

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7510079号
(P7510079)

(45)発行日 令和6年7月3日(2024.7.3)

(24)登録日 令和6年6月25日(2024.6.25)

(51)国際特許分類

G 0 2 B 6/122(2006.01)

F I G 0 2 B 6/122 3 1 1

請求項の数 4 (全13頁)

(21)出願番号	特願2022-541336(P2022-541336)	(73)特許権者	000004226
(86)(22)出願日	令和2年8月3日(2020.8.3)		日本電信電話株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/029662		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(87)国際公開番号	WO2022/029836	(74)代理人	110001243
(87)国際公開日	令和4年2月10日(2022.2.10)		弁理士法人谷・阿部特許事務所
審査請求日	令和4年11月25日(2022.11.25)	(72)発明者	太田 雅
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	山口 慶太
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	森脇 摂
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	鈴木 賢哉

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光回路

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

温度補償材料を充填した温度補償構造を有する光導波路を備えた光回路において、
前記光導波路を伝搬する光波を、前記温度補償材料を充填した前記温度補償構造へ断熱的に遷移させる断熱遷移構造を有し、
前記光導波路は、上部クラッドおよび下部クラッドに囲まれたコアを有し、上面および側面が前記温度補償材料で覆われて前記温度補償構造を形成し、
前記断熱遷移構造として、前記温度補償材料の厚みを連続的に変化させるテーパ構造を有し、前記テーパ構造において、前記コアと前記温度補償材料との前記コアの高さ方向の距離および前記コアの幅方向の距離が断熱的に変化する、
ことを特徴とする光回路。

【請求項2】

前記光導波路のコアと前記温度補償材料が所定の距離だけ離れていること
を特徴とする請求項1に記載の光回路。

【請求項3】

前記温度補償構造において、前記光導波路のコアの厚さ又は幅が所定の値だけ減少し、
前記光導波路のコアと前記温度補償材料が接していること
を特徴とする請求項1に記載の光回路。

【請求項4】

前記光導波路のコアと前記温度補償材料との間の距離を設計することで単位長さあたり

の温度補償量を調節できること

を特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の光回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は基板上に形成された埋め込み型光導波路による光回路に関し、より詳細には、温度変化に対して光回路の特性変化を補償する温度補償構造を有する光回路に関する。

【背景技術】

【0002】

波長多重光通信の更なる大容量化に伴い、これを支える光波長合分波回路や光スイッチ回路などの石英系平面光波回路に関する研究開発が盛んに行われている。多くの場合、これら光回路の構成要素には光路長の異なる複数の光信号経路と合分波素子が含まれ、光波の干渉を利用した波長合分波及びスイッチング機能を実現している。

【0003】

光波の干渉特性は信号経路間の光路長差に依存しており、光路長を決定する実効屈折率は温度依存性を有するため、従来は温度変化に対して透過特性を一定に保持するために、温度変化による実効屈折率の変化が、導波路材料とは異なる変化傾向を有する温度補償材料を、導波路の溝に充填していた。

【0004】

従来技術では、温度補償材料を充填した溝の深さは一定であり、溝の幅と温度補償材料の種類を変更することで、温度補償特性を調節していた（特許文献 1 及び非特許文献 1）。しかし、溝がコア層を貫通した形状をなす場合においては、特に高温又は低温環境においてコア層と溝との界面で光の散乱が生じるため、光損失が増大する要因となっていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2009-265418 号公報

【非特許文献】

【0006】

【文献】S.Kamei, Y.Inoue, T.Shibata, A.Kaneko, “Low-Loss and Compact Silica-Based Athermal Arrayed Waveguide Grating Using Resin-Filled Groove” JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL.27, NO.17, SEPTEMBER 1, 2009.

