

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-93743

(P2007-93743A)

(43) 公開日 平成19年4月12日(2007.4.12)

(51) Int. Cl.	F I			テーマコード (参考)
G02B 6/122 (2006.01)	G02B 6/12	A	2H147	
G02B 6/14 (2006.01)	G02B 6/14			
G02B 6/13 (2006.01)	G02B 6/12	M		

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2005-280094 (P2005-280094)	(71) 出願人	000005120 日立電線株式会社 東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(22) 出願日	平成17年9月27日 (2005.9.27)	(74) 代理人	100068021 弁理士 絹谷 信雄
(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係わる特許出願 (平成16年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「フォトリックネットワーク技術の開発事業」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願)		(72) 発明者	伊藤 正宣 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 日立電線株式会社内
		(72) 発明者	白田 知之 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 日立電線株式会社内
		(72) 発明者	阿部 由起雄 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 日立電線株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スポットサイズ変換導波路及びその製造方法

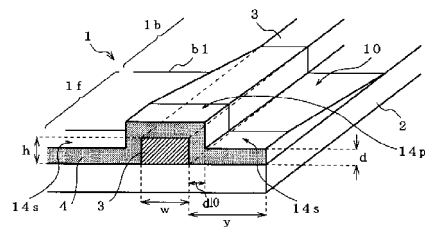
(57) 【要約】

【課題】 TECファイバなどのスポットサイズ変換部材を用いることなく、高 光導波路とシングルモードファイバを低損失で接続できる安価なスポット変換導波路及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明に係るスポットサイズ変換導波路 1 は、基板 2 上に導波路コア 3 を有する光導波路のコア端面に、スポットサイズが異なるシングルモードファイバが接続されるものであり、

導波路コア 3 のファイバ接続端部に、ファイバ側のスポットサイズがシングルモードファイバと同等、導波路コア 3 側のスポットサイズが導波路コア 3 と同等であり、かつ、リッジコア幅及びリッジコア高さがファイバ側から導波路コア 3 側に向かって小さくなる横断面凸字状のリッジ部 10 を備えるものである。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上にコアを有する光導波路のコア端面に、スポットサイズが異なるシングルモードファイバが接続されるスポットサイズ変換導波路において、

上記コアのファイバ接続端部に、ファイバ側のスポットサイズが上記シングルモードファイバと同等、コア側のスポットサイズが上記コアと同等であり、かつ、リッジコア幅及びリッジコア高さがファイバ側からコア側に向かって小さくなる横断面凸字状のリッジ部を備えることを特徴とするスポットサイズ変換導波路。

【請求項 2】

上記リッジ部が、上記コアで構成される中心部の周りを、コアの屈折率と同じ又はそれ以下の材料で構成される膜で覆設してなる請求項 1 記載のスポットサイズ変換導波路。 10

【請求項 3】

上記リッジ部が、横断面ほぼ凸字状の上記コアで構成される中心部の凸部上に、コアの屈折率と同じ又はそれ以下の材料で構成される膜を覆設してなる請求項 1 記載のスポットサイズ変換導波路。

【請求項 4】

上記コア部の比屈折率差が 1.5%、上記リッジ部の比屈折率差が 1.1~1.5%、リッジ部の高さが 3~9 μm である請求項 1 から 3 いずれかに記載のスポットサイズ変換導波路。

【請求項 5】

上記リッジ部の長手方向長さが 1000 μm 以上である請求項 1 から 4 いずれかに記載のスポットサイズ変換導波路。 20

【請求項 6】

基板上にコアを有する光導波路のコア端面に、スポットサイズが異なるシングルモードファイバが接続されるスポットサイズ変換導波路の製造方法において、

上記基板上に第 1 コア膜を形成するステップと、

上記第 1 コア膜にエッチング処理を施して第 1 コアを形成するステップと、

上記第 1 コアから離間させた状態で、基板及び第 1 コアをマスクで覆うと共に、コア端面から所定長さにならって基板及び第 1 コアを露出させるステップと、

そのマスクを介して、上記第 1 コア膜と屈折率と同じ又はそれ以下の材料で構成される第 2 コア膜の成膜を行い、マスクから露出した部分には膜厚が一定の均等膜を形成すると共に、マスクの下側部分には膜厚が徐々に薄くなる傾斜膜を形成するステップとを備え、 30

第 2 コア膜成膜ステップにより、上記コアのファイバ接続端部に、ファイバ側のスポットサイズが上記シングルモードファイバと同等、コア側のスポットサイズが上記コアと同等であり、かつ、リッジコア幅及びリッジコア高さがファイバ側からコア側に向かって小さくなる横断面凸字状のリッジ部を形成することを特徴とするスポットサイズ変換導波路の製造方法。

【請求項 7】

基板上にコアを有する光導波路のコア端面に、スポットサイズが異なるシングルモードファイバが接続されるスポットサイズ変換導波路の製造方法において、

上記基板上に第 1 コア膜を形成するステップと、 40

上記第 1 コア膜から離間させた状態で、基板及び第 1 コア膜をマスクで覆うと共に、コア膜端面から所定長さにならって基板及び第 1 コア膜を露出させるステップと、

そのマスクを介して、上記第 1 コア膜と屈折率と同じ又はそれ以下の材料で構成される第 2 コア膜の成膜を行い、マスクから露出した部分には膜厚が一定の均等膜を形成すると共に、マスクの下側部分には膜厚が徐々に薄くなる傾斜膜を形成するステップと、

上記第 1 コア膜及び第 2 コア膜にエッチング処理を施してコアを形成するステップとを備え、

コア形成ステップにより、上記コアのファイバ接続端部に、ファイバ側のスポットサイズが上記シングルモードファイバと同等、コア側のスポットサイズが上記コアと同等であり、かつ、リッジコア幅及びリッジコア高さがファイバ側からコア側に向かって小さくな 50

る横断面凸字状のリッジ部を形成することを特徴とするスポットサイズ変換導波路の製造方法。

【請求項 8】

上記第 1 コア形成ステップのエッチング処理の際、上記基板にまで達するオーバーエッチングを行い、基板の凸部の上に上記第 1 コアを形成する請求項 6 記載のスポットサイズ変換導波路の製造方法。

【請求項 9】

上記オーバーエッチングのエッチング深さを、上記第 2 コア膜の均等膜の厚さよりも大きくなるように調整する請求項 8 記載のスポットサイズ変換導波路の製造方法。

【請求項 10】

上記コア形成ステップのエッチング処理の際、ファイバ接続端部側に拡径部を有するエッチングマスクを用いる請求項 7 記載のスポットサイズ変換導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、比屈折率差()が0.3%より大きい光導波路(以下、高 光導波路という)とシングルモードファイバを低損失に接続するスポットサイズ変換導波路及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

高 光導波路とシングルモードファイバは、スポットサイズ(ビーム半径)が異なる。一般に高 光導波路のスポットサイズは = 1.5%の場合で約2.5 μ m、シングルモードファイバのスポットサイズは約5 μ mである。このため、高 光導波路とシングルモードファイバを接続するには、特別な部品を用いたり、複雑な構成の光導波路を用いたりする必要がある。

