

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3976514号

(P3976514)

(45) 発行日 平成19年9月19日(2007.9.19)

(24) 登録日 平成19年6月29日(2007.6.29)

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

請求項の数 8 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2001-107428 (P2001-107428)	(73) 特許権者	000004237
(22) 出願日	平成13年4月5日(2001.4.5)		日本電気株式会社
(65) 公開番号	特開2002-303752 (P2002-303752A)		東京都港区芝五丁目7番1号
(43) 公開日	平成14年10月18日(2002.10.18)	(74) 復代理人	100118957
審査請求日	平成15年2月12日(2003.2.12)		弁理士 岡 晴子
審判番号	不服2005-2538 (P2005-2538/J1)	(74) 代理人	100123788
審判請求日	平成17年2月14日(2005.2.14)		弁理士 宮崎 昭夫
		(74) 代理人	100106138
			弁理士 石橋 政幸
		(74) 代理人	100127454
			弁理士 緒方 雅昭
		(72) 発明者	下田 毅
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

クラッドと、導波路長手方向に沿って厚さが徐々に変化しているテーパ形状部を持つコアとを有する光導波路の製造方法であって、

クラッド層上にコア層を形成する工程と、前記コア層の一部を除去してその上面に段差を形成する工程と、前記段差が埋め込まれ上面に段差のない斜面が形成されるように平坦化層を形成する工程と、前記平坦化層をエッチングして当該平坦化層を完全に除去するとともに前記コア層をエッチングして当該コア層の厚さが徐々に変化するテーパ形状部を持つ単層のコアを形成する工程を有する光導波路の製造方法。

【請求項2】

前記クラッド層は、シリコン基板、石英ガラス基板、セラミック基板のいずれかの基板上に形成し、前記コア層およびクラッド層はそれぞれ石英系材料を用いて形成する請求項1に記載の光導波路の製造方法。

【請求項3】

前記コア層およびクラッド層はそれぞれ、真性の石英ガラス、または燐、ホウ素、ゲルマニウム、チタン、フッ素、砒素、アルミニウム、窒素のうち少なくとも一つをドーパントとして含有する石英ガラスを用いて形成する請求項2に記載の光導波路の製造方法。

【請求項4】

前記平坦化層は、ドーパントを含有する石英系材料を用いて成膜した後、熱処理によるリフローによって前記斜面を持つように成形する請求項1、2又は3に記載の光導波路の

製造方法。

【請求項 5】

ドーパントを含有する前記石英系材料として、燐、ホウ素、ゲルマニウム、チタン、フッ素、砒素、アルミニウムのうちの少なくとも一つをドーパントとして含有する石英ガラスを用いる請求項 4 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 6】

前記平坦化層は、スピノングラス材を塗布して形成する請求項 1、2 又は 3 に記載の光導波路の製造方法。

【請求項 7】

前記平坦化層は、エネルギー硬化型のポリマー材を塗布して形成する請求項 1、2 又は 3 に記載の光導波路の製造方法。 10

【請求項 8】

前記の塗布をスピノコートにより行う請求項 6 又は 7 に記載の光導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信などに用いられる、スポットサイズ変換部を有する光導波路の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

インターネットの急激な普及にともない、光通信システムの商用化展開が非常な勢いで進んでいる。通常の電話回線で 3 万回線以上を伝送できる 2.5 Gb/s システムなどが多くの地域で導入されており、情報伝送容量の拡大にあわせて、波長多重方式によって多重数倍の大容量化を図る方式が既に実用化されるに至っている。初期の数波レベルの波長多重から、現在では、160 波レベルまでの高密度波長多重方式が商用化されるようになってきた。 20

【0003】

このような波長多重光通信方式においては、異なる波長を有する複数の信号光を 1 本の光ファイバに導入するための合波器、また波長多重された光信号から異なる波長の信号に切り分けるための分波器が重要となり、その一例として、アレイ導波路格子 (AWG) が注目されている。 30