【発明の概要】

【0007】

経路長が異なる複数の導波路と合分波構造を有する従来のアサーマル（ATHERMAL：温度無依存化、熱的補償）光回路においては、信号波長帯での使用可能温度領域を広くするために、温度補償材料を充填した溝を導波路に形成していたが、溝の加工形成技術上の制限から光損失を抑えたものを作製するのは困難であった。

【0008】

また、温度補償特性が温度補償材料の種類と溝の幅のみで決定されていたため、特に高温または低温環境においては導波路クラッドと溝との界面で散乱が生じ、透過光強度の波長依存性を劣化させる等の問題があった。

【0009】

本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであり、温度補償特性の微細な調整を可能とする光回路構造を提供することを目的とする。

【0010】

本発明では、導波路を伝搬する光波を温度補償構造へ断熱的に遷移させ、低損失かつ透過特性の劣化が少ない温度補償構造を有する光回路を提供する。さらに、温度補償構造を導波路のコアから所定の距離だけ離して設置することで、少なくともコアからの距離と溝の幅のパラメータを用いて、温度補償特性の微細な調整を可能とする光回路構造を提供す

10

20

30

40

50

る。

【００１１】

このような目的を達成するために、本発明の一実施形態は、温度補償材料を充填した温度補償構造を有する光導波路を備えた光回路であって、光導波路を伝搬する光波を、温度補償材料を充填した温度補償構造へ断熱的に遷移させる断熱遷移構造を有することを特徴とする。

【００１２】

以上記載した本発明の光回路の温度補償構造によれば、光損失を低減し、温度補償特性の微細な調整が可能な光回路構造を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】本発明の一実施形態の光回路の温度補償構造の基本を説明する上面図（ａ）と、長手方向の基板断面図（ｂ）である

【図２】本発明の一実施形態の光回路の温度補償構造を、マッハツェンダ干渉計光回路において説明する上面図（ａ）、上面拡大図（ｂ）、基板断面図（ｃ）である。

【図３】本発明の一実施形態の温度補償構造の、短手方向の基板断面図の２例（ａ）および（ｂ）を示す図である。

【図４】本発明の一実施形態の光回路の温度補償構造として、複数のセグメントが連続するセグメント構造を含む例を説明する上面図（ａ）、基板断面図（ｂ）である。

【図５】本発明の他の実施形態の光回路の温度補償構造を、ＡＷＧにおいて説明する上面図（ａ）と、基板断面拡大図（ｂ）である。

【図６】本発明の他の実施形態の温度補償構造を、ＡＷＧのスラブ導波路に設けた例を説明する上面図（ａ）と、基板断面拡大図（ｂ）である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

【００１５】

<基本構造>

図１は、本発明の実施形態の光回路の温度補償構造の概念を示す基本構造を説明する上面図（ａ）と、コアを通過する伝搬光に沿った長手方向の基板断面図（ｂ）である。

【００１６】

図１（ａ）の上面図で、光回路のチップの上部クラッド１０２に埋め込まれたコア１０１の例えば左端から入射した伝搬光は、コア１０１の上部クラッド１０２に設けられた温度補償構造１０３の下を取り、温度補償されて右端側に出射する。

【００１７】

図１（ｂ）の基板断面図に示すように、基板１０５上で上部クラッド１０２と下部クラッド１０４の間に埋め込まれたコア１０１が形成されて、光回路の光導波路を構成している。上部クラッド１０２の上面側に形成された溝（窪み、ウェル）に温度補償材料を埋め込んで、温度補償構造１０３が形成されている。

【００１８】

温度補償構造１０３の入射側および出射側には、温度補償材料の厚みが断熱的（実効屈折率の急激な変化なく連続的な）変化となるよう、入射側で徐々に厚みが厚くなり、また出射側で徐々に厚みが薄くなるテーパ部１０７が、断熱遷移構造として形成されている。テーパ部１０７の厚み変化は直線的に変化するものを例示しているが、これに限らず光損失を生じない断熱条件を満たす連続的な変化であれば良い。この断熱遷移構造で、温度補償構造１０３による光の損失を抑えることができる。温度補償構造１０３の中央部（温度補償部）１０８では、温度補償材料の厚みはほぼ一定に形成されており、コア１０１と温度補償材料の間上部クラッド１０２も一定の厚みを有している。この部分の上部クラッド１０２の厚みを調整することで、温度補償特性を細かく調整することができる。

