

(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2018-18059
(P2018-18059A)

(43) 公開日 平成30年2月1日(2018.2.1)

(51) Int.Cl.
G02B 6/125 (2006.01)

F I
G02B 6/125

テーマコード (参考)
2H147

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2017-94009 (P2017-94009)
(22) 出願日 平成29年5月10日 (2017.5.10)
(31) 優先権主張番号 特願2016-138245 (P2016-138245)
(32) 優先日 平成28年7月13日 (2016.7.13)
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 502340996
学校法人法政大学
東京都千代田区富士見二丁目17番1号
(74) 代理人 100093230
弁理士 西澤 利夫
(72) 発明者 山内 潤治
東京都千代田区富士見二丁目17番1号
学校法人法政大学内
(72) 発明者 仁藤 雄大
千葉県松戸市松戸1864-3エヴァーグ
リーン101
(72) 発明者 渡邊 裕人
東京都千代田区富士見二丁目17番1号
学校法人法政大学内
Fターム(参考) 2H147 BD01 EA13A EA14B EA25B GA11

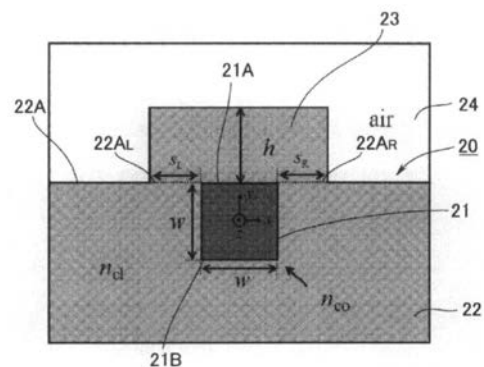
(54) 【発明の名称】 屈曲部を有する誘電体光導波路

(57) 【要約】

【課題】 屈曲に伴う損失を、光通信波長全域にわたり偏波依存損を抑えながら、低減させることができる、製造が容易な、屈曲部を有する誘電体光導波路を提供する。

【解決手段】 本発明の屈曲部を有する誘電体光導波路20は、下クラッド22上にメサ状の上クラッド23が設けられ、コア21が、その表面21Aが下クラッド22の表面22Aと同一平面となる位置から上クラッド23の内部となる位置の間となるように下クラッド22及び/又は上クラッド23に埋め込まれ、少なくとも上クラッド23と上クラッド23に覆われていない下クラッド表面22Aとが空気層24に接していることを特徴とする。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

下クラッド上にメサ状の上クラッドが設けられ、コアが、前記コアの表面が前記下クラッドの表面と同一平面となる位置から前記上クラッドの内部となる位置の間となるように前記下クラッド及び/又は前記上クラッドに埋め込まれ、少なくとも前記上クラッドと前記上クラッドに覆われていない下クラッド表面とが空気層に接していることを特徴とする屈曲部を有する誘電体光導波路。

【請求項 2】

前記コアが、前記コアの表面が前記下クラッドの表面と同一平面となるように前記下クラッドに埋め込まれていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電体光導波路。

10

【請求項 3】

前記コアが、前記コアの表面が前記上クラッドの内部となり、前記コアの下面が前記下クラッドの内部となるように前記下クラッド及び前記上クラッドに埋め込まれていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電体光導波路。

【請求項 4】

前記コアが、前記コアの表面が前記上クラッドの内部となり、前記コアの下面が前記下クラッドの表面と同一平面となるように前記上クラッドに埋め込まれていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電体光導波路。

【請求項 5】

前記コアが、前記コアの表面及び下面が前記上クラッドの内部となるように前記上クラッドに埋め込まれていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電体導波路。

20

【請求項 6】

前記誘電体光導波路の横断面において、前記コアの横幅を w としたとき、前記コアの右端と空気層までの距離 s_R と、前記コアの左端から空気層までの距離 s_L がそれぞれ $0.3w \sim 1.5w$ であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の誘電体光導波路。