【0004】

AWG は、入出力 2 つのスターカップラの間、同じ光路長差を有するアレイ状の光導波路が形成されたものであり、アレイ導波路が高次の回折格子の役割を担うことによって合分波の機能を示すものである。Si 基板ないし石英ガラス基板上に石英系の光導波路を形成した AWG は、すでに商用化されており、実際の光通信システムに用いられている。現在商用化されている AWG は 3 cm x 4 cm 程度のサイズのものが一般的であり、温調機能が必要であることから、パルチエ素子に貼り付けられパッケージに収容されており、このパッケージ全体のサイズは 5 cm x 6 cm 程度となるため、伝送装置のボード内で少なからぬスペースを占有してしまい、デバイスの小型化が重要な課題の一つとなっている。 40

【0005】

また、幹線系に用いられるものの他に、双方向の通信が要求されるアクセス系システムにおいても、小型の光導波路デバイスが強く求められている。

【0006】

合波、分波、分岐などの機能を有する光導波路デバイスの素子サイズは、概略、曲線導波路部分の曲率半径によって制限される。より小さな曲率半径でも低損失な曲線導波路を形成するには、コア層とクラッド層との比屈折率差を大きく設定してやればよい。例えば、通常、石英系の光導波路で採用される、0.4% 程度の比屈折率差の導波路の場合、曲がり損失を 0.1 dB/cm 以内にするには、曲率半径を 20 mm 以上とする必要があるが、比屈折率差を 1.2% とすることにより、曲率半径を 3 mm 以下にすることが可 50

能となる。さらには比屈折率差を2.0%とすることにより曲率半径を1.5mm以下にまで低減することが可能である。

【0007】

しかし、比屈折率差を大きくすると、伝搬光のシングルモード条件を満たすためにコア径を小さくする必要があり、それに伴い光ファイバのスポットサイズとの違いによる結合損失が増加してしまい、素子サイズの小型化は図れても、光モジュールとしての損失増加につながってしまう。したがって、小型でかつ低損失な光モジュールを作製するために、曲線領域の比屈折率差を大きくして、かつファイバ結合部のスポットサイズを拡大してファイバとの結合損失を小さくする必要がある。

【0008】

従来、スポットサイズを拡大する方法として、導波路の幅のみをテーパ状に小さくしていく方法が知られている。本方法は非常に簡便な方法ではあるが、導波路の高さ方向は一定であるので、伝搬光の縦モードと横モードとの間に生じる結合損失の差異(偏光依存性)が大きくなるという問題がある。

【0009】

また、導波路の厚さ方向にも滑らかなテーパ状に膜厚を変化させる方法として、例えば特開2000-206352号公報には、火炎堆積法(FHD法)を用いてウェハ上での火炎トーチのスキャン回数を変化させることによりウェハ面内での膜厚を変化させる方法が開示されている。この方法は、コアの厚さの滑らかなテーパ化は実現できるが、ウェハ面内の任意の位置での微細加工には適さず、テーパ化できる導波路の方向にも制約があるという問題がある。

【0010】

この問題を解決できる方法として、特開平11-84156号公報には、段差を有する第一のコア上にこれを覆うように第二のコアを成膜し高温焼結することにより第一のコアと第二のコアを一体化させ、厚さ方向に滑らかなテーパを形成する方法が開示されている。この方法により、ウェハ面内の任意の位置に厚さ方向に滑らかなテーパを形成することが可能になった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、この方法では第一のコアと第二のコアは同一の組成および同一の屈折率を有するという制約があり、さもなくば第一コアと第二コアとの境界面において伝搬光の反射や波面の歪み等が発生するという問題が生じる。さらに、コア材料は、高温焼結あるいはアニールの際に軟化流動する材料に限られるという制約がある。導波路デバイスのさらなる小型化のためには、例えば屈折率を大きく増加できる窒素をドープした石英系膜(SiON膜)等をコアに用いることも考えられるが、SiON等の融点の高い膜をこの方法に適用することは困難である。

【0012】

そこで本発明の目的は、内部に境界面がなく完全単一層からなり、厚さ方向に滑らかなテーパ形状を持つスポットサイズ変換部を有する光導波路を提供することにある。また、コア材の制約が少なく、このような光導波路を微細精度よく簡便に作製可能な光導波路の製造方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、クラッドと、導波路長手方向に沿って厚さが徐々に変化しているテーパ形状部を持つコアとを有する光導波路の製造方法であって、クラッド層上にコア層を形成する工程と、前記コア層の一部を除去してその上面に段差を形成する工程と、前記段差が埋め込まれ上面に段差のない斜面が形成されるように平坦化層を形成する工程と、前記平坦化層をエッチングして当該平坦化層を完全に除去するとともに前記コア層をエッチングして当該コア層の厚さが徐々に変化するテーパ形状部を持つ単層のコアを形成する工程を有する光導波路の製造方法に関する。

