屈折率としては、光透過用ブロック(シリコン酸化物ブロック)3の上端では純粋なシリコン酸化物(SiO₂膜)と同じ約1.46となるが、下部に行くに従って低下することになる。このように図2のごとく平均屈折率の分布として光透過用ブロック3の上部において最大平均屈折率n_{max}を有し、下にいくほど平均屈折率が緩やかに小さくなる。そして、光透過用ブロック3の上部と光透過用ブロック3の下部との平均屈折率差は4～5%程度である。

【 0 0 2 9 】

より詳しくは、隣り合うシリコン酸化物の柱 4 が接する部位における最大平均屈折率 n_{\max} と、空隙（空気層）5 の幅が最も広くなっている部位における最小平均屈折率 n_{\min} とは 4 % 以上の差がある。つまり、 $(1 - n_{\min} / n_{\max})$ が 4 % 以上となっている。即ち、導波路断面を深さ方向に区切ったときのシリコン酸化物の柱 4 の幅 W_1 とシリコン酸化物の柱間の空隙（空気層）5 の幅 W_2 の比で決まる平均屈折率が、光透過用ブロック 3 の上部の最も高い部分と、光透過用ブロック 3 の下部の最も低い部分では 4 % 程度、あるいはそれ以上差がある。広義には、空隙 5 の幅の差による最大平均屈折率 n_{\max} と最小平均屈折率 n_{\min} とは 4 % 以上の差があるようにする。

【 0 0 3 0 】

このような屈折率差があることにより、光透過用ブロック 3 における上部がコア層となるとともにその下部がクラッド層となって、上下方向、横方向に対して、コア層内に閉じ込められつつ、光が伝播する。即ち、光透過用ブロック 3 の上部を伝播中に下方向に向かった光は、徐々に向きを変えて再び上部に戻ってくることになり、光透過用ブロック 3 の上部のコア部に閉じ込められる。

【 0 0 3 1 】

広義には、「 W_1 / W_2 」が下方ほど小さくなっていることにより、シリコン酸化物の柱群において、上下方向における平均屈折率として、上部にいくほど平均屈折率が緩やかに大きくなり、これによりシリコン酸化物の柱群の上部において光が閉じ込められる（コア層となる）。よって、シリコン酸化物の柱を高くすることによりコア層を厚くすることができ、結合損失を少なくすることができる。特に、空隙の幅の差による最大平均屈折率と最小平均屈折率とは 4 % 以上の差があると、光の閉じ込めをより効果的に行うことができる。

【 0 0 3 2 】

また、図 1 において隣り合うシリコン酸化物の柱 4 のピッチ P_1 、即ち、空気層と SiO_2 層との界面の周期を $1.82 \mu m$ としている。隣り合うシリコン酸化物の柱 4 のピッチ P_1 は $1.82 \mu m$ としたが、物理法則に則ればもっと短く、光の波長と同程度あるいはそれ以下とした方が更によい。なぜなら、 P_1 値が大きいと光が界面で乱反射してしまうが P_1 値を小さくすることにより光が界面の影響（乱反射）を受けず、平均屈折率のみに影響を受ける領域となるためである。ただし、製造プロセスの面からいえば、ドライエッチング時のマスクパターンニング精度、熱酸化工程に要する時間等から考えてピッチ P_1 は $1.0 \sim 4.5 \mu m$ の範囲が製造しやすい。一方、本発明により実現される光導波路は可視光～近赤外域（波長 $0.4 \sim 1.55 \mu m$ 程度）の光に対する使用を想定しており、ピッチ P_1 は光の波長以下から光の波長の 1.2 倍の範囲とする。このように、隣り合うシリコン酸化物の柱 4 のピッチ P_1 を、伝播させる光の波長の 1.2 倍以下とする。こうすることにより、乱反射を抑制する上で好ましいものとなる。

【 0 0 3 3 】

図 3 に示すように、複数立設されたシリコン酸化物の柱 4 における平面での端部に、各シリコン酸化物の柱 4 を連結するシリコン酸化物の柱 6 が、シリコン基板 1 上に立設されている。これにより、シリコン酸化物の柱 4 が補強されるとともに導波路の端面を平面にして表面反射を防止している。同じく図 3 において、複数立設されたシリコン酸化物の柱 4 における平面での延設途中に、各シリコン酸化物の柱 4 を連結するシリコン酸化物の柱 7 が、シリコン基板 1 上に立設されている。これにより、シリコン酸化物の柱 4 が補強されている。このようにして、光導波路の端部、および途中において、隣接して複数立設されたシリコン酸化物の柱群を連結するシリコン酸化物の柱 6、7 が存在し、シリコン酸化物の柱を補強している。