【0003】

従来、比屈折率差が大きい高 光導波路とシングルモードファイバの接続には、TEC(コア拡大)ファイバを用いて接続していた。

【0004】

なお、この出願の発明に関連する先行技術文献情報としては、次のものがある。

【0005】

【特許文献 1】特開平 6 - 1 6 0 6 7 5 号公報

【特許文献 2】特許第 3 6 0 7 1 2 9 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、TECファイバを用いる場合、高 光導波路とシングルモードファイバ間にTECファイバを接続する必要があるため、接続部の数が増えてしまい、従来のファイバアレイに比べて、部品点数の増加と製作コストの上昇を招くという問題があった。

【0007】

また、高 光導波路とシングルモードファイバを接続するため、導波路コアとシングルモードファイバの軸ずれの許容範囲が、従来の低 (0.3%以下)の光導波路とシングルモードファイバの場合に比べて厳しくなるという問題があった。

【0008】

一方、理想的なスポット変換導波路として、コア高さ及びコア幅が光の伝搬方向にわたって徐々に変化するテーパ導波路構造が挙げられる。このテーパ導波路構造のスポット変換導波路は、光導波路素子のコア端面におけるスポットサイズを、シングルモードファイバのスポットサイズに近づけることができ、結合損失を大きく低減することができる。しかしながら、テーパ導波路構造のスポット変換導波路は、製造工程が複雑であり、製作コストの上昇を招くという問題があった。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明の目的は、TECファイバなどのスポットサイズ変換部材を用いること無く、高 光導波路とシングルモードファイバを低損失で接続できる安価なスポット変換導波路及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 】

【 0 0 1 0 】

上記目的を達成すべく本発明に係るスポットサイズ変換導波路は、基板上にコアを有する光導波路のコア端面に、スポットサイズが異なるシングルモードファイバが接続されるスポットサイズ変換導波路において、

コアのファイバ接続端部に、ファイバ側のスポットサイズが上記シングルモードファイバと同等、コア側のスポットサイズが上記コアと同等であり、かつ、リッジコア幅及びリッジコア高さがファイバ側からコア側に向かって小さくなる横断面凸字状のリッジ部を備えるものである。

10

【 0 0 1 1 】

ここで、リッジ部は、コアで構成される中心部の周りを、コアの屈折率と同じ又はそれ以下の材料で構成される膜で覆設してなるものである。また、リッジ部は、横断面ほぼ凸字状のコアで構成される中心部の凸部上に、コアの屈折率と同じ又はそれ以下の材料で構成される膜を覆設してなるものである。

【 0 0 1 2 】

コア部の比屈折率差は1.5%、リッジ部の比屈折率差は1.1~1.5%、リッジ部の高さは3~9 μ mとされる。また、リッジ部の長手方向長さは1000 μ m以上とされる。

20

【 0 0 1 3 】

一方、本発明に係るスポットサイズ変換導波路の製造方法は、基板上にコアを有する光導波路のコア端面に、スポットサイズが異なるシングルモードファイバが接続されるスポットサイズ変換導波路の製造方法において、

基板上に第1コア膜を形成するステップと、

第1コア膜にエッチング処理を施して第1コアを形成するステップと、

第1コアから離間させた状態で、基板及び第1コアをマスクで覆うと共に、コア端面から所定長さにわたって基板及び第1コアを露出させるステップと、

そのマスクを介して、第1コア膜と屈折率が同じ又はそれ以下の材料で構成される第2コア膜の成膜を行い、マスクから露出した部分には膜厚が一定の均等膜を形成すると共に、マスクの下側部分には膜厚が徐々に薄くなる傾斜膜を形成するステップとを備え、

30

第2コア膜成膜ステップにより、コアのファイバ接続端部に、ファイバ側のスポットサイズがシングルモードファイバと同等、コア側のスポットサイズがコアと同等であり、かつ、リッジコア幅及びリッジコア高さがファイバ側からコア側に向かって小さくなる横断面凸字状のリッジ部を形成するものである。

【 0 0 1 4 】

また、本発明に係るスポットサイズ変換導波路の製造方法は、基板上にコアを有する光導波路のコア端面に、スポットサイズが異なるシングルモードファイバが接続されるスポットサイズ変換導波路の製造方法において、

40

基板上に第1コア膜を形成するステップと、

第1コア膜から離間させた状態で、基板及び第1コア膜をマスクで覆うと共に、コア膜端面から所定長さにわたって基板及び第1コア膜を露出させるステップと、

そのマスクを介して、第1コア膜と屈折率が同じ又はそれ以下の材料で構成される第2コア膜の成膜を行い、マスクから露出した部分には膜厚が一定の均等膜を形成すると共に、マスクの下側部分には膜厚が徐々に薄くなる傾斜膜を形成するステップと、

第1コア膜及び第2コア膜にエッチング処理を施してコアを形成するステップとを備え、

コア形成ステップにより、コアのファイバ接続端部に、ファイバ側のスポットサイズがシングルモードファイバと同等、コア側のスポットサイズがコアと同等であり、かつ、リ

50

リッジコア幅及びリッジコア高さがファイバ側からコア側に向かって小さくなる横断面凸字状のリッジ部を形成するものである。

【0015】

ここで、第1コア形成ステップのエッチング処理の際、基板にまで達するオーバーエッチングを行い、基板の凸部の上に上記第1コアを形成してもよい。オーバーエッチングのエッチング深さは、第2コア膜の均等膜の厚さよりも大きくなるように調整することが好ましい。

【0016】

コア形成ステップのエッチング処理の際、ファイバ接続端部側に拡径部を有するエッチングマスクを用いることが好ましい。

10

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、部品点数を増やすこと無く、高 光導波路とシングルモードファイバを低損失で接続することができるという優れた効果を発揮する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の好適な実施の形態を添付図面にしたがって説明する。

【0019】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の好適一実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路の構造図である。

20

【0020】

図1に示すように、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路1は、高 光導波路であり、石英(又はSi)製の基板2上に断面矩形状の導波路コア3を有し、その導波路コア3のファイバ接続端部(図1中では手前側の端部)に横断面凸字状のリッジ部10を備えるものである。導波路コア3、リッジ部10、及び基板2は上部クラッド(図示せず)で覆われる。スポットサイズ変換導波路1において、リッジ部10を含む部分がリッジ導波路1fであり、残りの部分が一般のメサ形導波路1bとなる。

【0021】

リッジ部10は、中心部(ファイバ接続端部における導波路コア3)の周りを、疑似コアとなる膜4で覆設して構成される。膜4は、基板2上のシングルモードファイバのコアと接続する部分に形成される。膜4は、一般にCVD法で成膜して形成されるため、CVDコアとも呼ばれる。リッジ部10の、シングルモードファイバとの接続側のスポットサイズはシングルモードファイバ(図示せず)と同等であり、メサ形導波路1b側のスポットサイズは導波路コア3と同等となっている。

30

【0022】

リッジ部10は、リッジコアの幅及びリッジコアの高さがファイバ側(図1中では手前側)からメサ形導波路1b側(図1中では奥側)に向かって小さくなる。ここで言うリッジコアの幅は、[導波路コア3の幅 w + 膜4の膜幅 $d_{10} \times 2$]のことであり、リッジコアの高さは、[導波路コア3の高さ h + 膜4の膜厚 d]のことである。導波路コア3はその長手方向にわたって断面形状が同じであるため、実際には膜4の断面形状が光の伝搬方向にわたって変化する。具体的には、図2(a)~図2(d)に示すように、膜4は、シングルモードファイバ側からリッジ導波路1f側に向かって膜厚が d_1 、 d_2 ($< d_1$)と徐々に薄くなり、リッジ導波路1fとメサ形導波路1bの境界 b_1 において膜厚がゼロとなる。