【００１９】

10

20

30

40

50

本発明では、光回路の光導波路を伝搬する光波を、温度補償材料を充填した温度補償構造へ断熱的に遷移させる断熱遷移構造を有することで、温度補償特性を細かく調整可能とするとともに、光の損失を抑えることができる。

【００２０】

<実施形態１>

本発明の実施形態１を示す図２は、第１のアーム２１０および第２のアーム２２０を有するマッハツェンダ干渉計を含む光回路について、温度補償構造を介して透過特性の温度依存性を補償する態様を示す図である。図２を用いて本実施形態における温度補償について説明する。

【００２１】

図２（ａ）において、マッハツェンダ干渉計は、入射側で光路長の短い第１のアーム２１０と光路長の長い第２のアーム２２０に分岐して、出射側で合波する構造を有する。このとき、環境温度の変化に起因する実効屈折率変化による光位相変化量は、第２のアームの方が大きい値をとるため、温度補償構造２０３は第２のアーム２２０の途中に作製される。

【００２２】

図２の（ｂ）は第２のアーム２２０の温度補償構造２０３の上面拡大図であり、図２（ｃ）は長手方向の基板断面拡大図であり、図１の（ａ）、（ｂ）に対応する。図２（ｂ）および（ｃ）に示すように、基板（不図示）上で上部クラッド２０２と下部クラッド２０４の間に埋め込まれたコア２０１が形成されて、光回路の光導波路を構成している。上部クラッド２０２の上面側に形成された溝（窪み、ウェル）に温度補償材料を埋め込んで、温度補償構造２０３が形成されている。

【００２３】

図２（ｃ）の長手方向基板断面図において、温度補償構造２０３の温度補償材料の厚みが一定となる中央部２０８の導波方向の長さを作用長 L_{com} 、テーパ部２０７の長さを L_{tap} としている。また、温度補償構造２０３の中央部２０８の温度補償材料の底面から上部クラッド２０２とコア２０１の境界面までの上部クラッド２０２の厚みを距離 $h_2(x)$ 、コア２０１の厚みを h_1 としている。ただし、 x は光伝搬方向（図２（ｃ）の左右、光は左から右へ伝搬すると仮定する）の座標である。

【００２４】

図２（ｃ）に示すように、関数 $h_2(x)$ は左の入射側のテーパ部２０７の L_{com} の区間において、上部クラッド２０２の厚みから徐々に連続的に断熱的に減少し、中央部２０８で最小値となり、長さ L_{com} の区間にわたり、最小値 h_2 となる。そして光が右の出射側のテーパ部２０７の L_{tap} の区間に入ると、 $h_2(x)$ は逆の変化をして徐々に連続的に断熱的に増加する。伝搬光はこのような断熱遷移構造による断熱的な光の変化のおかげで、光エネルギーの損失が最小限に抑えられ、温度補償構造による光のロスが抑えられると共に、 L_{com} や L_{tap} 、 h_2 などの構造パラメータの調整により温度補償特性の微小な調整が可能となる。

【００２５】

図３（ａ）には、光回路の温度補償構造の短手方向の（光導波方向に垂直な面の）基板断面図を示す。図３の左右方向は、図２（ａ）の y 軸方向にあたる。基板２０５上で上部クラッド２０２と下部クラッド２０４に埋め込まれたコア２０１が形成されて、上部クラッドの上面側に温度補償構造２０３が形成されている。

【００２６】

温度補償構造２０３は温度補償材料が充填された溝で構成され、温度補償材料には単位温度変化あたりの屈折率変化量 dn/dT が、コア及びクラッド材料に対して異符号かつ絶対値の大きい材料が選択されている。

【００２７】

ここで、溝の深さはテーパ部２０７と中央部２０８の温度補償部で異なり、テーパ部２０７においてはコア２０１と温度補償材料との間の距離 $h_2(x)$ は x 軸方向に断熱的に