【 0 0 3 4 】

次に、製造方法を、図 4、5、6 および図 2 を用いて説明する。

まず、図 4 に示すように、シリコン基板 1 の上に所定の形状のエッチングマスク 10 を形成する（マスク 10 をパターンニングする）。マスク 10 としては、レジスト、あるいは

10

20

30

40

50

シリコン酸化膜（ SiO_2 膜）を用いる。この時、周期的なトレンチ構造とするためのマスク開口部10aの間の幅 $W11$ を例えば $0.82\ \mu\text{m}$ とするとともにマスク開口部10aの幅 $W12$ を例えば $1.00\ \mu\text{m}$ とする。即ち、 $W11 : W12 = 0.45 : 0.55$ 程度にする。

【0035】

そして、図5に示すように、ドライエッチング工程により、マスク10の開口部10aからシリコン基板1をエッチングしてシリコン基板1に所望の形状のトレンチ11を形成する。この時、トレンチ11の断面形状を垂直ではなく、若干逆テーパ形状（トレンチ下部へ行くに従ってトレンチ幅が広い形状）とする。

【0036】

このようにして、第1工程として、パターンニングしたマスク10を用いてシリコン基板1をトレンチエッチングして下方ほど幅が広がっているトレンチ11を多数並設する。

引き続き、図6に示すように、マスク10を除去する。この後、必要に応じてトレンチ11の側壁面の平坦化工程を追加する。ここで、上面でのトレンチ11間のシリコン層12の幅 $W11$ は例えば $0.82\ \mu\text{m}$ 、トレンチ11の上端におけるトレンチ幅 $W12$ は例えば $1.00\ \mu\text{m}$ 、トレンチ深さ $L1$ は例えば $50\ \mu\text{m}$ とする。

【0037】

そして、図2に示すように、熱酸化工程を行う。膜厚が $1.82\ \mu\text{m}$ 以上成長する時間、熱酸化を行うと、図6のトレンチ11間のシリコン層（シリコン柱）12の内部が完全に SiO_2 化すると同時に、トレンチ11も上部においては熱酸化膜で完全に埋まる。一方、トレンチ11の下部においては、もともと上部よりも幅広だったため、完全には埋まらず図2の空隙（隙間）5が残る。この空隙5は下部に行くに従って広がっている。

【0038】

このようにして、第2工程として、熱酸化によりトレンチ11内にシリコン酸化物を形成するとともにトレンチ11間のシリコン層（シリコン柱）12をシリコン酸化物で置き換えて、所定領域を、シリコン基板1と一体化され、かつ、上下方向における上部が接するとともに当該部位よりも下方において下ほど幅が広がっている空隙5が形成された光透過用ブロック3にする。このとき、第2工程での熱酸化の前におけるトレンチ11の間におけるシリコン層12の幅を「 $W11$ 」とし、トレンチ11の幅を「 $W12$ 」としたとき、トレンチ上部において、 $W11 : W12 = 0.45 : 0.55$ とする。

【0039】

また、図3に示したように、エッチングマスク10の平面として、光導波路の端部はシリコン層の柱（6）で連結されるようにマスクパターンを形成する。この端部でのシリコン層の柱（6）も、熱酸化終了時点で内部まで SiO_2 化するような幅とする。これにより、シリコン（ Si ）層の力学的強度を確保してプロセス途中で倒れないようにすることができる。また、光導波路の途中にも、シリコン（ Si ）層の力学的強度を確保してプロセス途中で倒れないようにするため、適当な間隔で、シリコン層の連結部（7）を設ける。この連結部（7）の幅も熱酸化工程で内部まで完全に SiO_2 化する幅とする。

【0040】

以上のごとく本実施形態は、シンプルな工程で、厚いコア層が得られ、なおかつ設計時の形状自由度が高い。

詳しくは、図16, 17においては、シリコン酸化層（ SiO_2 層）を堆積させてエッチングする。このような製造方法では、 SiO_2 層（110, 111, 113）を何度も堆積させたり、メタルマスク112を形成する必要があるため、工程が複雑となる。特に、 SiO_2 層111のエッチングは、例えばシリコン基板100のエッチングと比較してプロセス技術的に難易度が高いため、

(i) 深いエッチングができない。

【0041】

(ii) 高アスペクト比のエッチングができない。

(iii) エッチング側面が荒れる。

10

20

30

40

50

等の問題が生じる。

【0042】

(i)の理由により、コア層である SiO_2 層111を上下に厚くすることができない(通常 $10\mu m$ 以下)ため、光源との結合において、結合損失が大きくなる。また、(ii)の理由により導波路の形状の設計時に制約が多くなる。また、(iii)の理由により光の伝播損失が大きくなる懸念がある。

【0043】

これに対し、本実施形態においては、図4, 5, 6に示すように、シリコン酸化膜(SiO_2)と比べてドライエッチングが容易なシリコン基板をエッチングした後、図2に示すように熱酸化工程を経て SiO_2 化させる。