10

20

30

40

50

【0014】

また本発明は、前記平坦化層を、ドーパントを含有する石英系材料を用いて成膜した後、熱処理によるリフローによって前記斜面を持つように成形して形成する上記の光導波路の製造方法に関する。

【0015】

また本発明は、前記平坦化層を、スピノングラス材を塗布して形成する上記の光導波路の製造方法に関する。

【0016】

また本発明は、前記平坦化層を、エネルギー硬化型のポリマー材を塗布して形成する上記の光導波路の製造方法に関する。

10

【0019】

本発明によれば、コアが単層膜から形成されるため、コア内で界面に起因する反射や散乱が発生せず光学特性に優れた光導波路を提供することができる。さらに、コアを高屈折率材料で形成できるため、曲線導波路の曲率半径によらず低損失な光導波路を形成でき、素子の小型化が可能になる。

【0020】

また、本発明によれば、光ファイバとの結合部のスポットサイズへの変換部を微細精度よくしかも再現性よく簡便に形成できるため、小型かつ低損失な光導波路デバイスを低コストで製造することができる。さらに、製造過程に用いる平坦化層の材料をコア層と同じ材料にする必要がなく、またコアは単層で形成できるため、コアおよび平坦化層とも各々の目的のための最適な材料を選択することができる。

20

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好適な実施の形態を図面を用いてより詳細に説明する。

【0022】

本発明の光導波路は、クラッドと、導波路長手方向に沿って厚さが徐々に変化しているテーパ形状部を持つコアとを有し、このコアはクラッド層上に形成された一種のコア層から形成されている。そして、クラッド層（下部クラッド層）上に形成されたコアは他のクラッド層（上部クラッド層）により埋め込まれている。

【0023】

光導波路の端面付近においては、コアの厚さ及び幅がそれぞれ端面に近づくにつれ厚さ方向および幅方向にテーパ状に縮小または拡大している。このようなテーパ形状部がスポットサイズ変換部として機能する。

30

【0024】

次に、図1を用いて本発明の光導波路の製造方法を説明するとともに本発明の光導波路構造についてさらに説明する。

【0025】

まず、基板1上に下部クラッド層2を成膜し、次いで下部クラッド層2よりも屈折率の高いコア層3を成膜する。さらにテーパを形成するためにコア層3の一部にエッチングにより段差を形成し、図1(a)に示すような構成を得る。

40

【0026】

ここで基板材料は特に制限されず、シリコン、石英ガラス等の石英材料、セラミック等の様々な材料を用いることが可能である。基板に石英系材料を用いた場合はそのまま基板をクラッド層として利用できるため、符号2で示される下部クラッド層を省略することができる。

【0027】

下部クラッド層2及びコア層3には好適には石英ガラス等の石英系材料からなる膜を用い、必要に応じて燐、ホウ素、ゲルマニウム、チタン、フッ素、砒素、アルミニウム、窒素等の少なくとも一種をドーピングしてもよい。成膜法はCVD法、FHD法、スパッタリング法等を用いることができる。下部クラッド層2の厚さは通常5 μ mから20 μ m程度

50

とすることができる。段差形成前のコア層3の厚さは2 μm から10 μm 程度とすることができ、このコア層3上面に適宜1 μm から9 μm 程度の段差を形成することができる。段差の形成には、フォトリソグラフィ、及びリアクティブイオンエッチング(RIE)等のドライエッチングによって行うことができる。ただし、ドライエッチングに代えて、バッファードフッ酸等を用いたウェットエッチングで行うことも可能である。