10

20

30

40

50

変化（光損失がない連続的な変化）し、温度補償部の中央部 208 では一定であることを特徴とする。コアと温度補償材料との距離 h_2 (x) を設計することで、単位長さあたりの位相シフト補償量を微小に調節できる。

【0028】

クラッド層が十分に厚い条件において、埋め込み型光導波路における実効屈折率 n_{eff} の単位温度あたり変化量 dn_{eff}/dT は、以下の（式1）で示すことができる。

【0029】

【数1】

$$\frac{dn_{eff}}{dT} = \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{core}} \frac{dn_{core}}{dT} + \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{clad}} \frac{dn_{clad}}{dT} + h_1 \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_1} \alpha_{h_1} + w \frac{\partial n_{eff}}{\partial w} \alpha_w \quad 10$$

（式1）

【0030】

ここで、Tは環境温度、 n_{core} はコアの屈折率、 n_{clad} はクラッドの屈折率、 h_1 はコアの高さ、 w はコアの幅、 α_{h_1} は h_1 の線膨張係数、 α_w は w （幅方向）の線膨張係数を示している。

【0031】

第2のアームに作製した温度補償構造の温度補償部における実効屈折率 n_{eff} の単位温度変化あたり補償量 dn_{com}/dT は、以下の（式2）で示すことができる。

【0032】

【数2】

$$\frac{dn_{com}}{dT} = \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_m} \frac{dn_m}{dT} + h_2 \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_2} \alpha_{h_2}$$

（式2）

【0033】

ここで、Tは環境温度、 n_m は温度補償材料の屈折率、 h_2 はコアと温度補償構造との距離、 w はコアの幅、 α_{h_2} は h_2 の線膨張係数を示している。また、通常 h_2 は正の値をとるが、単位伝搬長あたりの温度補償効果を高めることを目的として、 h_2 を負の値としてもよい。 h_2 の負の値は、例えば温度補償構造203の溝を深くして溝の底で上部クラッド202の部分をなくしてコア201の厚さを削る、あるいはコア201の幅を削ることで実現できる。この場合、コア201は、厚さ又は幅が所定の値だけ減少し、温度補償材料と接していてもよい。 h_2 が負の値をとる場合、コアの高さ h_1' を $h_1 + h_2$ とすると、単位温度変化あたり補償量 dn_{com}/dT は、以下の（式3）で示すことができる。

【0034】

【数3】

$$\frac{dn_{com}}{dT} = \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_m} \frac{dn_m}{dT} + h_1' \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_1'} \alpha_{h_1'} \quad 40$$

（式3）

【0035】

テーパ部207において（式2）又は（式3）の第2項は h_2 が伝搬軸（本実施形態ではx軸）に沿って断熱的に変化するため、単位温度変化あたり位相シフト補償量 $\Delta\phi_{tap}$ は、以下の（式4）又は（式5）で示すことができる。

【0036】

【数4】

$$\Delta\varphi_{tap} = k_0 \int_0^{L_{tap}} \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_m} \frac{dn_m}{dT} + h_2(x) \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_2} \alpha_{h_2} \right) dx$$

(式4)

【0037】

【数5】

$$\Delta\varphi_{tap} = k_0 \int_0^{L_{tap}} \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_m} \frac{dn_m}{dT} + h_1'(x) \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_1'} \alpha_{h_1'} \right) dx$$

(式5)

10

【0038】

ここで、 L_{tap} はテーパ部207の長さ、 k_0 は真空中の波数である。また、光信号を温度補償部へ低損失に遷移させる目的から、通常テーパ部における実効屈折率変化量は伝搬長1 μm あたり0.1以下に設定する。

【0039】

環境温度Tの変化が第1のアームと第2のアームとの光路長差 ΔL に対して与える位相シフト変化量を補償するように、実効屈折率の補償量及び構造パラメータを、以下の(式6)の条件式が成り立つように設定する。