10

【0044】

より詳しくは、シリコンのエッチングは、 SiO_2 の場合と比べ相対的にドライエッチングが容易であり、深さが $100\mu m$ 以上、アスペクト比が数10以上とすることができる(例えば、特開2000-299310号公報参照)。このエッチング技術を用いれば、数 $10\mu m$ 以上の厚さをもつコア層を形成することができるため、光源との結合時の結合損失を抑制することが可能である。また、導波路形状の設計自由度も高くできる。さらに、エッチングによって形成されたトレンチ側壁面を平滑化する処理を行った後で熱酸化すれば、平滑な導波路側面が得られ、この部分での伝播損失を抑えることができる。この技術に関して、例えば特開2002-231945号公報に開示されている。

【0045】

20

図2に代わり図7に示すように、複数のシリコン酸化物の柱4を上部において狭い空隙(スリット)がある状態で立設し、当該部位よりも下方において下方ほど幅が広がっている空隙5を有していてもよい。

【0046】

この場合を含めた光導波路の構造として広義には、シリコン基板1上に、平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱4が複数、上下方向における少なくとも一部において空隙5が形成された状態で立設され、かつ、シリコン酸化物の柱4の幅を「 $W1$ 」、シリコン酸化物の柱4の間の空隙の幅を「 $W2$ 」としたとき、「 $W1/W2$ 」が下方ほど小さくする。また、製造方法として広義には、図5のごとくパターンニングしたマスク10を用いてシリコン基板1をトレンチエッチングして下方ほど幅が広がっているトレンチ11を多数並設し(第1工程)、図2または図7のごとく熱酸化によりトレンチ内にシリコン酸化物を形成するとともにトレンチ間のシリコン層をシリコン酸化物で置き換えて、所定領域を、シリコン基板1と一体化され、かつ、上下方向における下ほど幅が広がっている空隙5が形成された光透過用ブロック3にする(第2工程)。

30

(第2の実施の形態)

次に、第2の実施形態を、第1の実施形態との相違点を中心に説明する。

【0047】

図8には、図2に代わる本実施形態における光導波路の縦断面図を示す。

本実施形態においては、光透過用ブロック20においてコア層を上部ではなく、上下方向の中央部に形成している。つまり、シリコン基板1の台座部2上には光透過用ブロック20が形成され、光透過用ブロック20に関して、シリコン基板1上に、平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱21が複数、上下方向における所定高さ位置で接するとともに当該部位よりも上方および下方において空隙22, 23が形成された状態で立設され、かつ、空隙22, 23は所定高さ位置より上下方向に離れるほど幅が広がっている。よって、シリコン酸化物の柱21の幅を「 $W1$ 」、シリコン酸化物の柱21の間の空隙22, 23の幅を「 $W2$ 」としたとき、「 $W1/W2$ 」が所定高さ位置より上下方向に離れるほど小さくなっている。

40

【0048】

従って、平均屈折率は中央部で最も高く、上部・下部に行くに従って低下する。そのため、光を紙面に垂直な方向に伝播させると、中央部付近に光が閉じ込められる。つまり、

50

第1の実施形態では上下非対称であり、光透過用ブロック3の上部では、 SiO_2 層と空気層の境界で全反射する形でコア層に戻るが、本実施形態では上下対称であり、コア層から上部に向かった光は、下部に向かった場合と同じく、平均屈折率が低下するため徐々に向きを変え、コア層に戻るようになる。

【0049】

このように、シリコン基板1上に、平面形状が帯状をなすシリコン酸化物の柱21が複数、上下方向における少なくとも一部において空隙22, 23が形成された状態で立設され、かつ、シリコン酸化物の柱21の幅を「 $W1$ 」、シリコン酸化物の柱21の間の空隙22, 23の幅を「 $W2$ 」としたとき、「 $W1/W2$ 」が所定高さ位置より上下方向に離れるほど小さくなっている。この構成により、シリコン酸化物の柱群において、上下方向における平均屈折率として、所定高さ位置より上下方向にいくほど平均屈折率が緩やかに小さくなり、これによりシリコン酸化物の柱群の所定高さ位置において光が閉じ込められる(コア層となる)。よって、シリコン酸化物の柱を高くすることによりコア層を厚くすることができ、結合損失を少なくすることができる。

10

【0050】

さらに、隣り合うシリコン酸化物の柱21のピッチ $P1$ は、伝播させる光の波長の1.2倍以下であり、乱反射を抑制する上で好ましいものとなっている。さらには、隣り合うシリコン酸化物の柱21が接する部位における最大平均屈折率 n_{max} と、空隙22, 23の幅 $W2$ が最も広くなっている部位における最小平均屈折率 n_{min} とは4%以上の差がある。つまり、「 $(1 - n_{min}/n_{max})$ 」が4%以上となっている。このように空隙22, 23の幅の差による最大平均屈折率と最小平均屈折率とは4%以上の差があると、光の閉じ込めをより効果的に行うことができる。