40

【0023】

ここで、メサ形導波路1b(コア部)及びリッジ導波路1f(リッジ部10)の比屈折率差は、接続されるシングルモードファイバの比屈折率差より大きくされる。また、導波路コア3の屈折率は、基板2及び上部クラッドの屈折率よりも高くされ、例えば、1.0~3.0%、好ましくは1.5~2.5%前後とされる。膜4の屈折率は、導波路コア3の屈折率と同じか、又はそれよりもやや低くされる。基板2としては、石英基板やSi基板などが用いら

50

れる。基板としてSiを用いた場合、基板2と導波路コア3の間には下部クラッドを設ける必要がある。

【0024】

導波路コア3及びリッジ部10のリッジコアの断面形状は、矩形状に限定するものではなく、例えば、台形状、半円状、半楕円状などであってもよい。

【0025】

次に、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路1の製造方法を説明する。

【0026】

先ず、図3(a)に示すように、基板2上に、CVD法、スパッタ法、FHD(火炎堆積)法などを用いて、導波路コア膜(第1コア膜)31が成膜される(第1コア膜形成ステップ)。導波路コア膜31を構成する材料の屈折率は、基板2を構成する材料の屈折率よりも高くされる。

10

【0027】

次に、図3(b)に示すように、導波路コア膜31上に光回路パターン32が形成される。その後、図3(c)に示すように、光回路パターン32をマスクとして、導波路コア膜31にエッチング処理を施し、導波路コア(第1コア)3が形成される(第1コア形成ステップ)。エッチング処理後、光回路パターン32は除去される。

【0028】

最後に、図3(d)に示すように、基板2及び導波路コア3のファイバ接続端部(図1中では手前側の端部)上に、CVD法、スパッタ法、FHD法などで膜(第2コア膜)4が成膜され(第2コア膜成膜ステップ)、図1に示したスポットサイズ変換導波路1が得られる。

20

【0029】

ここで、膜4の成膜の際、基板2及び導波路コア3上にマスク33を配置した状態で成膜がなされる。より詳細には、図4に示すように、導波路コア3から距離(高さ)H離れた状態で、基板2及び導波路コア3上にマスク33が配置され、コア端面3aから所定長さLにわたって基板2及び導波路コア3を一部露出させる(マスク配置ステップ)。このようにマスク33を配置した状態で、マスク33を介してガラスを堆積させ、膜4を成膜すると、基板2及び導波路コア3とマスク33の隙間(離間部)から、ガラスがマスク33の下方に回り込む。回り込むガラスの量は、マスク33のコア端面(図4中では左端面)から離れるほど少なくなる。

30

【0030】

その結果、マスク33から露出した基板2及び導波路コア3(所定長さLの部分)上には膜厚が一定の均等膜41が形成される。また、マスク33で覆われた基板2及び導波路コア3(マスク33の下側部分)上には膜厚が徐々に薄くなる傾斜膜42が形成される。すなわち、膜4は、均等膜41と傾斜膜42で構成される。傾斜膜42の傾斜角度は、マスク33の高さHを調整することで自在に調整可能であり、Hが大きいほど傾斜角度が小さくなり、Hが小さいほど傾斜角度が大きくなる。

【0031】

従来、リッジ部10の高さ(厚さ)を光の伝搬方向にわたって連続的に変化させるには、平らな膜に、光の伝搬方向にわたってエッチング量の異なるエッチング処理を施す必要があった。しかし、このエッチング処理のエッチング量を調整するのは、非常に困難な作業であった。これに対し本願発明によれば、マスク33を用いて膜4を成膜させることで、成膜する膜4の膜厚を光の伝搬方向にわたって変化させることができるため、エッチング処理なしで容易にリッジ部10の高さを光の伝搬方向にわたって連続的に変化させることができる。また、この膜4の成膜によって、リッジ部10の高さのみでなく、リッジ部10の幅も連続的に変化させることができる。

40

【0032】

リッジ部10の幅が光の伝搬方向にわたって連続的に変化するのは、導波路コア3と膜4を合わせた総コア幅が変化するからである。例えば、リッジ形導波路1f(図1参照)

50

においては、膜 4 の膜厚が光の伝搬方向にわたって変化し、図 2 (a) の 2 B - 2 B の断面図である図 2 (b) に示したように、リッジコア幅は (導波路コア 3 の幅 w + 膜 4 の膜幅 $d_{11} \times 2$)、リッジコア高さは (導波路コア 3 の高さ $h + d_1$) となる。また、図 2 (a) の 2 C - 2 C の断面図である図 2 (c) に示したように、リッジコア幅は (w + 膜 4 の膜幅 $d_{12} \times 2$)、リッジコア高さは ($h + d_2$) となる。一方、メサ形導波路 1 b においては、図 2 (a) の 2 D - 2 D の断面図である図 2 (d) に示したように、膜 4 の膜厚がゼロであるため、コア幅 (w) とコア高さ (h) は一定である。

【 0 0 3 3 】

次に、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路 1 の作用を説明する。

【 0 0 3 4 】

本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路 1 は、シングルモードファイバと接続されるファイバ接続側にリッジ部 1 0 を有する。このリッジ部 1 0 は、リッジ部 1 0 のリッジコア高さ及びリッジコア幅、すなわちスポットサイズが、光の伝搬方向にわたって連続的に変化するものであり、ファイバ接続側のスポットサイズはシングルモードファイバのそれと同等である。

10

【 0 0 3 5 】

このため、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路 1 は、スポットサイズの異なる高 光導波路とシングルモードファイバを、TECファイバなどの他の部材を用いることなく、光学的に接続することが可能である。言い換えると、シングルモードファイバと高 光導波路を、1箇所の接続部で低損失に接続できる。

20

【 0 0 3 6 】

また、膜 4 はリッジ形を呈しており、光を閉じ込める構造であるため、膜 4 のすその部分 1 4 s , 1 4 s (図 1 参照) が光の伝送特性に悪影響を及ぼすおそれはない。これは、膜 4 のすその部分 1 4 s , 1 4 s と基板 2 及び上部クラッド (図示せず) とから構成される部分の等価屈折率より、導波路コア 3 及び膜 4 の中央に位置する凸部 1 4 p、並びに基板 2 及び上部クラッド (図示せず) とから構成される導波路の等価的屈折率が大きくなるからである。

【 0 0 3 7 】

次に、本発明の他の実施の形態を添付図面に基づいて説明する。

【 0 0 3 8 】

(第 2 の実施形態)

図 5 は、本発明の他の好適な一実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路 5 1 の構造図である。尚、図 1 と同様の部材には同じ符号を付しており、これらの部材については説明を省略する。

30

【 0 0 3 9 】

図 5 に示すように、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路 5 1 は、高 光導波路であり、石英製の基板 2 上に断面矩形状の導波路コア 3 を有し、その導波路コア 3 のファイバ接続端部 (図 5 中では手前側の端部) に横断面凸字状のリッジ部 5 0 を備えるものである。導波路コア 3、リッジ部 5 0、及び基板 2 は上部クラッド (図示せず) で覆われる。スポットサイズ変換導波路 5 1 において、リッジ部 5 0 を含む部分がリッジ導波路 5 1 f であり、残りの部分が一般のメサ形導波路 5 1 b となる。