20

【0040】

【数6】

$$\frac{dn_{eff}}{dT} \Delta L + \frac{dn_{com}}{dT} L_{com} + 2 \frac{\Delta\varphi_{tap}}{k_0} = 0$$

(式6)

30

【0041】

(式6)について、回路設計に用いた基準環境温度を T_0 としたとき、高次(N次まで)の温度特性を補償するように、以下の(式7)の条件式が成り立つように構造を設計してもよい。

【0042】

【数7】

$$\sum_{i=1}^N (A_i \Delta L + B_i L_{com} + C_i L_{tap}) (T - T_0)^i = 0$$

(式7)

40

【0043】

ここで、 A_i 、 B_i 、 C_i はi次の温度特性および温度補償に対応する定数である。

【0044】

実施形態1では基板の材料としてSiを用いており、 α_w は基板の熱膨張の影響を受ける場合がある。また、実施形態1において光導波路はSiO₂から成り、屈折率調整材料を添加することでコアとクラッドの屈折率差 Δ を約1%としている。実施形態1では、膜

50

厚方向距離 h_2 及び幅方向距離 h_3 、 h_4 は、通常 $0.5 \mu\text{m}$ 以下の値であり、また h_2 、 h_3 、 h_4 が負の値をとる場合、すなわち伝搬モードが存在する限りコアの高さ h_1 等の値に下限はない。温度補償材料の屈折率は、回路設計時に基準とした温度でクラッドと同じ値となるように調整されることを特徴とする。これは使用環境の温度に加えて、コアとクラッドの屈折率差が高くなるほど散乱が生じ、透過光強度の波長依存性が劣化するからである。コアとクラッドの屈折率差を小さくすることで、透過光強度の波長依存性の劣化を低減することが可能となる。

【0045】

上記の構造は、通常の光回路プロセスで作製後、局所エッチング装置等で上部クラッドの厚さ分布を調節することで実現可能である。

【0046】

図3(b)には、本実施形態1において導波路の側面まで温度補償材料を充填した場合における、温度補償構造の短手方向の（光導波方向に垂直な面の）基板断面図を示す。短手方向の基板断面図3(b)において、コア301は上部クラッド302および下部クラッド304に囲まれて基板305の上に形成され、さらに上面と側面を温度補償材料で覆われて温度補償構造303を形成し、さらに、上部302クラッド302および下部クラッド304に埋め込まれた形となっている。

【0047】

ここで、コアと温度補償材料との膜厚方向距離 h_2 及び幅方向距離 h_3 、 h_4 はテーパ部と温度補償部で値が異なり、テーパ部においては導波路パターンに沿って断熱的に変化し、温度補償部では一定であることを特徴とする。また、幅方向距離は通常左右対称であり $h_3 = h_4$ を満たすが、光回路パターン設計自由度の担保等が求められる場合は、異なる値を設定してもよい。コアと温度補償材料との膜厚方向距離 h_2 及び幅方向距離 h_3 、 h_4 （構造パラメータと総称する）を設計することで、偏光モード毎の単位長さあたり位相シフト補償量をさらに微小に調節できる。

【0048】

本実施例において導波路断面が図3(b)の構造である場合、第2のアームに作製した温度補償構造の温度補償部における実効屈折率 n_{eff} の単位温度変化あたり補償量 dn_{com}/dT は、以下の(式8)で示すことができる。

【0049】

【数8】

$$\frac{dn_{com}}{dT} = \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_m} \frac{dn_m}{dT} + h_2 \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_2} \alpha_{h_2} + h_3 \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_3} \alpha_{h_3} + h_4 \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_4} \alpha_{h_4}$$

(式8)

【0050】

テーパ部において(式8)の第2項から第4項は h_2 、 h_3 、 h_4 が伝搬軸（本実施形態では x 軸）に沿って変化するため、単位温度変化あたり位相シフト補償量 $\Delta\phi_{tap}$ は、以下の(式9)で示すことができる。