20

【0051】

また、本第2の実施の形態においても、図3を用いて説明したごとく、複数立設されたシリコン酸化物の柱(21)における平面での端部に、各シリコン酸化物の柱(21)を連結するシリコン酸化物の柱(6)が、シリコン基板1上に立設されている。また、複数立設されたシリコン酸化物の柱(21)における平面での延設途中に、各シリコン酸化物の柱(21)を連結するシリコン酸化物の柱(7)が、シリコン基板1上に立設されている。このようにして、シリコン酸化物の柱21を補強している。

30

【0052】

製造方法に関して、シリコン基板のドライエッチングにおいては、エッチング時のプロセス条件(ガス圧、イオンの加速電圧等)の設定を変更することにより、図11(a)に示すようにトレンチ35の断面形状を垂直形状にすることも、図11(b)に示すようにテーパ形状にすることも、また図11(c)のように逆テーパ形状にすることも可能である。

【0053】

よって、例えば、エッチング時のプロセス条件を2段階に分け、前半をテーパ形状に、後半を逆テーパ形状になるようにエッチングを実行すると、図9に示す縦断面図においてマスク30の開口部30aからシリコン基板1をトレンチエッチングすることにより中央部で最も幅が狭く、上部・下部に行くに従って幅が広がるような形状にすることができる。このとき、トレンチ31の形状として、中央部の最も幅が狭くなった部分において、トレンチ31の間のシリコン層の幅 $W11$ が例えば $0.82\mu m$ でトレンチ幅 $W12$ が例えば $1.00\mu m$ となり、「 $W11:W12 = 0.45:0.55$ 」程度になるようにマスク寸法、エッチング条件を調整する。

40

【0054】

このようにして第1工程として、パターンニングしたマスク30を用いてシリコン基板1をトレンチエッチングして所定高さ位置に比べ上方および下方ほど幅が広がっているトレンチ31を多数並設する。

【0055】

さらに、図10に示すように、マスク30を除去し、必要ならばトレンチ側壁面の平坦

50

化処理を行った後に、図 8 のごとく熱酸化を行う。酸化時間はトレンチ中央部において図 10 のトレンチ 31 が SiO_2 層でふさがれる時間以上とする。つまり、例えば、中央部でのトレンチ幅 $W12$ が $1.00 \mu\text{m}$ 、トレンチ 31 間のシリコン層の幅 $W11$ が $0.82 \mu\text{m}$ であったとすると、膜厚が $1.82 \mu\text{m}$ 以上成長する時間、熱酸化を行う。

【0056】

このようにして第 2 工程として、熱酸化によりトレンチ 31 内にシリコン酸化物を形成するとともにトレンチ 31 間のシリコン層をシリコン酸化物で置き換えて、所定領域を、シリコン基板 1 と一体化され、かつ、上下方向における所定高さ位置で接するとともに当該部位よりも上方および下方において所定高さ位置から離されるほど幅が広がっている空隙 22, 23 が形成された光透過用ブロック 20 にする。このとき、第 1 工程におけるトレンチエッチングを行う際に、プロセス条件を途中で変更し、前半では断面形状がテーパ形状となるプロセス条件とし、後半では逆テーパ形状となるプロセス条件とすることにより、所定高さ位置に比べ上方および下方ほど幅が広がっているトレンチ 31 を多数並設することができる。また、第 2 工程での熱酸化の前におけるトレンチ 31 の間におけるシリコン層の幅を「 $W11$ 」とし、トレンチ 31 の幅を「 $W12$ 」としたとき、トレンチ 31 の所定高さ位置において、 $W11 : W12 = 0.45 : 0.55$ とする。

10

【0057】

図 8 に代わり図 12 に示すように、複数のシリコン酸化物の柱 21 を中央部（コア部）において狭い空隙（スリット）がある状態で立設し、当該部位よりも上下方向に離れるほど幅が広がっている空隙 22, 23 を有していてもよい。

20

【0058】

この場合を含めた製造方法として広義には、図 9 のごとくパターンニングしたマスク 30 を用いてシリコン基板 1 をトレンチエッチングして所定高さ位置に比べ上方および下方ほど幅が広がっているトレンチ 31 を多数並設し（第 1 工程）、図 8 または図 12 のごとく熱酸化によりトレンチ 31 内にシリコン酸化物を形成するとともにトレンチ 31 間のシリコン層をシリコン酸化物で置き換えて、所定領域を、シリコン基板 1 と一体化され、かつ、上下方向における所定高さ位置よりも上方および下方において所定高さ位置から離れるほど幅が広がっている空隙 22, 23 が形成された光透過用ブロック 20 にする（第 2 工程）。