40

【 0 0 4 0 】

リッジ部 5 0 は、ほぼリッジ形の導波路コア 5 3 の凸部 5 3 p 上に、疑似コアとなる膜 5 4 を設けてなる。導波路コア 5 3 は、幅方向 (図 5 中では左右方向) 中央に位置する凸部 5 3 p と、凸部 5 3 p の幅方向両脇に位置するすそ部 5 3 s , 5 3 s で構成され、凸部 5 3 p とすそ部 5 3 s , 5 3 s は連続一体に設けられる。また、膜 5 4 は、一般に CVD 法で成膜して形成される。リッジ部 5 0 の、ファイバ側のスポットサイズはシングルモードファイバ (図示せず) と同等、メサ形導波路 5 1 b 側のスポットサイズは導波路コア 3 と同等であり、このリッジ部 5 0 のリッジコアにシングルモードファイバが接続される。

【 0 0 4 1 】

50

リッジ部 5 0 は、リッジコアの幅及びリッジコアの高さがファイバ側（図 5 中では手前側）からメサ形導波路 5 1 b 側（図 5 中では奥側）に向かって小さくなる。ここで言うリッジコアの幅は、[凸部 5 3 p の幅 w] のことであり、リッジコアの高さは、[凸部 5 3 p の高さ h + 膜 4 の膜厚 d] のことである。リッジ部 5 0 における導波路コア 5 3 及び膜 5 4 の断面形状は光の伝搬方向にわたって変化する。具体的には、膜 5 4 は、ファイバ側からコア側に向かって膜厚が徐々に薄くなり、リッジ導波路 5 1 f とメサ形導波路 5 1 b の境界 $b 5$ において膜厚がゼロとなる。一方、導波路コア 5 3 におけるすそ部 5 3 s , 5 3 s はファイバ側からコア側に向かって高さが徐々に低くなり、リッジ導波路 5 1 f とメサ形導波路 5 1 b の境界 $b 5$ において高さがゼロとなる。この境界 $b 5$ において凸部 5 3 p が完全に露出し、導波路コア 3 となる。また、導波路コア 5 3 における凸部 5 3 p の高さは一定、幅は後述する光回路パターン 6 2（図 6（c）参照）の平面形状に応じて決定される。

10

【0042】

ここで、メサ形導波路 5 1 b 及びリッジ導波路 5 1 f（リッジ部 5 0）のは、接続されるシングルモードファイバのより大きくされる。また、導波路コア 3 , 5 3 の屈折率は、基板 2 及び上部クラッドの屈折率よりも高くされる。膜 5 4 の屈折率は、導波路コア 3 , 5 3 の屈折率と同じか、又はそれよりもやや低くされる。

【0043】

次に、スポットサイズ変換導波路 5 1 の製造方法を説明する。

【0044】

先ず、図 6（a）に示すように、基板 2 上に、CVD法、スパッタ法、FHD（火炎堆積）法などを用いて、導波路コア膜（第 1 コア膜）3 1 が成膜される（第 1 コア膜形成ステップ）。導波路コア膜 3 1 を構成する材料の屈折率は、基板 2 を構成する材料の屈折率よりも高くされる。

20

【0045】

次に、図 6（b）に示すように、基板 2 及び導波路コア膜 3 1 のファイバ接続端部（図 6（b）中では手前側の端部）上に、CVD法、スパッタ法、FHD法などで膜（第 2 コア膜）6 4 が成膜される（第 2 コア膜成膜ステップ）。

【0046】

ここで、膜 6 4 の成膜の際、基板 2 及び導波路コア膜 3 1 上にマスク 3 3 を配置した状態で成膜がなされる。このマスク 3 3 の配置状態は、基本的に前実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路 1 の製造方法におけるマスク 3 3 の配置状態と同じとされる。このようにマスク 3 3 を配置した状態で、マスク 3 3 を介してガラスを堆積させ、膜 6 4 を成膜すると、基板 2 及び導波路コア膜 3 1 とマスク 3 3 の隙間（離間部）から、ガラスがマスク 3 3 の下方に回り込む。回り込むガラスの量は、マスク 3 3 の一端面 3 3 a から離れるほど少なくなる。

30

【0047】

その結果、マスク 3 3 から露出した基板 2 及び導波路コア膜 3 1 上には膜厚が一定の均等膜 6 5 が形成される。また、マスク 3 3 で覆われた基板 2 及び導波路コア膜 3 1（マスク 3 3 の下側部分）上には膜厚が徐々に薄くなる傾斜膜 6 6 が形成される。すなわち、膜 6 4 は、均等膜 6 5 と傾斜膜 6 6 で構成される。傾斜膜 6 6 の傾斜角度は、マスク 3 3 の高さを調整することで自在に調整可能であり、高さが大きいほど傾斜角度が小さくなり、高さが小さいほど傾斜角度が大きくなる。

40

【0048】

次に、図 6（c）に示すように、膜 6 4 上に光回路パターン 6 2 が形成される。その後、光回路パターン 6 2 をマスクとして、膜 6 4 及び導波路コア膜 3 1 にエッチング処理が施される。このエッチング処理は、導波路コア膜 3 1 のファイバ接続端部（図 6（c）中では手前側の端部）において、導波路コア膜 3 1 の途中までエッチングされるように、エッチング量が調整される。このエッチングによって、図 6（d）に示すように、凸部 5 3 p とすそ部 5 3 s , 5 3 s を有する導波路コア（第 1 コア）5 3 が形成される（第 1 コア

50

形成ステップ)と共に、凸部53p上にくさび形の膜54が形成される。エッチング量は、膜64の成膜領域全面にわたって均一であるため、エッチングの結果、均等膜65及び傾斜膜66の表面形状が、そのまま、すそ部53s, 53sの表面形状(起伏パターン)として反映される。また、膜54の膜厚は、ファイバ接続端部側が最も厚く、導波路コア3側に近付くにつれて徐々に薄くなる。この膜54の膜厚の変化に伴って、凸部53pの高さが変化する。

【0049】

エッチング処理後、光回路パターン62を除去することで、スポットサイズ変換導波路51が得られる。

【0050】

本実施の形態においては、リッジコアの幅W2は一定で、リッジコアの高さh2のみが光の伝搬方向にわたって変化する場合について説明を行ったが、これに限定するものではなく、リッジコアの幅及びリッジコアの高さを光の伝搬方向にわたって変化させることももちろん可能である。例えば、エッチング処理の際、エッチングマスクとして、ファイバ接続端部側に拡径部68を有する光回路パターン69(図6(b)中で一点鎖線で示す)を用いることで、リッジコア幅についても光の伝搬方向にわたって変化させることができる。この拡径部68は、ファイバ接続端部側から導波路コア3側に向かって小さくなる。

【0051】

本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路51においても、第1の実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路1と同様の作用効果が得られる。

【0052】

(第3の実施形態)

図7は、本発明の別の好適な一実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路の構造図である。尚、図1と同様の部材には同じ符号を付しており、これらの部材については説明を省略する。