【0051】

【数9】

$$\Delta\phi_{tap} = k_0 \int_0^{L_{tap}} \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_m} \frac{dn_m}{dT} + h_2(x) \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_2} \alpha_{h_2} + h_3(x) \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_3} \alpha_{h_3} + h_4(x) \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_4} \alpha_{h_4} \right) dx$$

(式9)

【0052】

図4には、光信号を温度補償部へ断熱的に遷移させる構造（断熱遷移構造）として、上

10

20

30

40

50

述したテーパ構造に替えて、セグメント（ i 番目のセグメントの溝幅が $l_{seg\ i}$ の、狭い溝構造）を複数、連続して有するセグメント構造 407 を用いる例を示す。図 4（a）および（b）に示すように、基板 405 上で上部クラッド 402 と下部クラッド 404 の間に埋め込まれたコア 401 が形成されて、光回路の光導波路を構成している。上部クラッド 402 の上面側に形成された溝（窪み、ウェル）に温度補償材料を埋め込んで、温度補償構造 403 が形成されている。温度補償構造 403 は、中央部 408 に両側にセグメント構造 407 が形成されている。中央部 408 は、中央部 108 または 208 に相当する。セグメント構造 407 内のセグメントから次のセグメントまでの周期（セグメントの溝幅と次の導波路部分の幅を含む）を、ピッチ $p_{seg\ i}$ とする。

【0053】

図 4（b）の基板断面図に示すように、セグメント構造 407 では、コアとセグメントとの間の厚み方向の距離 h_2 は一定であり、各セグメントの幅とピッチの比（いわゆるデューティ比 $l_{seg\ i} / p_{seg\ i}$ ）が光伝搬軸 x 方向に沿って断熱的に変化していることを特徴とする。

【0054】

テーパ構造を用いた場合と同様に、光信号を温度補償部へ低損失に遷移させる目的から、通常セグメント部における実効屈折率変化量は伝搬長 $1\ \mu\text{m}$ あたり 0.1 以下に設定する。

【0055】

断熱的な変化とするため、各セグメントの幅とピッチの比（デューティ比）を構造パラメータとして、平均的な実効屈折率の急激な変化がなく連続的な断熱的な変化となるように設定する。

【0056】

セグメント構造 407 の全体の長さ L_{seg} は、セグメントの数 N と i 番目のセグメントのピッチ p_i を決定することで以下の（式 10）で示すことができる。

【0057】

【数 10】

$$L_{seg} = k_0 \sum_{i=1}^N p_i$$

（式 10）

【0058】

また、セグメント構造における単位温度変化あたり位相シフト補償量 $\Delta\phi_{seg}$ は、以下の（式 11）で示すことができる。

【0059】

【数 11】

$$\Delta\phi_{seg} = k_0 \sum_{i=1}^N \int_0^{l_{seg\ i}} \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_m} \frac{dn_m}{dT} + h_2 \frac{\partial n_{eff}}{\partial h_2} \alpha_{h_2} \right) dx$$

（式 11）

【0060】

ここで、 $l_{seg\ i}$ は i 番目のセグメントの長さを示している。セグメント構造の設計パラメータ決定式は、（式 4）から（式 6）の ϕ_{tap} と L_{tap} を、それぞれ ϕ_{seg} と L_{seg} に置き換えることで成り立つ。

<実施形態 2>

実施形態 2 は、図 5 に示す 1 以上の入力導波路が接続されたスラブ導波路 510 及び 1 以上の出力導波路が接続されたスラブ導波路 520 並びにこれらの 2 つのスラブ導波路を

10

20

30

40

50

接続するM本のアレイ導波路501を有するアレイ導波路回折格子型波長合分波回路（AWG）500について、光回路構造を介して透過特性の温度依存性を補償する態様である。図5（a）の平面図と、アレイ導波路501の中央部における基板断面図5（b）を用いて本実施形態2における温度補償について説明する。AWG500は、基板505上で上部クラッド502と下部クラッド504に埋め込まれた複数のアレイ導波路501のコアが形成されて、上部クラッド502の上面側に温度補償材料を充填した温度補償構造503が形成されている。