（第 3 の実施の形態）

30

次に、第 3 の実施形態を、第 1, 2 の実施形態との相違点を中心に説明する。

【0059】

図 13 には、本実施形態における光導波路の平面図を示す。

光導波路は、必ずしも 1 本の線ではなく、1 本から複数本に分岐（分波）させたり、あるいは複数本から 1 本に集合（合波）することが多い。

【0060】

図 13 に、2 系統からの光（第 1 の光、第 2 の光）から 1 系統に合波する例を示す。この時、第 1 の光および第 2 の光の経路 40, 41 の幅 W_i と出口での経路 42 の幅 W_o を等しくするために合流部の直前での幅 W_c は幅 W_i よりも狭くしなければ、合流後の導波路幅 W_o は W_i に近づけることはできない。

40

【0061】

第 1, 2 の実施形態で説明したように複数の SiO_2 柱を立設させてブロック化する場合において、2 つの導波路を合わせると、導波路幅は単純に 2 倍になる。そこで、本実施形態では図 13 に示すように導波路の幅を極力変えずに合流させるために、途中で連続的に導波路の幅を絞っている。

【0062】

そのために、連続的に各シリコン酸化物の柱の幅を縮小すべくドライエッチング後の導波路パターンを図 14 のようにしている。

図 14 の導波路は隣接して立設する 5 個のシリコンの柱 50 からなっている。各シリコンの柱 50 の幅は $1.64 \mu\text{m}$ であり、それらの間のトレンチ 51 の幅は $2.00 \mu\text{m}$ と

50

なっている。このように、それらの幅の比が $0.45 : 0.55$ となっている。そのため、この後の熱酸化工程で $3.64 \mu\text{m}$ 以上の膜厚が得られる時間以上、熱酸化を行えば、各トレンチ 51 は埋まると同時に各シリコンの柱 50 の内部も SiO_2 に置換される。

【0063】

なお、各トレンチ 51 は底面に近づくに従って幅広となっているため、熱酸化後も底面に近いほど広い隙間となって残る。

図 14 の符号 L2 で示す幅減少区間において連続的に、各シリコンの柱 50 および各トレンチ 51 の幅は縮小し、この区間 L2 の右端では、左端の約 0.55 倍に縮小される。そのため、この区間 L2 の左端では全体の幅が $16.20 \mu\text{m}$ であったのが、この区間 L2 の右端では $8.92 \mu\text{m}$ になる。

【0064】

ここで一旦、導波路は終端し、幅 $1.00 \mu\text{m}$ のトレンチ (溝) 52 を空けて再び導波路が始まる。この区間での各シリコン柱 53 の幅は再び $1.64 \mu\text{m}$ で、トレンチ (幅) 54 の幅も再び $2.00 \mu\text{m}$ で始まるが、この区間ではシリコン柱 53 が 3 本、トレンチ 54 が 2 本で構成される。つまり、幅減少区間 L2 以前に比べ、これ以後は、各シリコン柱の幅およびトレンチ幅は同じ (不変) であるが、構成本数が減少することにより、導波路全体の幅は減少する。こうして細くなった導波路同士を緩やかな角度で連結させれば、図 13 に示す合流部を形成することができる。

【0065】

また、図 14 における導波路のつなぎ目は、幅 $0.82 \mu\text{m}$ の端面となるシリコン柱 55, 56、幅 $1.00 \mu\text{m}$ のトレンチ 52 で構成されているが、これらは熱酸化工程によりトレンチが SiO_2 で埋まると共にシリコン柱内部が SiO_2 に置換されて、全体として SiO_2 となり導波路として連結されることになる。

【0066】

以上のように、複数の光伝送路を集合させる区間において、平面での各シリコン酸化物の柱の延設方向 (図 3 における光の伝播方向) に沿って連続的に各シリコン酸化物の柱 (図 3 における符号 4 で示す部材) の幅を縮小することにより図 13 に示すごとく導波路全体の幅を縮小した (図 13 において $W_c < W_i$)。よって、合流箇所において導波路の幅の変化を少なくすることができ (図 13 において $W_o \approx W_i$)、光ファイバー等との結合性に優れたものとなる。