【0053】

図7に示すように、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路71の基本的な構造は、第1の実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路1と同じであるが、導波路コア3が隆起されている点で異なる。

【0054】

具体的には、リッジ部10における導波路コア3は、コアよりも低屈折率の材料で構成される凸部72の上に設けられる。凸部72は、基板2にエッチング加工を施すことで形成されたものである。この凸部72を含む基板2及びリッジ部10における導波路コア3を覆うように膜4が設けられる。

【0055】

次に、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路71の製造方法を説明する。

【0056】

まず、図8(a)に示すように、基板2上に、CVD法、スパッタ法、FHD(火炎堆積)法などを用いて、導波路コア膜(第1コア膜)31が成膜される(第1コア膜形成ステップ)。導波路コア膜31を構成する材料の屈折率は、基板2を構成する材料の屈折率よりも高くされる。

【0057】

次に、図8(b)に示すように、導波路コア膜31上に光回路パターン32が形成される。その後、図8(c)に示すように、光回路パターン32をマスクとして、導波路コア膜31にエッチング処理を施し、導波路コア(第1コア)3が形成される(第1コア形成ステップ)。この時、基板2の途中までエッチングされるように、オーバーエッチがなされる。オーバーエッチとは、図8(b)に示した導波路コア膜31にエッチング処理を施す際に、エッチング量を導波路コア膜31の高さ分だけとせず、基板2に達するまで過剰にエッチングを行うことである。このときの過剰なエッチング深さをオーバーエッチング深さ101と呼ぶ。このオーバーエッチにより、導波路コア3の下部に、基板2がエッチ

10

20

30

40

50

ングされてなる凸部72が形成される。エッチング処理後、光回路パターン32は除去される。

【0058】

最後に、図8(d)に示すように、基板2及び導波路コア3のファイバ接続端部(図8(d)中では手前側の端部)上に、CVD法、スパッタ法、FHD法などで膜(第2コア膜)4が成膜される(第2コア膜成膜ステップ)。膜4の成膜方法は、第1の実施形態における第2コア膜成膜ステップと同じとされる。これによって、図7に示したように、スポットサイズ変換導波路71が得られる。

【0059】

次に、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路71の作用を説明する。

10

【0060】

本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路71においても、第1の実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路1と同様の作用効果が得られる。

【0061】

また、本実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路71においては、例えば、図9に示すように、導波路コア3が、オーバーエッチング深さがH12(膜4の膜厚)である凸部72の上に設けられていることから、導波路コア3は、基板2の表面122から隆起し、浮き上がった状態となっている。このため、導波路コア3の上部が、膜4のすそ部14s, 14sの表面124よりも上方に位置するようになる。

【0062】

20

その結果、導波路コア3を伝搬する光の横方向(図9中では左右方向)への閉じ込め効果が強くなり、第1の実施の形態に係るスポットサイズ変換導波路1と比べて、より低損失な導波路となる。この光の閉じ込め効果は、オーバーエッチング深さが深くなるほど強くなる。例えば、図10に示すように、オーバーエッチング深さがH13(>膜4の膜厚)である凸部72の上に設けられた導波路コア3は、導波路コア3全体が、膜4のすそ部14s, 14sの表面124よりも上方に位置するようになる。このように、導波路コア3と膜4のすそ部14s, 14sの位置関係が図10に示した状態にある時、光の閉じ込め効果が最大となる。

【0063】

また、図9に示したように、オーバーエッチング深さH12が、あまり深くない(例えば、0.5~1.0 μ m)場合、導波路コア3の両側に位置する膜4の幅W12は、ファイバ接続端部(図7参照、手前側の端部)において膜4の膜厚の約1/2となり、導波路コア3とリッジ部10の境界部b7においてゼロとなる。ところが、図10に示したように、オーバーエッチング深さH13が深くなると、導波路コア3の両側に位置する膜4の幅W13は狭くなる。

30

【0064】

このため、図11に示すように、オーバーエッチング深さ101を深くするのに伴い、ファイバ接続端部(図11中では手前側の端部)における導波路コア143の幅wを拡張し、拡張部145を有するテーパ状の導波路コア143を形成する必要がある。この導波路コア143は、導波路コア143と同形状の光回路パターン(図8(b)参照)を用いて形成することは言うまでもない。この導波路コア143における拡張部145の幅wを適宜調整することで、図12に示す様に、オーバーエッチング深さ101が深く、導波路コア143の両側に位置する膜4の幅W15が狭いスポットサイズ変換導波路71であっても、ファイバ接続端部におけるリッジコア幅[w+2×W15]のスポットサイズを、任意のサイズに調整することができる。

40

【0065】

以上、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、他にも種々のものが想定されることは言うまでもない。

【0066】

次に、本発明を実施例に基づいて説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるも

50

のではない。

【実施例 1】

【0067】

(実施例 1)

図 1 に示したスポットサイズ変換導波路 1 を作製した。このスポットサイズ変換導波路 1 は、全長を 4mm、導波路コア 3 のコア幅 w を $4\mu\text{m}$ 、コア高さ h を $4\mu\text{m}$ 、膜 4 の厚さ d を $3\mu\text{m}$ 、導波路コア 3 の左右に位置する膜 4 の各幅 y を 2mm、導波路コア 3 の屈折率を n_3 が 1.5% となる様に設定した。例えば、導波路コア 3 を覆うクラッド (図示せず) の屈折率を 1.458 とした時、スポットサイズ変換導波路 1 の n_3 を 1.5% とするためには、導波路コア 3 の屈折率は 1.4602 とすれば良い。なお、 n_3 は以下の式で定義される。

$$n_3 = \{(\text{導波路コアの屈折率}) - (\text{クラッドの屈折率})\} \times 100 / (\text{導波路コアの屈折率})$$

【0068】

(比較例 1)

膜 4 を成膜しない以外は、実施例 1 のスポットサイズ変換導波路と同様のサイズ、構造のメサ形導波路を作製した。

【0069】

実施例 1 及び比較例 1 の各導波路のコア端面に、シングルモードファイバを接続して伝搬損失 (結合損失あるいは接続損失) を測定した。

【0070】

その結果、比較例 1 の導波路の伝搬損失が 3dB であったのに対して、実施例 1 のスポットサイズ変換導波路の伝搬損失は約 1/3 の 1dB であり、損失量が著しく低減することが確認できた。

【実施例 2】

【0071】

図 7 に示したスポットサイズ変換導波路 7 1 を作製した。このスポットサイズ変換導波路 7 1 は、図 1 3 (a) に示すように、加工性を考慮して研磨しろ長さ x の研磨しろ 1 6 1 を形成し、その研磨しろ 1 6 1 の一端面において、導波路コア (第 1 コア) 3 のコア幅 w を $4.3\mu\text{m}$ 、コア高さ h を $4.3\mu\text{m}$ 、膜 (第 2 コア) 4 の厚さを d 、導波路コア 3 の屈折率を n_3 が 1.5% となる様に設定し、オーバーエッチング深さ e (凸部 7 2 の高さ) を $1\mu\text{m}$ とした。