【0061】

図5において、アレイ導波路501は長さが ΔL ずつ異なるM本の導波路を有する。このとき、環境温度の変化に起因する実効屈折率変化による光位相変化量は、曲率半径の大きいアレイ導波路の方が大きい値をとるため、温度補償構造503は各アレイ導波路に対応した補償量を与える形状が求められる。

【0062】

図5（a）の平面図では温度補償構造503として、上に開いた扇形の平面形状を例示するが、実際の形状は必要とする補償量に応じて変化する。温度補償構造503の中央部の断面Vb-Vbにおける基板断面図を図5（b）に示す。温度補償構造503とアレイ導波路501のコアの間の厚み方向の距離の関数は、 $h_2(x, y)$ のように図5（a）の平面座標で決まることに留意されたい。

【0063】

図6には、実施形態2の別例における光回路構造の平面図（a）と断面図（b）を示す。本例の光回路構造は、図5を参照して説明したAWGが有するスラブ導波路510または520に温度補償構造を設けた光回路構想である。スラブ導波路610または620は、基板605上で上部クラッド層602と下部クラッド層604に埋め込まれたスラブ導波路610のコア層601が形成されて、上部クラッド層602の上面側に温度補償材料を充填した温度補償構造603が形成されている。スラブ導波路610および620はそれぞれ、図5のスラブ導波路510および520に対応する。スラブ導波路610（または620）のコア層601は、1以上の入力導波路（出力導波路）及びアレイ導波路のコア層601と接続されている。図6（b）は、入力導波路とアレイ導波路のうちの1つとを結ぶ断面線（図6（a）に示す点線）における断面図である。図6（b）の断面図に示すように、温度補償構造603は、AWGのスラブ導波路610または620の上部クラッド層602に形成された溝に温度補償材料が充填されて設けられている。

【0064】

図6（a）の平面図に示すように、温度補償構造603の溝は、スラブ導波路610または620のアレイ導波路に至る光経路上に、例示的に湾曲した三角形状で示されている。図6（b）の断面図に示すように、温度補償材料を充填した温度補償構造603とコア層601との間の上部クラッド層602の厚みは、光経路の光伝搬方向に沿って長さ L_{com} の区間に渡り一定の厚みになるように形成され、前後の長さ L_1 、 L_2 の区間は断熱遷移構造部として例えばテーパをなすように形成されている。

【0065】

実施形態2でも実施形態1と同様に、温度補償構造603に充填される温度補償材料は、単位温度変化あたりの屈折率変化量 dn/dT がコア及びクラッド材料に対して異符号かつ絶対値の大きい材料が選択されている。さらに、実施形態1と同様に温度補償構造603は、断熱遷移構造としてテーパ部に替えてセグメント部を温度補償構造603の前後に設けることもできる。スラブ導波路610または620のコア層601と温度補償材料を充填した温度補償構造603との距離 h_2 を設計することで、単位長さあたりの位相シフト補償量を微小に調節できる。

【0066】

アレイ導波路回折格子の中心出力ポートの透過中心波長 λ_0 は以下の（式12）で決定される。

【0067】

10

20

30

40

50

【数 1 2】

$$\lambda_0 = \frac{(n_{eff} + \frac{dn_{eff}}{dT} \Delta T) \Delta L}{m}$$

(式 1 2)

【0 0 6 8】

ここで、 m は回折次数、 ΔT は $T - T_0$ を示す。よって、各アレイ導波路に対して（式 6）が成り立つように温度補償構造を設計することで、アサーマル波長合分波回路が設計可能となる。光路長が短い方から i 番目のアレイ導波路に対する光回路構造パラメータの決定式は以下の（式 1 3）で示される。

【0 0 6 9】

【数 1 3】

$$\frac{dn_{eff}}{dT} (i - 1) \Delta L + \frac{dn_{com}}{dT} L_{com} + 2 \frac{\Delta \varphi_{tap}}{k_0} = C$$

(式 1 3)