【図面の簡単な説明】

【0067】

【図 1】第 1 の実施形態における光導波路の斜視図。

【図 2】光導波路の縦断面図。

【図 3】図 2 における A - A 線での断面図。

【図 4】製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

【図 5】製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

【図 6】製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

【図 7】別例の光導波路の縦断面図。

【図 8】第 2 の実施形態における光導波路の縦断面図。

【図 9】製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

【図 10】製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

【図 11】(a), (b), (c) は製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

【図 12】別例の光導波路の縦断面図。

【図 13】第 3 の実施形態における光導波路の平面図。

【図 14】第 3 の実施形態におけるエッチング後の平面図。

【図 15】背景技術を説明するための光導波路の斜視図。

【図 16】(a), (b), (c) は製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

【図 17】(a), (b), (c), (d) は製造工程を説明するための光導波路の縦断面図。

10

20

30

40

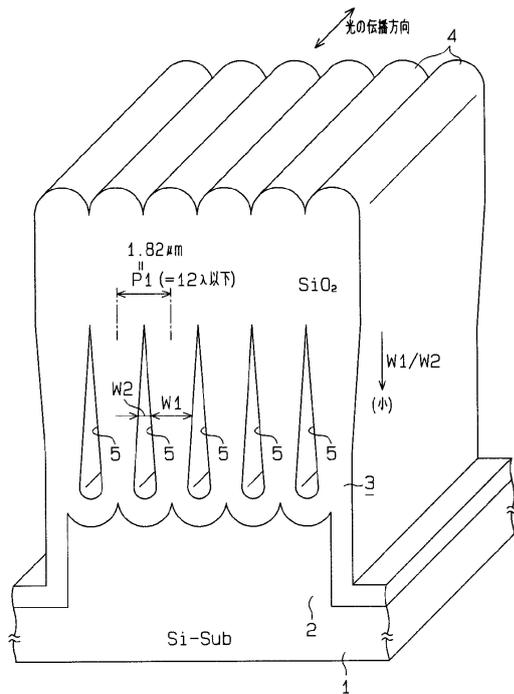
50

【符号の説明】

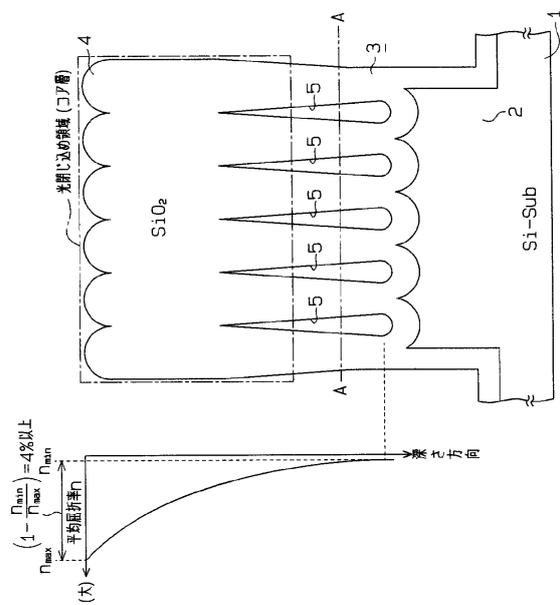
【0068】

1 ... シリコン基板、 3 ... 光透過用ブロック、 4 ... シリコン酸化物の柱、 5 ... 空隙、 6 ... シリコン酸化物の柱、 7 ... シリコン酸化物の柱、 10 ... マスク、 11 ... トレンチ、 12 ... シリコン層、 20 ... 光透過用ブロック、 21 ... シリコン酸化物の柱、 22 ... 空隙、 23 ... 空隙、 30 ... マスク、 31 ... トレンチ。