【請求項 7】

前記上クラッドの高さ h が $0.5w$ 以上であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の誘電体光導波路。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、屈曲部を有する誘電体光導波路に関し、詳しくは、屈曲に伴う損失を著しく低減させることができる、屈曲部を有する誘電体光導波路に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光導波路とは、光の屈折率の違いを利用して基板上に光の道を設け、光信号を導くように加工された回路のことをいう。光導波路には、光信号が直進伝搬される直線部と、光信号が途中で伝搬方向を変えられる屈曲部を備えたものがある。このような屈曲部を有する光導波路では、コア内を伝搬する光の一部が外部に漏れる屈曲損が生じるという問題がある。すなわち、屈曲そのものに関わる純粋屈曲損と、直線部との接続部で生じる遷移損の 2 種類の損失が生じる。また、光集積回路の高密度化のためには屈曲半径を小さくする必要があるが、屈曲半径を小さくすればする程、屈曲損が増加してしまう。

40

【0003】

光導波路の屈曲損を低減する従来の代表的な手法として、コアの近傍の基板にトレンチ（溝）を設置する方法（例えば、非特許文献 1、2）や、ARROW（Anti-Resonant Reflecting Optical Waveguide）の原理に基づいて屈曲損を低減する方法（例えば、非特許文献 3）が提案されている。

【0004】

しかしながら、これらの損失低減手法は、優れた損失低減効果を有しながらも、製造工

50

程を複雑化したり、屈曲半径、使用波長に応じて、再設計を要したりするものであった。また、従来手法では、追加の製造工程を要することに加えて、偏波依存損が生じる欠点があった。また、遷移損の低減に関しては、導波路軸をオフセットする手法（例えば、非特許文献 4、5）が提案されているが、純粹屈曲損の低減には効果がない。

【0005】

本発明者らは、コアをクラッドに埋め込んだ埋め込み型光導波路において、空気界面からのコア位置を調節するのみで屈曲損を低減させる方法を提案した（非特許文献 6）。図 1 に、この方法による、屈曲部を有する光導波路 10 を斜視図で示す。この光導波路 10 は、屈折率 $n_{co} = 1.4675$ のコア 11 が屈折率 $n_{cl} = 1.46$ のクラッド 12 に埋め込まれた構成を有する石英系材料から構成されている。クラッド 12 の外側は空気層 13 となっている。コア幅は $2x = 2y = 6.0 \mu m$ 、屈曲半径 $R = 7 mm$ 、コア 11 の表面（上面）から空気層 13 までの距離 d_{air} は、固有モード界の広がり効果による損失を発生させないためには、例えば $3.0 \mu m$ に設定される。このような構成により、空気層 13 からのコア位置を調節するのみで、屈曲損（純粹屈曲損と遷移損）をある程度低減できることを確認した。

10

【0006】

しかしながら、非特許文献 6 で示した構造では、屈曲損の低減効果は限定的であった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

20

【非特許文献 1】E. G. Neumann, Low loss dielectric optical waveguide bend, Fiber and Integrated Optics, vol. 4, no. 2, pp. 203-211, 1982

【非特許文献 2】M. Rajarajan et al., Design of compact optical bends with a trench by use of finite-element and beam-propagation methods, Applied Optics, vol. 39, no. 27, pp. 4946-4953, 2000

【非特許文献 3】M. Galarza et al., Simple low-loss waveguide bends using ARROW effect, Applied Physics B, vol. 80, pp. 745-748m 2005

【非特許文献 4】E. G. Neumann, Curved dielectric optical waveguide with reduced transition losses, IEE Proc. H, vol. 129, no. 5, pp. 278-280, 1982

【非特許文献 5】E. C. M. Pennings et al., Low-loss bends in planar optical ridge waveguides, Electronics Letters, vol. 24, no. 16, pp. 998-999, 1988

30

【非特許文献 6】Y. Nito et al., Reduction in bend losses of a buried waveguide on a silicon substrate by adjusting the core location, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 34, no. 4, pp. 1344-1349, Feb. 15, 2016