【0072】

研磨しろ 1 6 1 の長さ x を $1000\mu\text{m}$ 、膜 4 のテーパ部長さ (研磨しろ 1 6 1 を除き、膜 4 の導波路コア 3 に沿う長さ) T_p を $500\mu\text{m}$ とし、膜 4 の n_3 と厚さ d を様々に変え、膜 4 の形状をシミュレーションで検討した。膜 4 のテーパ終端部 (膜 4 のテーパ部と導波路コア 3 の境界部 b_7) から研磨しろ 1 6 1 のファイバ接続端部までの結合損失変動を図 1 3 (b) に示す。

【0073】

図 1 3 (b) に囲み領域 A で示すように、最適値は膜 4 の屈折率を $n_3 = 1.1 \sim 1.5\%$ となる様に設定し、厚さ $d = 3 \sim 9\mu\text{m}$ とした時であり、このとき結合損失が約 0.5dB 以下と非常に低損失であった。

【0074】

次に、膜 4 の屈折率を $n_3 = 1.5\%$ となる様に設定した時の膜 4 の厚さ d とテーパ部長さ T_p の最適値をシミュレーションで詳細に検討した。その結果を図 1 4 (b) ~ 図 1 4 (d) に示す。ただし、図 1 4 (a) に示すように、研磨しろ長さの起点 ($0\mu\text{m}$) は、膜 4 のテーパ部と研磨しろ 1 6 1 の境界部とした。

【0075】

図 1 4 (b) ~ 図 1 4 (d) に示すように、膜 4 の屈折率を $n_3 = 1.5\%$ となる様に設定した時の膜 4 の厚さ d とテーパ部長さ T_p の最適値は、膜 4 の厚さ $d = 4\mu\text{m}$ 、テーパ部長さ $T_p = 1000\mu\text{m}$ 以上であり、このとき結合損失が約 0.25dB と非常に低損失であった。

。

10

20

30

40

50

【0076】

同様に、膜4の屈折率をそれぞれ $n_4 = 1.5$ 、 1.3 、 1.1 となる様に設定した時の膜4の厚さ d とテーパ長さ T_p の最適値をシミュレーションで検討した。その結果を図15(a)~図15(c)に示す。ここで、図15(a)は図14(c)と同じ図である。

【0077】

図15(b)に示すように、膜4の屈折率を $n_4 = 1.3$ となる様に設定した時の膜4の厚さ d とテーパ部長さ T_p の最適値は、膜4の厚さ $d = 5 \mu\text{m}$ 、テーパ部長さ $T_p = 1000 \mu\text{m}$ 以上であり、このとき結合損失が約 0.2 dB と非常に低損失であった。

【0078】

また、図15(c)に示すように、膜4の屈折率を $n_4 = 1.1$ となる様に設定した時の膜4の厚さ d とテーパ部長さ T_p の最適値は、膜4の厚さ $d = 7 \mu\text{m}$ 、テーパ部長さ $T_p = 1000 \mu\text{m}$ 以上であり、このとき結合損失が約 0.2 dB と非常に低損失であった。

【0079】

以上の結果より、膜4の屈折率を n_4 が $1.1 \sim 1.5\%$ の範囲となる様に設定し、厚さ d が $3 \sim 9 \mu\text{m}$ の範囲とした時、膜4の屈折率を n_4 が大きくなる様に設定するほど、最適な膜4の厚さ d は小さくなり、膜4の屈折率を n_4 が小さくなる様に設定するほど、最適な膜4の厚さ d は大きくなる傾向にあることがわかった。つまり、膜4の屈折率を n_4 が $1.1 \sim 1.5\%$ の範囲となる様に設定し、厚さ d が $3 \sim 9 \mu\text{m}$ の範囲とした時、膜4の屈折率を n_4 が大きくなる様に設定した場合は、膜4の厚さ d は小さい方が結合損失が低くなり、逆に、膜4の屈折率を n_4 が小さくなる様に設定した場合は、膜4の厚さ d は大きい方が結合損失が低くなる。また、膜4の屈折率を n_4 が一定となる様に設定し、厚さ d も一定とした場合、テーパ部長さ T_p が長いほど、結合損失が低くなることを確認できた。

【実施例3】

【0080】

図12に示したスポットサイズ変換導波路71とシングルモードファイバとの結合損失をビーム伝播法を用いたシミュレーションにより求めた。スポットサイズ変換導波路71の構造パラメータは、導波路コア143(第1コア)は $n_1 = 1.5\%$ となる屈折率とし、導波路コア143のコア高さ h を $4.3 \mu\text{m}$ の一定とし、導波路コア143の幅 W を $4.3 \mu\text{m}$ 、 $5.3 \mu\text{m}$ 、 $6.3 \mu\text{m}$ と変化させると共に、膜4(第2コア)は n_4 が 1.5% 、 1.3% となる屈折率とし、膜4の膜厚(第2コア高さ) d を $3 \sim 7 \mu\text{m}$ とした。また、シミュレーションパラメータを簡単にするため、エッチング深さに関係なく、導波路コア3の両側に位置する膜4の幅 W_{15} は、膜4の膜厚 d の $1/2$ とした。

【0081】

まず、上記の条件でオーバーエッチング深さ 101 を $1 \mu\text{m}$ としてシミュレーションを行った(図16(a)、図16(b)参照)。その結果、図16(a)に示すように、膜4の n_4 が 1.5% の場合、導波路コア143の幅 W を $5.3 \mu\text{m}$ 、膜4の膜厚 d を $4 \mu\text{m}$ とすることで、結合損失が最小 (0.22 dB) となった。また、図16(b)に示すように、膜4の n_4 が 1.3% の場合、導波路コア143の幅 W を $5.3 \mu\text{m}$ 、膜4の膜厚 d を $5 \mu\text{m}$ とすることで、結合損失が最小 (0.18 dB) となった。

【0082】

次に、オーバーエッチング深さ 101 を $5 \mu\text{m}$ としてシミュレーションを行った(図16(c)、図16(d)参照)。その結果、図16(c)に示すように、膜4の n_4 が 1.5% の場合、導波路コア143の幅 W を $6.3 \mu\text{m}$ 、膜4の膜厚 d を $5 \mu\text{m}$ とすることで、結合損失が最小 (0.12 dB) となった。また、図16(d)に示すように、膜4の n_4 が 1.3% の場合、導波路コア143の幅 W を $5.3 \mu\text{m}$ 、膜4の膜厚 d を $5 \mu\text{m}$ とすることで、結合損失が最小 (0.12 dB) となった。

【0083】

以上の結果より、凸部72の高さが高いほど(オーバーエッチング深さ 101 が深いほど)、光の閉じ込め効果が強くなり、より低損失な導波路となることが確認できた。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 8 4 】

【 図 1 】 本発明の好適一実施の形態に係る示すスポットサイズ変換導波路の構造図である。

【 図 2 】 図 1 の平面図及び断面図である。図 2 (a) は図 1 の平面図、図 2 (b) は図 2 (a) の 2 B - 2 B 線断面図、図 2 (c) は図 2 (a) の 2 C - 2 C 線断面図、図 2 (d) は図 2 (a) の 2 D - 2 D 線断面図である。