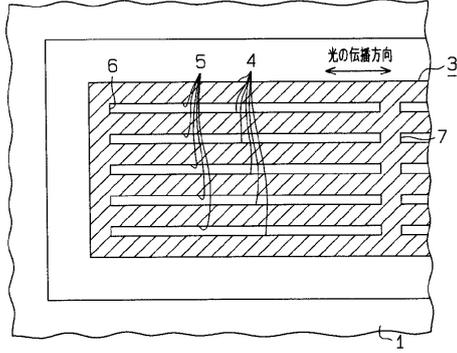
【図1】



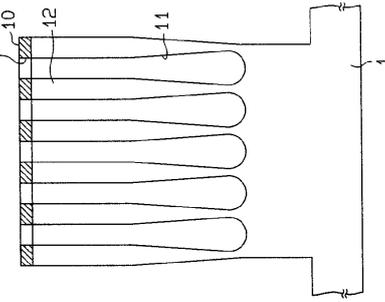
【図2】



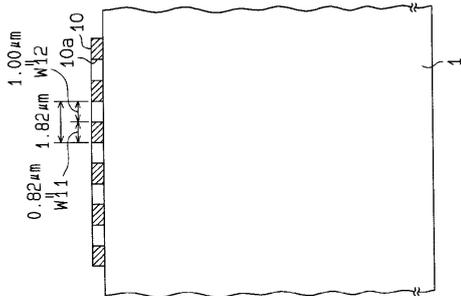
【図3】



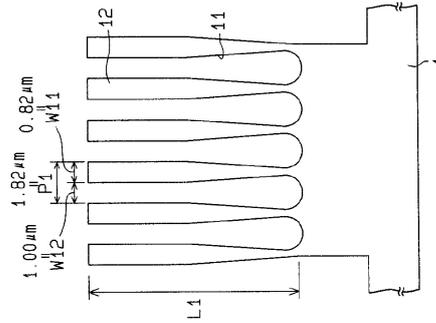
【図5】



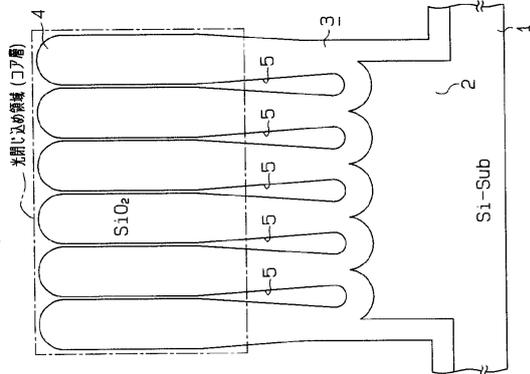
【図4】



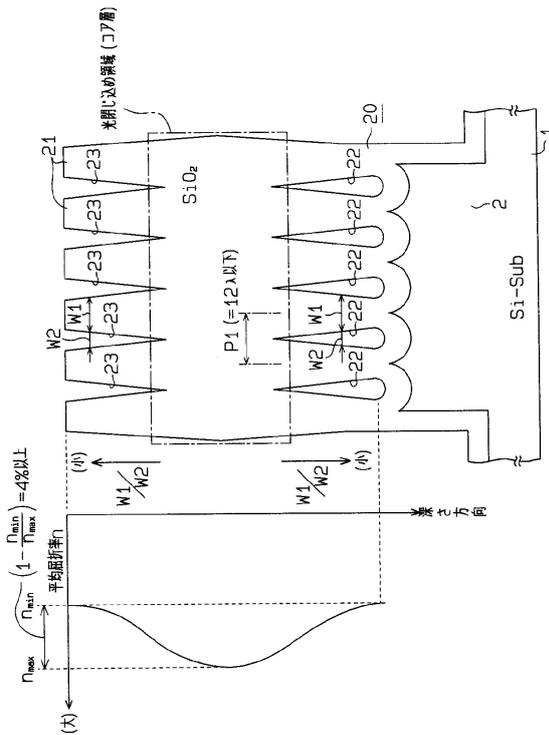
【図6】



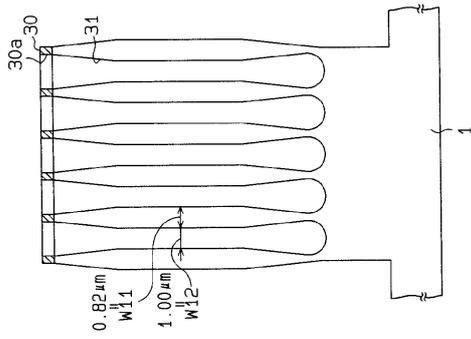
【図7】



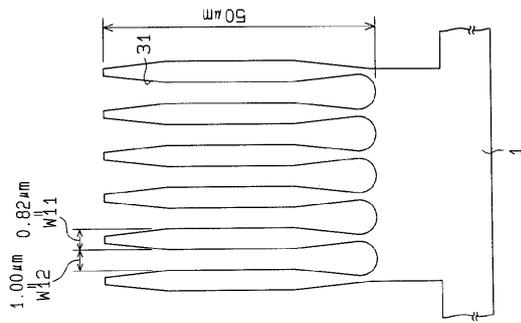
【図8】



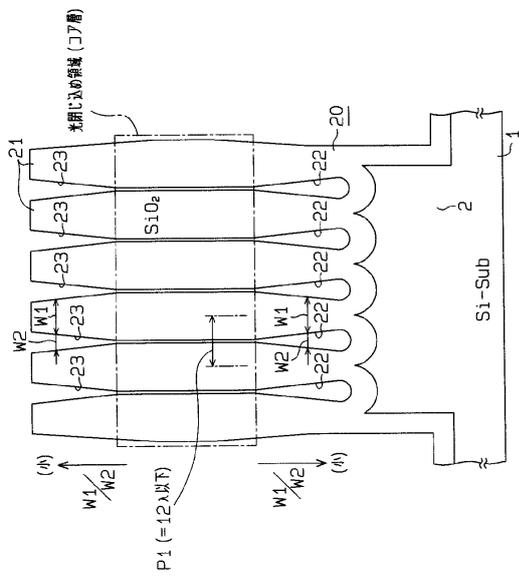
【図9】



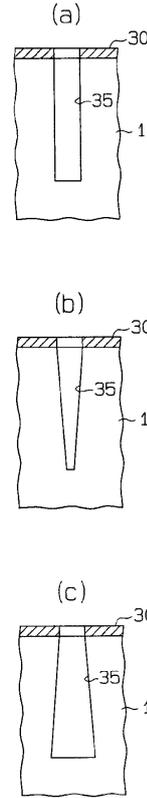
【図10】



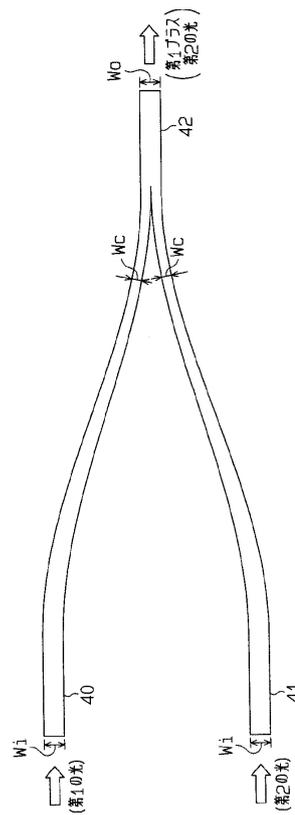
【図12】



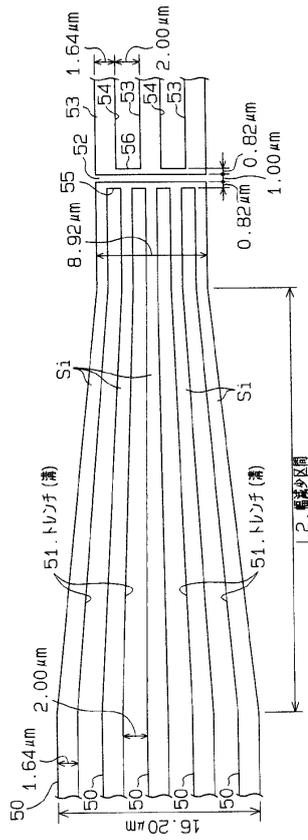
【図11】



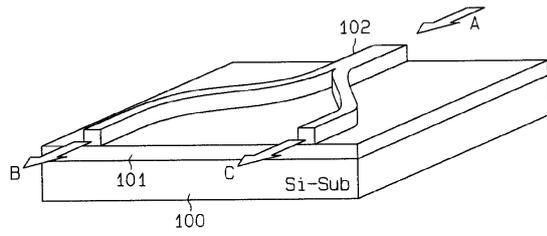
【図13】