【0028】

次に、図1(b)に示すように段差が形成されたコア層3上面を滑らかな傾斜形状にするために、コア層3上に平坦化層4を形成する。平坦化層4の厚さは、段差が埋まり段差上の平坦化層表面が滑らかな斜面となるように、コア層3の段差以上にすることが望ましい。平坦化層4は、例えば燐およびホウ素をドーピングした石英ガラス膜(ボロン・リン・シリカ・ガラス膜: BPSG膜)等のドーピングされた石英系膜を成膜した後、熱処理によるリフローを行うことによって形成できる。ただし、ドーピング材料はこれに限るものではなく、燐、ホウ素、ゲルマニウム、チタン、フッ素、砒素、アルミニウム等のうちの一つまたは複数を選ぶことができる。また、平坦化層4にはスピノンガラスや、熱硬化性樹脂や光硬化性樹脂等のエネルギー硬化型ポリマー材を用いることもでき、これらの材料を用いることによりスピコート等の塗布法による成膜が可能となり、より簡便なプロセスにすることができる。

10

【0029】

次に、平坦化層4をエッチングにより除去する。その際、エッチングが進行するに従い、コア層3の上面も平坦化層4の形状を転写するようにエッチングされ、図1(c)に示すようなテーパ化コア層5が得られる。この工程において、平坦化層4は完全に除去することが望ましい。エッチングにおいては、良好なテーパ形状を得るために、平坦化層4とコア層3のエッチングレートができるだけ同じであることが望ましく、RIE等のドライエッチングが適している。

20

【0030】

このように厚さ方向(基板平面に垂直方向)のコアサイズが一方向に向かって徐々に(連続的)に変化するテーパ形状を形成した後、フォトリソグラフィ及びRIE等のエッチングにより基板平面方向のパターニングを行って、幅方向(基板平面方向)の所定のコアサイズ(コア幅)を持つコア8を形成する。

【0031】

最後に、図1(d)に示すように、コア8に比べて屈折率の低い上部クラッド層6をコアを埋込むように形成する。これにより、下部クラッド層2とコア8と上部クラッド層6で構成される光導波路7が形成される。上部クラッド層6としては、石英ガラス等の石英系材料からなる膜が好適であり、必要に応じて燐、ホウ素、ゲルマニウム、チタン、フッ素、砒素、アルミニウム、窒素等の少なくとも一種をドーピングしてもよい。上部クラッド層6は、下部クラッド層2と同一材料で形成することが好ましい。成膜法はCVD法、FHD法、スパッタリング法等を用いることができる。

30

【0032】

なお、本発明において上記膜厚や各材料は一例であり、本発明による製造方法を実施するにあたり同様の原理を用いるものであれば、これに限るものでない。

40

【0033】

このように本発明によれば、コア材料をその軟化点にかかわらず選定することが可能になる。また平坦化層4の材料は、その組成や屈折率をコア材料に整合させる必要は全くなく、テーパ部分の水平方向の長さ(テーパ長)、あるいは段差を平坦化する角度(テーパ角度)を考慮して材料の選択を行えばよいため、様々な材料に対して簡便にテーパを形成することが可能である。

【0034】

なお、コア材料は、むしろ軟化点あるいは融点の高いものの方がコア自体の形状が崩れにくく、テーパ長等のテーパ形状の再現性が良好である。この点から、軟化点が1200以上のコア材料が好ましく、1300以上のものがより好ましく、1400以上のもの

50

のも使用可能である。このような材料としては石英ガラス等の石英系材料が好適であり、特に、SiON等の窒素がドーブされた石英系材料が好適である。また、窒素がドーブされた石英系材料は屈折率が高いため、デバイスの小型化の点からも好適である。

【0035】

テーパ化後のコア層の厚さ T_1 及び T_2 ($T_1 > T_2$) は、ドライエッチングによって精度よく制御でき、RIEによればサブミクロンオーダーでの制御が可能である。

【0036】

また、コア層のテーパ長は、平坦化層4の膜厚と粘性によって決定される。本発明者による実験によれば、平坦化層4にBPSG膜(燐4.5wt%、ホウ素5.8wt%)を用い、これを熱処理(アニール)によりリフローした場合、例えばコア層3の段差が $2\mu\text{m}$ のとき、平坦化層4の厚さを $3\mu\text{m}$ とし 850°C でアニールすることによりテーパ長を $70\mu\text{m}$ にすることができ、平坦化層4の厚さを $5\mu\text{m}$ とし、 1100°C でアニールすることによりテーパ長を $400\mu\text{m}$ にすることができた。一般的に、平坦化層4の膜厚が厚く、アニール温度が高いほどテーパ長が長くなる。コア層のテーパ長としては好適には $100\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ 程度であればよいため、本条件の範囲内で十分実現可能であることが分かった。