【 図 3 】 図 1 に示したスポットサイズ変換導波路の製造方法を説明するための図である。

【 図 4 】 膜の成膜工程を説明する縦断面図である。

【 図 5 】 本発明の他の好適一実施の形態に係る示すスポットサイズ変換導波路の構造図である。

10

【 図 6 】 図 5 に示したスポットサイズ変換導波路の製造方法を説明するための図である。

【 図 7 】 本発明の別の好適一実施の形態に係る示すスポットサイズ変換導波路の構造図である。

【 図 8 】 図 7 に示したスポットサイズ変換導波路の製造方法を説明するための図である。

【 図 9 】 膜の成膜例を示す横断面図である。

【 図 1 0 】 膜の他の成膜例を示す横断面図である。

【 図 1 1 】 図 8 (c) の変形例である。

【 図 1 2 】 図 1 1 に示した導波路コアに膜を成膜してなるスポットサイズ変換導波路である。

【 図 1 3 】 [実施例 2] における膜の厚さと結合損失との関係を示す図である。図 1 3 (a) はスポットサイズ変換導波路の構造図、図 1 3 (b) は膜の厚さ d と結合損失との関係を示す図である。

20

【 図 1 4 】 [実施例 2] における研磨しる長さ x と結合損失との関係を示す図である。図 1 4 (a) は図 1 3 (a) に示したスポットサイズ変換導波路の縦断面図、図 1 4 (b) ~ 図 1 4 (d) は研磨しる長さ x と結合損失との関係を示す図である。

【 図 1 5 】 [実施例 2] における研磨しる長さ x と結合損失との関係を示す図である。図 1 5 (a) ~ 図 1 5 (c) は研磨しる長さ x と結合損失との関係を示す図である。