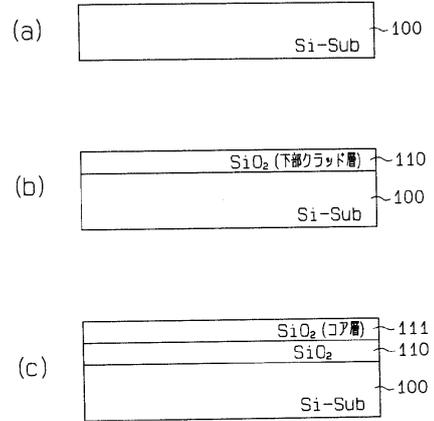
【図14】



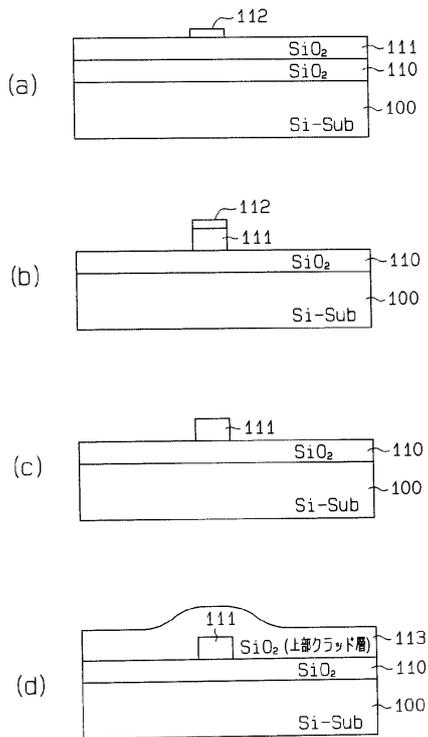
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 竹内 幸裕
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

審査官 高 芳徳

(56)参考文献 特開平09 - 113743 (JP, A)
特開平07 - 198972 (JP, A)
特開2001 - 242333 (JP, A)
特開2002 - 043413 (JP, A)
特開2002 - 231945 (JP, A)
特開2005 - 037872 (JP, A)
特開2002 - 71981 (JP, A)
特開2000 - 299310 (JP, A)
特開平5 - 251740 (JP, A)
特開平9 - 265019 (JP, A)
大家和晃 他, 電子情報通信学会技術研究報告, 2004年 2月13日, Vol.103, No.667, p.
13-16 (OPE2003-272)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/12 - 6/43
JSTPlus (JDreamII)
JST7580 (JDreamII)