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、以上のような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、屈曲に伴う損失を、光通信波長全域にわたり偏波依存損を抑えながら、低減させることができる、製造が容易な、屈曲部を有する誘電体光導波路を提供することを課題とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するため、本発明によれば、第 1 に、下クラッド上にメサ状の上クラッドが設けられ、コアが、前記コアの表面が前記下クラッドの表面と同一平面となる位置から前記上クラッドの内部となる位置の間となるように前記下クラッド及び/又は前記上クラッドに埋め込まれ、少なくとも前記上クラッドと前記上クラッドに覆われていない下クラッド表面とが空気層に接していることを特徴とする屈曲部を有する誘電体光導波路が提供される。

【0010】

第 2 に、上記第 1 の発明において、前記コアが、前記コアの表面が前記下クラッドの表

50

面と同一平面となるように前記下クラッドに埋め込まれていることを特徴とする誘電体光導波路が提供される。

【0011】

第3に、上記第1の発明において、前記コアが、前記コアの表面が前記上クラッドの内部となり、前記コアの下面が前記下クラッドの内部となるように前記下クラッド及び前記上クラッドに埋め込まれていることを特徴とする誘電体光導波路が提供される。

【0012】

第4に、上記第1の発明において、前記コアが、前記コアの表面が前記上クラッドの内部となり、前記コアの下面が前記下クラッドの表面と同一平面となるように前記上クラッドに埋め込まれていることを特徴とする誘電体光導波路が提供される。

10

【0013】

第5に、上記第1の発明において、前記コアが、前記コアの表面及び下面が前記上クラッドの内部となるように前記上クラッドに埋め込まれていることを特徴とする誘電体導波路が提供される。

【0014】

第6に、上記第1から第5のいずれかの発明において、前記誘電体光導波路の横断面において、前記コアの横幅を w としたとき、前記コアの右端と空気層までの距離 s_R と、前記コアの左端から空気層までの距離 s_L がそれぞれ $0.3w \sim 1.5w$ であることを特徴とする誘電体光導波路が提供される。

【0015】

第7に、上記第1から第6のいずれかの発明において、前記上クラッドの高さ h が $0.5w$ 以上であることを特徴とする誘電体光導波路が提供される。

20

【発明の効果】

【0016】

本発明は、上記構成を採用したので、屈曲に伴う損失を、光通信波長全域にわたり偏波依存損を抑えながら、低減させることができる、製造が容易な、屈曲部を有する誘電体光導波路を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明者らが非特許文献6で取り上げた屈曲部を有する光導波路の構造を示す斜視図である。

30

【図2】本発明の実施形態1に係る屈曲部を有する光導波路における屈曲部の構造を示す断面図である。

【図3】上クラッドの高さ h を に固定し、距離 s_R と距離 s_L が純粹屈曲損へ及ぼす影響を調べた結果を等高線で示す図である。

【図4】 $s_R = s_L = 4.0 \mu m$ とした場合の上クラッドの高さ h に対する純粹屈曲損を調べた結果を示す図である。

【図5】(a)、(b)、(c)、(d)、(e)は、コアと空気層までの距離 d_{air} を $0.0 \mu m$ とした場合、従来の代表的な屈曲損低減手法であるトレンチを設置した場合、本発明の実施形態において上クラッドの高さ h を $6.0 \mu m (= w)$ とした場合、非特許文献6で提案した光導波路でコアと空気層までの距離 d_{air} を $3.0 \mu m$ とした場合、非特許文献6で取り上げた光導波路でコアと空気層までの距離 d_{air} を とした場合における固有モード界分布をそれぞれ比較して示す図である。

40

【図6】(a)と(b)は、純粹屈曲損と偏波依存損(PDL)の波長特性をそれぞれ示す図である。

【図7】屈曲部を有する光導波路における屈曲半径の依存性を調べた結果(屈曲半径 R に対する純粹屈曲損)を示す図である。

【図8】本発明の実施形態2に係る屈曲部を有する光導波路における屈曲部の構造を示す断面図である。

【図9】本発明の実施形態3に係る屈曲部を有する光導波路における屈曲部の構造を示す

50

断面図である。

【図10】本発明の実施形態4に係る屈曲部を有する光導波路における屈曲部の構造を示す断面図である。

【図11】(a)、(b)、(c)は、それぞれコアの表面を下クラッドの表面に対し $2\mu\text{m}$ 、 $6\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m}$ 上側にシフトした場合の図5と同様の図を示す。