【 図 1 6 】 [実施例 3] におけるオーバーエッチング深さと結合損失との関係を示す図である。

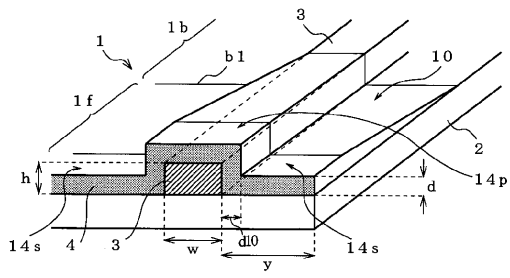
【 符号の説明 】

30

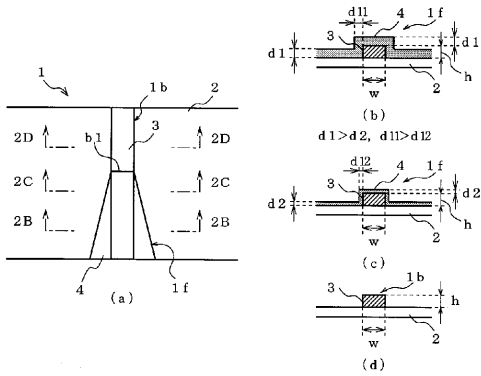
【 0 0 8 5 】

- 1 スポットサイズ変換導波路
- 2 基板
- 3 導波路コア
- 1 0 リッジ部

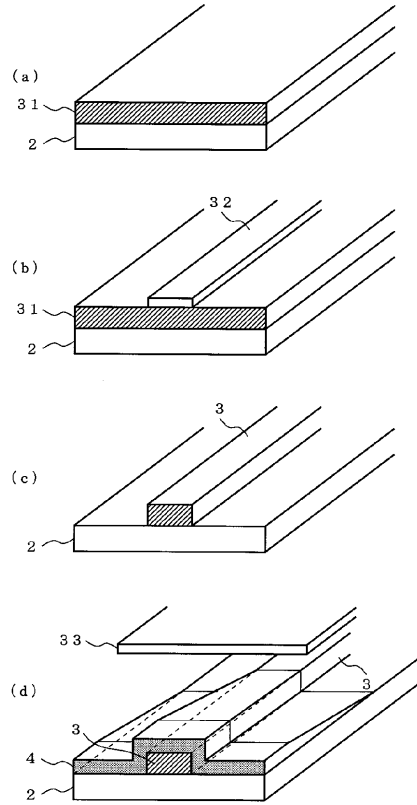
【 図 1 】



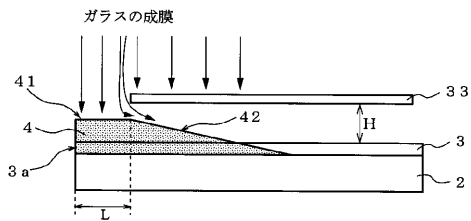
【 図 2 】



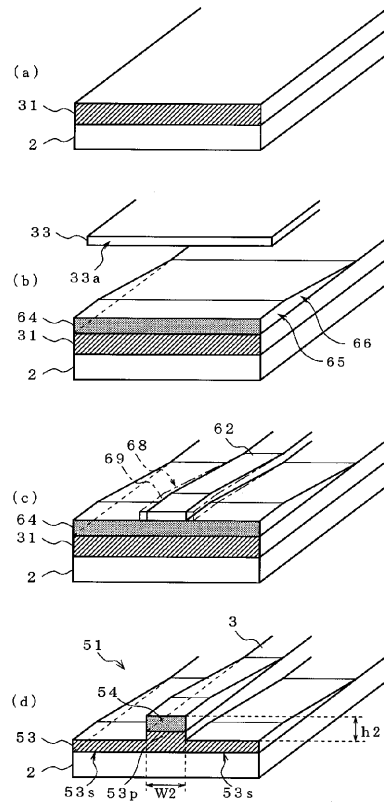
【 図 3 】



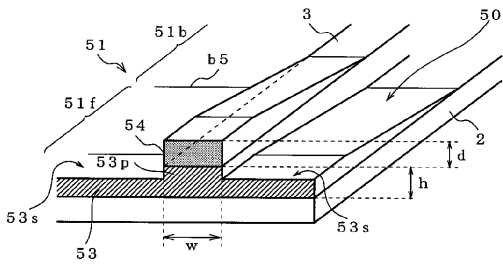
【 図 4 】



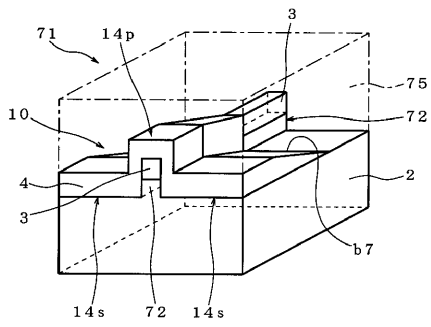
【 図 6 】



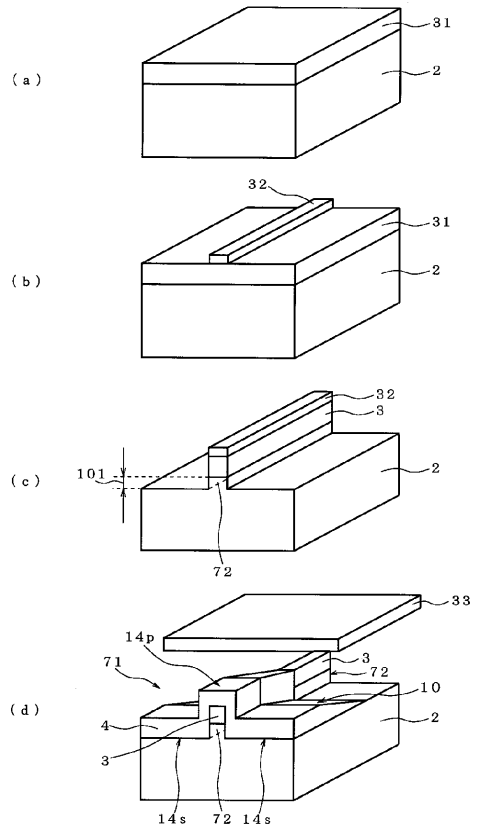
【 図 5 】



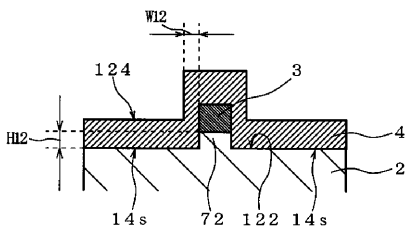
【 図 7 】



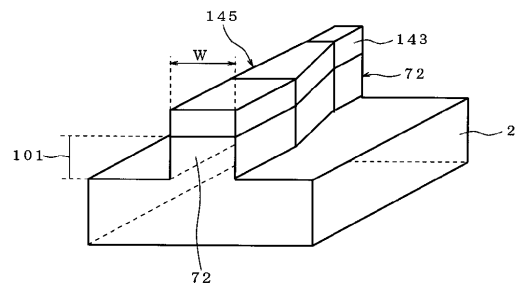
【 図 8 】



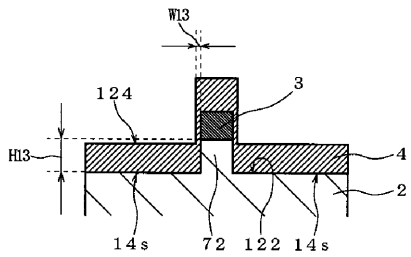
【 図 9 】



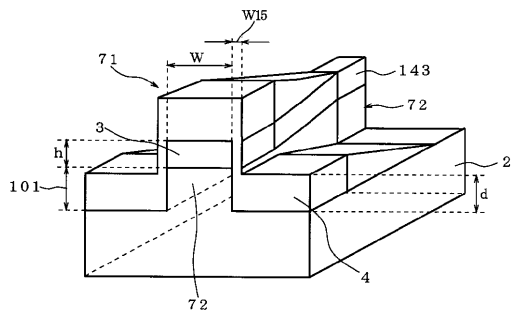
【 図 11 】



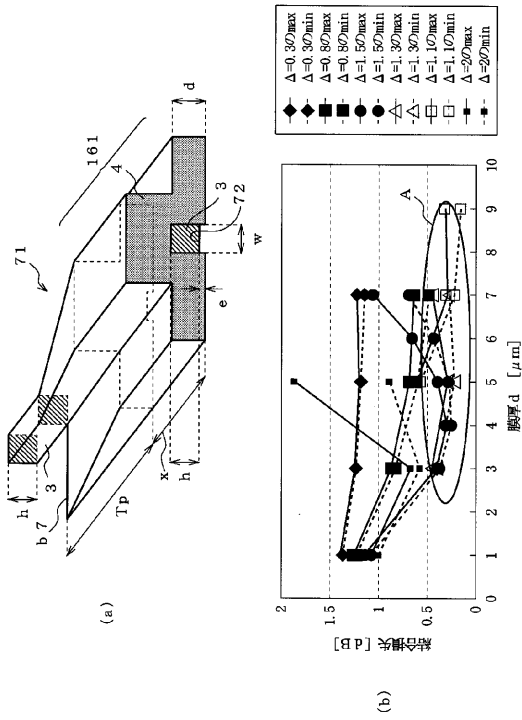
【 図 10 】



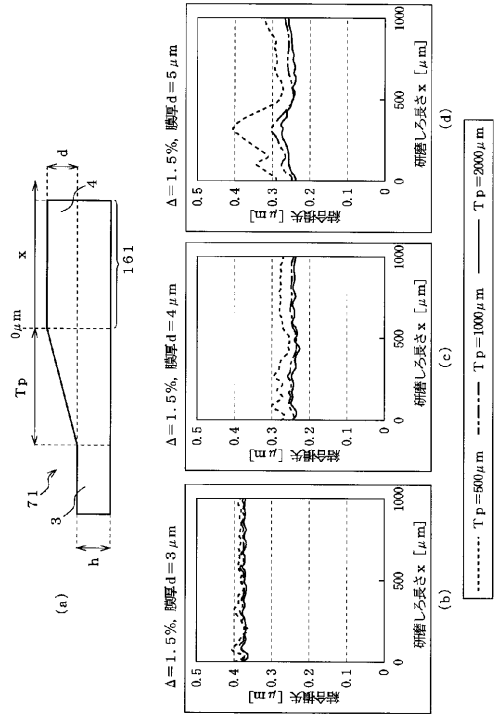
【 図 12 】



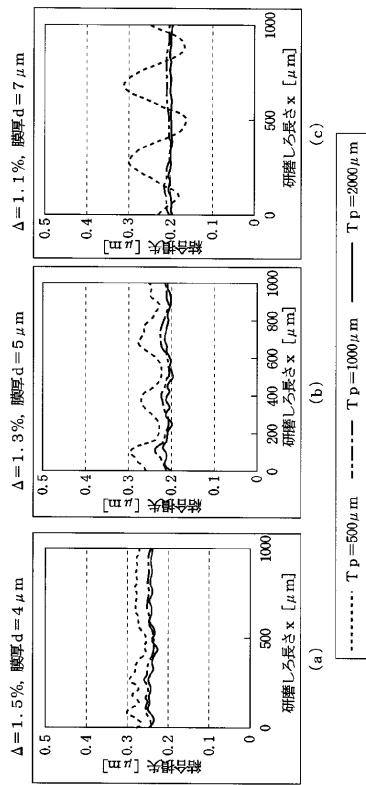
【 図 1 3 】



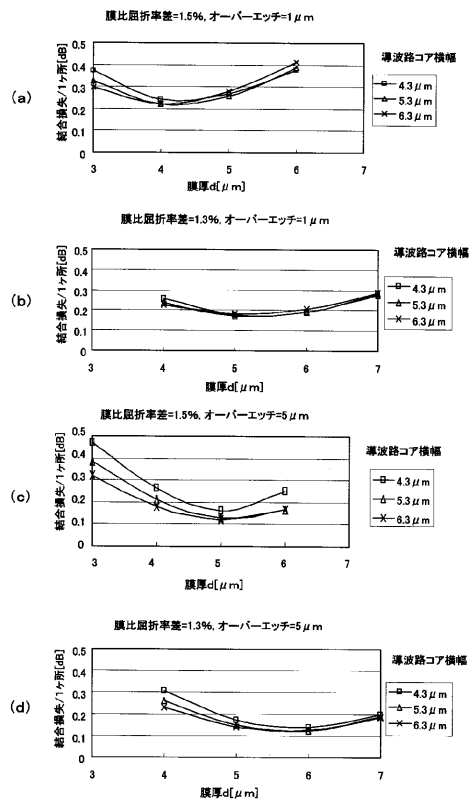
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 丸 浩一

東京都千代田区大手町一丁目6番1号 日立電線株式会社内

Fターム(参考) 2H147 AB28 BA05 BA12 BA14 BB02 BB03 EA13C EA14A EA14B EA14C
EA14D FA03 FA09 FA21 FC01 GA19