【0037】

【実施例】

次に本発明を実施例によりさらに説明する。

【0038】

図2は、コアの先端へ向かって厚さ T 及び幅 W が小さくなる先端細り型(A型)のコア形状を示す($T_2 < T_1$, $W_2 < W_1$)。図3は、コアの先端へ向かって厚さ T 及び幅 W が大きくなる先端広がり型(B型)のコア形状を示す($T_2 > T_1$, $W_2 > W_1$)。図4は、コアの先端へ向かって厚さ T が薄くなり幅 W が広がる先端薄膜広がり型(C型)のコア形状を示す($T_2 < T_1$, $W_2 > W_1$)。

【0039】

A型は、コアの厚さ及び幅ともに先端に行くほど小さくしており、伝搬光の閉じ込めを弱くすることによりスポットサイズの拡大を図っている。放射によるスポットサイズ拡大が可能であるためそのスポットサイズ変換効率は大いだが伝搬方向のトレランス(tolerance)が小さく、屈折率変動や切断位置変動に比較的弱い。またB型は、厚さ及び幅ともに大きくしているためA型のような問題はない。しかしながら、大きくスポットサイズを変換したい場合、幅方向の形状はフォトリソグラフィによるパターンニングにより容易に形成可能であるが、厚さ方向の形状は、特に厚さが大きく変化する場合($T_2 \gg T_1$ のような場合)、滑らかな形状に比較的成形しにくい。一方C型は、A型とB型の欠点を相補する構造である。すなわち厚さ方向は先端に行くほど薄くして伝搬光の閉じ込めを弱くすることによってスポットサイズを拡大し、幅方向はコアサイズの拡大によりスポットサイズの拡大を図るものである。厚さ方向は伝搬光が放射モードにならない程度までスポットサイズを拡大し、幅方向で十分にスポットサイズを拡大する。このようなC型は、A型に比べて製造トレランスが大きく、B型に比べてスポットサイズ変換効率が高い。

【0040】

これらのコア形状を有する導波路は以下のようにして実現できた。

【0041】

まず、シリコン基板1上にプラズマCVD法を用いて下部クラッド層2として厚さ $10\mu\text{m}$ の SiO_2 膜を形成した。引き続き、コア層3としてプラズマCVD法にてSiON膜をA型を形成する場合は厚さ $4\mu\text{m}$ 、B型を形成する場合は厚さ $7.5\mu\text{m}$ 、C型を形成する場合は厚さ $4.5\mu\text{m}$ に成膜した。その後、 O_2 雰囲気 900°C で3時間アニールした。

【0042】

次に、テーパを形成するためにコア層3に段差を設けた。フォトリソグラフィ及びRIEにより、A型を形成する場合は $1.5\mu\text{m}$ 、B型を形成する場合は $2.5\mu\text{m}$ 、C型を形

10

20

30

40

50

成する場合は $1.8 \mu\text{m}$ の段差を設けた。

【0043】

次いで、プラズマCVD法にてBPSG膜(燐4.5wt%、ホウ素5.8wt%)を、A型を形成する場合には厚さ $3 \mu\text{m}$ 、B型を形成する場合には厚さ $5 \mu\text{m}$ 、C型を形成する場合には厚さ $3 \mu\text{m}$ に成膜し、続いて O_2 雰囲気中で1000で3時間のアニールによりリフロー成形して平坦化層4を形成した。

【0044】

その後、ウェハ全面をRIEによって、A型を形成する場合には厚さ方向に $4.5 \mu\text{m}$ 、B型を形成する場合には厚さ方向に $7.5 \mu\text{m}$ 、C型を形成する場合には厚さ方向に $5 \mu\text{m}$ エッチングした。

【0045】

以上により、平面光回路部を構成する導波路のコアの厚さ T_1 がA型、B型、C型とも $2.5 \mu\text{m}$ 、光ファイバと接合する導波路のコア先端部の厚さ T_2 がA型では $1 \mu\text{m}$ 、B型では $5 \mu\text{m}$ 、C型では $0.7 \mu\text{m}$ であるテーパ化コア層5が形成された。