【図12】コアの表面を下クラッドの表面に対し上側にシフトさせた値を y_{shift} とした場合の纯粹屈曲損を調べた結果を示す図である。

【図13】上クラッドの高さ h を に固定し、距離 s_R と距離 s_L が纯粹屈曲損へ及ぼす影響を調べた結果を等高線で示す図((a)はTEモード、(b)はTMモード)である。

【図14】(a)と(b)は、纯粹屈曲損と偏波依存損(PDL)の波長特性をそれぞれ示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明による屈曲部を有する誘電体光導波路(以下、光導波路とも称する)は、下クラッド上にメサ状の上クラッドが設けられ、コアが、前記コアの表面が前記下クラッドの表面と同一平面となる位置から前記上クラッドの内部となる位置の間となるように前記下クラッド及び/又は前記上クラッドに埋め込まれ、少なくとも前記上クラッドと前記上クラッドに覆われていない下クラッド表面とが空気層に接していることを大きな特徴とするものである。

【0019】

以下、本発明を実施形態により詳細に説明する。

【0020】

図2は、本発明の実施形態1に係る屈曲部を有する誘電体光導波路20における屈曲部の断面を示す図である。この光導波路20は、コア21の表面21Aが下クラッド22の表面22Aと同一平面となるように、断面が正方形のコア21が下クラッド22に埋め込まれている。したがって、コア21の下面21Bは下クラッド22内に位置する。コア21の表面21A全体と下クラッド22の一部表面22A_L、22A_Rを覆うように断面矩形状の上クラッド23が設けられ、上クラッド23と、上クラッド23に覆われていない下クラッド22表面とが空気層24に接している。上クラッド23と下クラッド22は一体

【0021】

なお、本実施形態では、コア21の断面形状を正方形としているが、長方形や台形等その他適宜の形状とすることができる。また、上クラッドも台形とすることができる。

【0022】

本実施形態の光導波路20は石英系材料(SiO_2)で構成されている。ここで、コア21の幅(高さも同様)を w 、コア21の屈折率を n_{c0} 、下クラッド22と上クラッド23の屈折率を n_{c1} 、上クラッド23の高さを h 、コア21の左端から空気層24までの距離を s_L 、コア21の右端から空気層24までの距離を s_R とする。

【0023】

各パラメータの数値例を示すと、コア幅 w が $6.0\mu\text{m} \times 6.0\mu\text{m}$ 、 $n_{c0} = 1.4675$ 、 $n_{c1} = 1.46$ 、 $h = 6.0\mu\text{m}$ 、 $s_L = s_R = 4.0\mu\text{m}$ となっている。使用動作波長は図6を除き、 $1.55\mu\text{m}$ としている。また、図示はしていないが屈曲部の半径 R は図7を除き 7mm となっている。もちろん、この数値例は、好ましい値を例示したものであり、適宜適切な値に設定される。また、上クラッド23の形状や高さも所期の効果が得られるものであれば変更可能である。例えば、台形構造でも構わない。

【0024】

ここで、上クラッド23の高さ h を に固定し、コア21の右端から空気層24までの距離 s_R とコア21の左端から空気層23までの距離 s_L が纯粹屈曲損へ及ぼす影響を調

10

20

30

40

50

べる。図3に、距離 s_R と距離 s_L に対するTMモードにおける純粋屈曲損の等高線を示す。距離 s_R は、 $-y$ 方向への界の広がり度合いに影響するだけでなく、界の折り返し効果にも影響するパラメータである。距離 s_R を大きく選ぶことで界の広がりを抑制可能であるが、大きすぎると界の折り返し効果が減少し、純粋屈曲損を増加させる。そのため、距離 s_R を放射点と呼ばれる漏れ波の生成位置よりも小さく選ぶことが望ましい。距離 s_L は、屈曲の内側のパラメータであり、界の広がり効果にのみ寄与する。図3より、距離 $s_L = 4.0 \mu\text{m}$ に選ぶことで、十分に界の広がり効果を抑制できることがわかる。また、 $s_R = s_L = 4.0 \mu\text{m}$ に選ぶことで最小の純粋屈曲損 0.05 dB/cm を得ることができる。一般に、 s_R と s_L は、それぞれ $0.3w \sim 1.5w$ 、より好ましくは $0.5w \sim w$ である。

10

【0025】

次に、 $s_R = s_L = 4.0 \mu\text{m}$ とした場合の、上クラッド23の高さ h に対する純粋屈曲損を調べる。図4にその結果を示す。図4には、参考として、積層するクラッド層の高さ $h =$ の結果も破線で併記している。

【0026】

図4から、上クラッド23の高さ $h = 0.0 \mu\text{m}$ (半埋め込み導波路) では界の広がり効果が大きく、漏れ波が生成されやすく、上クラッド23の高さ h を大きく選ぶと、界の非対称性が緩和されることで界分布がコアに集中し、漏れ波が抑制されることがわかる。また、上クラッド23の高さ $h = 6.0 \mu\text{m}$ に選ぶことで上クラッド23の高さ $h =$ の場合と同等の屈曲損低減効果が得られることがわかる。

20

【0027】

図5の(a)、(b)、(c)、(d)、(e)に、コアと空気層までの距離 d_{air} を $0.0 \mu\text{m}$ とした場合(半埋め込み導波路)、従来の代表的な屈曲損低減手法であるトレンチを有する構造の場合、本発明の実施形態において上クラッドの高さ h を $6.0 \mu\text{m}$ とした場合、非特許文献6で提案した光導波路でコアと空気層までの距離 d_{air} を $3.0 \mu\text{m}$ とした場合(埋め込み導波路)、非特許文献6で取り上げた光導波路でコアと空気層までの距離 d_{air} をとした場合(完全埋め込み導波路)における固有モード界分布をそれぞれ比較して示す。図5(b)では、コアとトレンチとの間隔を $3.0 \mu\text{m}$ とし、トレンチ部の屈折率を 1.0 (空気)としている。これらの図では、位相の変化を明確にするために、界の実部 $\text{Re}\{H_x\}$ を表示している。

30

【0028】

図5(a)のコアと空気層までの距離 $d_{air} = 0.0 \mu\text{m}$ の半埋め込み導波路では、コアに局在する界の重心が $-y$ 方向にシフトし、顕著な漏れ波が観察される。図5(b)のトレンチを有する構造の光導波路では、漏れ波が抑圧されているが界の重心の $-y$ 方向へのシフトは改善されていない。図5(d)の埋め込み導波路では、漏れ波が抑圧されているが、コア中心 ($y = 0$) 軸に対する界の非対称性が残っている。図5(e)の完全埋め込み導波路では、界はコア中心軸に関して対称になっているが、漏れ波が $+y$ 領域にも生じている。これに対し、本発明の実施形態において上クラッドの高さ h を $6.0 \mu\text{m}$ とした導波路では、コアのほぼ中心に界のピークが現れ、同時に漏れ波が抑制されていることがわかる。また、この構造では、界の折り返し効果によって最も効率良く漏れ波を打ち消すため、半埋め込み導波路や埋め込み導波路や完全埋め込み導波路よりも純粋屈曲損を低減することができることがわかる。

40

【0029】

図6の(a)と(b)に、純粋屈曲損と偏波依存損(PDL)の波長特性をそれぞれ示す。これらの図には、比較として、埋め込み導波路とトレンチを有する導波路の結果を併記している。図6(a)より、本実施形態の光導波路では、波長 $1.3 \mu\text{m}$ から $1.65 \mu\text{m}$ の広帯域に渡って、埋め込み導波路やトレンチを有する導波路よりも純粋屈曲損が低減されることがわかる。また、本実施形態の光導波路では、上クラッドを積層することによって、界の対称性が改善された状態で界がコアに集中するため、偏波依存損(PDL)も低減されることがわかる。更に、図6(b)より、本実施形態の光導波路では、偏波依

50

存損 (P D L) が 0.007 dB/cm 以下に抑圧されることがわかる。

【 0 0 3 0 】

次に、屈曲部を有する光導波路における屈曲半径の依存性を調べた結果 (屈曲半径 R に対する純粋屈曲損) を図 7 に示す。図 7 から、トレンチを有する光導波路では純粋屈曲損の偏波間差が大きいのに対し、埋め込み構造の光導波路や本実施形態の光導波路では偏波間差が殆どないことがわかる。