【0046】

さらに、フォトリソグラフィ及びRIEにより、基板平面方向のコアのパターンニングを行った。平面光回路部の導波路幅 W_1 はいずれの型でも $2.5 \mu\text{m}$ に設定した。また、光ファイバと接合する導波路先端部の導波路幅 W_2 は、A型では $1 \mu\text{m}$ 、B型では $8 \mu\text{m}$ 、C型では $10 \mu\text{m}$ とした。

【0047】

最後に、プラズマCVD法を用いて上部クラッド層6を成膜し、 O_2 雰囲気中で900で3時間アニールした。

【0048】

コアのテーパ長は、A型では $300 \mu\text{m}$ 、B型では $120 \mu\text{m}$ 、C型では $280 \mu\text{m}$ であった。屈折率は、上部及び下部クラッド層が $1.55 \mu\text{m}$ の波長に対して 1.445 、コアが 1.474 (比屈折率差2%)に設定した。

【0049】

以上により図2~4に示すような幅および厚さの両方について滑らかなテーパ形状を有するスポットサイズ変換部を持った光導波路を得ることができた。

【0050】

なお、以上に示した膜厚や膜材料等は一例であり、その他の膜厚や膜材料等を用いることは可能である。

【0051】

【発明の効果】

以上に説明したように本発明によれば、光ファイバとの結合損失およびその偏光依存性の小さいスポットサイズ変換部を有する光導波路を微細精度よくしかも再現性よく簡便な方法で量産することが可能である。また、製造時におけるコア材料の選択に際して軟化性及び屈折率の制約がないため、最適なコア材料を広く選ぶことができる。

【0052】

また本発明によれば、コアは完全に単層膜から形成されるため、コア内部での界面に起因する反射や波形の歪みなどが発生しない光学特性に優れたスポットサイズ変換部を有する光導波路デバイスを提供できる。さらに、コアとクラッドの比屈折率差の大きい光導波路デバイスが小さな結合損失で実現できるため、素子の小型化が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光導波路の製造方法の一実施形態を示す断面工程図である。

【図2】本発明により製造可能な先端細り型導波路のコア形状を示す図である。

【図3】本発明により製造可能な先端広がり型導波路のコア形状を示す図である。

【図4】本発明により製造可能な先端薄膜広がり型導波路のコア形状を示す図である。

【符号の説明】

1 基板

10

20

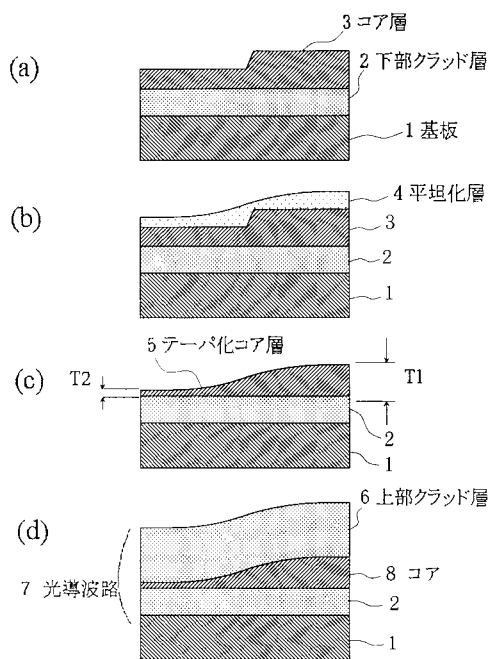
30

40

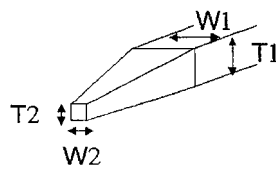
50

- 2 下部クラッド層
- 3 コア層
- 4 平坦化層
- 5 テーパー化コア層
- 6 上部クラッド層
- 7 光導波路
- 8 コア

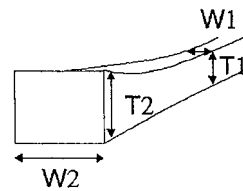
【図1】



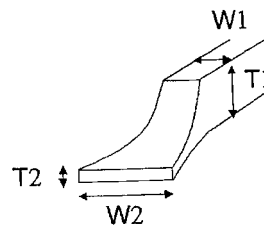
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

合議体

審判長 吉野 公夫

審判官 井上 博之

審判官 吉田 禎治

- (56)参考文献 特開昭49-97571(JP,A)
特開2000-137129(JP,A)
特開平7-207470(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B6/12