【 0 0 3 1 】

また、本実施形態の導波路では、その他の手法による導波路に比べ、屈曲半径 $R = 6.0 \text{ mm}$ から $R = 8.0 \text{ mm}$ の屈曲半径で大きな損失低減効果が得られる利点がある。

【 0 0 3 2 】

次に、本発明による実施形態 2 ~ 4 に係る光導波路について図 8 ~ 図 10 を参照して述べる。図 8 ~ 図 10 において、図 2 と同様な要素には同じ番号を付して説明を省略する。

【 0 0 3 3 】

図 8 は、本発明による実施形態 2 の光導波路 20 における屈曲部の断面を示す図である。この光導波路 20 では、コア 21 が、コア 21 の表面 21A が上クラッド 23 の内部となり、下面 21B が下クラッド 22 の内部となるように上クラッド 23 及び下クラッド 22 に埋め込まれる。図 11 (a) に、コア 21A の表面を下クラッド 22 の表面に対し $2 \mu\text{m}$ 上側にシフトした場合の図 5 と同様の図を示す。 $h = 6.0 \mu\text{m}$ である。図 11 (a) から、図 5 (c) の場合に比べ、漏れ波がさらに抑圧され、損失低減効果が顕著であることがわかる。

【 0 0 3 4 】

図 9 は、本発明による実施形態 3 の光導波路 20 における屈曲部の断面を示す図である。この光導波路 20 では、コア 21 が、コア 21 の表面 21A が上クラッド 23 の内部となり、かつ下面 21B が下クラッド 22 の表面 22A と同一表面となるように上クラッド 23 に埋め込まれる。図 11 (b) に、コア 21A の表面を下クラッド 22 の表面に対し $6 \mu\text{m}$ 上側にシフトした場合の図 5 と同様の図を示す。 $h = 6.0 \mu\text{m}$ である。図 11 (b) から、図 5 (c)、図 11 (a) の場合に比べ、漏れ波がさらに抑圧され、損失低減効果が顕著であることがわかる。

【 0 0 3 5 】

図 10 は、本発明による実施形態 4 の光導波路 20 における屈曲部の断面を示す図である。この光導波路 20 では、コア 21 が、コア 21 の表面 21A が上クラッド 23 の内部となり、かつ下面 21B も上クラッド 23 の内部となるように上クラッド 23 に埋め込まれる。図 11 (c) に、コア 21A の表面 21A を下クラッド 22 の表面に対し $8 \mu\text{m}$ 上側にシフトした場合の図 5 と同様の図を示す。 $h = 6.0 \mu\text{m}$ である。図 11 (c) から、図 5 (c)、図 11 (a)、(b) の場合に比べ、漏れ波がさらに抑圧され、損失低減効果が顕著であることがわかる。

【 0 0 3 6 】

図 12 に、コア 21A の表面 21A を下クラッド 22 の表面に対し上側にシフトさせた値を y_{shift} とした場合の純粋屈曲損を調べた結果を示す。 $R = 7.0 \text{ mm}$ 、 $w = 1.55 \mu\text{m}$ 、 $h = 6.0 \mu\text{m}$ 、 T M モードとした。図 4 に示すように y_{shift} が 0 の状態でも損失低減効果は顕著であるが、 y_{shift} が増えるに従い漏れ波がより抑圧され、損失低減効果がさらに顕著になることがわかる。

【 0 0 3 7 】

次に、本発明による実施形態 5 に係る光導波路について述べる。本実施形態では、各パラメータの表記は実施形態 1 ~ 4 と同様とする。

【 0 0 3 8 】

本実施形態の光導波路のコアはシリコンで構成されている。各パラメータの数値例を示すと、コア幅 w が $0.32 \mu\text{m} \times 0.32 \mu\text{m}$ 、 $n_{\text{co}} = 3.476$ 、 $n_{\text{cl}} = 1.444$ 、屈曲部の半径 R が $2.0 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 3 9 】

10

20

30

40

50

図13の(a)と(b)に、本実施形態の光導波路において断面構造を図2とした場合、距離 s_L と距離 s_R が純粋屈曲損へ及ぼす影響を調べた結果を示す。図13の(a)に距離 s_L と距離 s_R に対するTEモードにおける純粋屈曲損の等高線を示し、図13の(b)に距離 s_L と距離 s_R に対するTMモードにおける純粋屈曲損の等高線を示す。ここでは、 h をに固定し、使用動作波長は $1.55\mu\text{m}$ とした。図3の結果を得るために用いた石英系光導波路では、コアとクラッドの屈折率差が小さかったため、両モードの結果が同一となったが、シリコン光導波路では、コアとクラッドの屈折率差が大きいため、偏波で特性が異なる。なお、同程度に低損失となる位置は存在する。図13より、 $s_L = 0.22\mu\text{m}$ に選ぶことで、十分に界の広がり効果を抑制できることがわかる。また、 $s_L = s_R = 0.22\mu\text{m}$ に選ぶことで最小の純粋屈曲損を得ることができる。シリコン光導波路も、一般に、 s_L と s_R は、それぞれ $0.3w \sim 1.5w$ 、より好ましくは $0.5w \sim w$ である。

10

【0040】

図14の(a)と(b)に、純粋屈曲損と偏波依存損(PDL)の波長特性をそれぞれ示す。ここでは、 $s_L = s_R = 0.22\mu\text{m}$ 、 $h = 0.2\mu\text{m}$ とした。これらの図には、比較として、トレンチを有する光導波路の結果を併記している。図13(a)より、本実施形態の光導波路では、広帯域の波長に渡って、トレンチを有する光導波路よりも純粋屈曲損が低減されることがわかる。また、本実施形態の光導波路では、上クラッドを積層することによって、界の対称性が改善された状態で界がコアに集中するため、偏波依存損(PDL)も低減されることがわかる。更に、図14(b)より、本実施形態の光導波路では、偏波依存損が 0.01dB/cm 以下に抑圧されることがわかる。なお、シリコン光導波路において断面構造を図8, 9, 10としても石英系光導波路と同様に屈曲損低減効果を得ることができる。

20

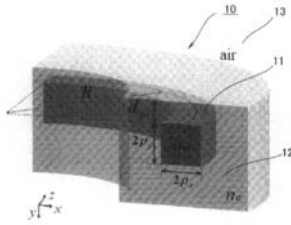
【符号の説明】

【0041】

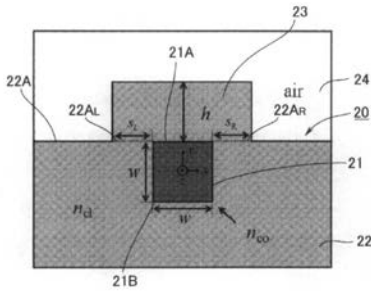
- 20 誘電体光導波路
- 21 コア
- 21A コアの表面
- 21B コアの下面
- 22 下クラッド
- 22A 下クラッドの表面
- 22A_L、22A_R 下クラッドの一部表面
- 23 上クラッド
- 24 空気層

30

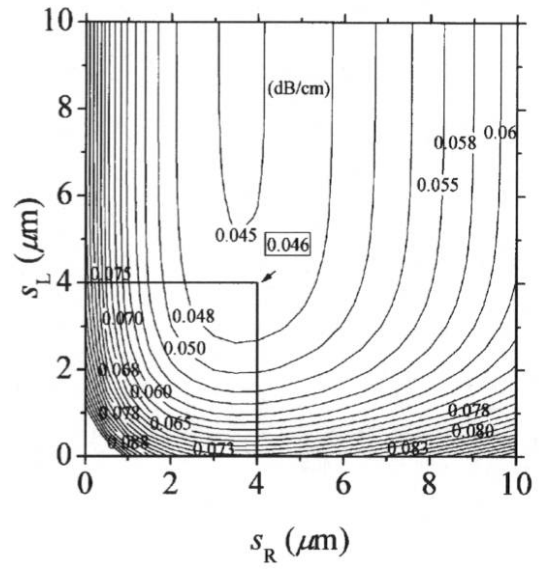
【 図 1 】



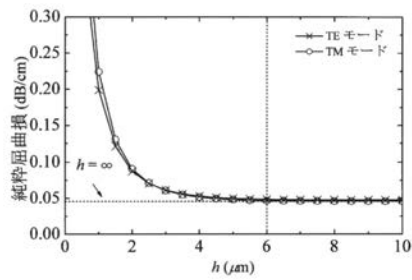
【 図 2 】



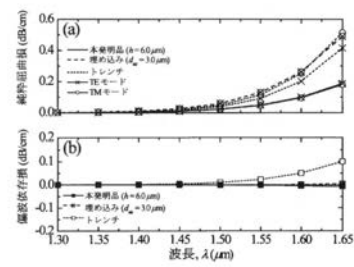
【 図 3 】



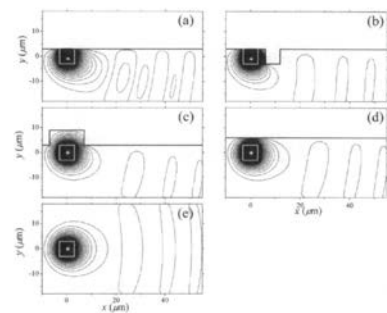
【 図 4 】



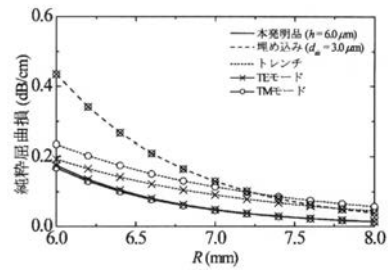
【 図 6 】



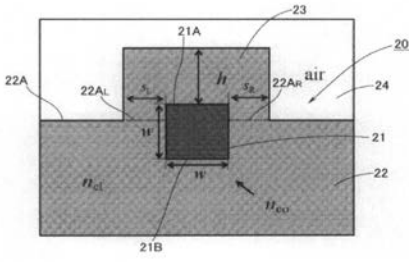
【 図 5 】



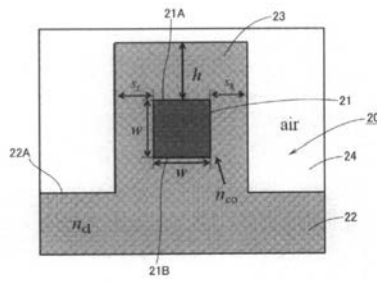
【 図 7 】



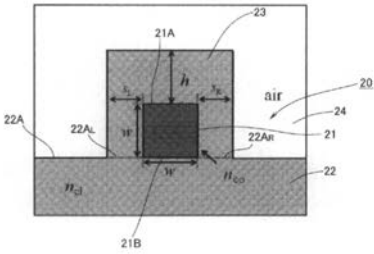
【図8】



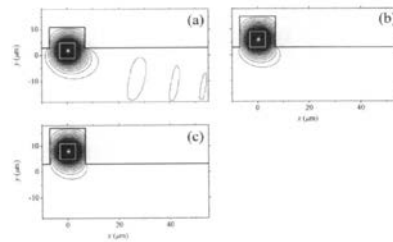
【図10】



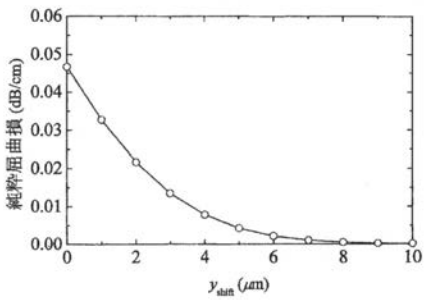
【図9】



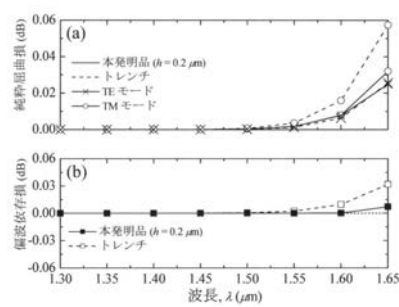
【図11】



【図12】



【図14】



【図13】