【0 0 7 0】

ここで、 C は任意の定数で通常 0 であるが、アレイ導波路の損失一定化を目的に $i = 1$ のアレイ導波路に温度補償構造のテーパ部又はセグメント部を挿入するなど、オフセット値を設定しても良い。

【0 0 7 1】

また、前記の機能はアレイ導波路でなくスラブ導波路で実現しても良い。図 6（b）に示すように温度補償構造をスラブ導波路へ作製する場合、温度補償構造の前後でパワー密度が異なることから、入力側と出力側で異なるテーパ長を設定しても良い。

【0 0 7 2】

上記の構造は、実施形態 1 に記載の方法と同様の方法で作製することができる。

【産業上の利用可能性】

【0 0 7 3】

以上のように、本発明の光回路では、光の損失を抑えつつ、温度補償特性の微細な調整が可能な光回路構造を提供することができる。

10

20

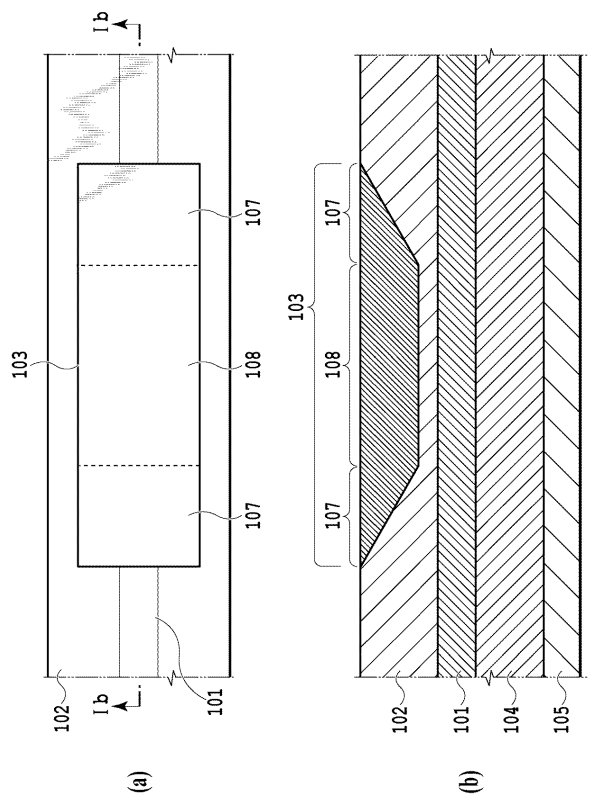
30

40

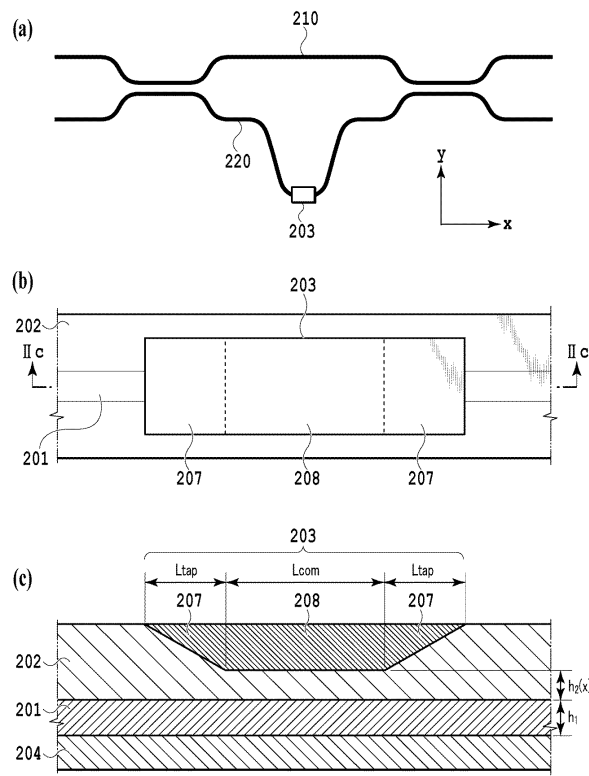
50

【図面】

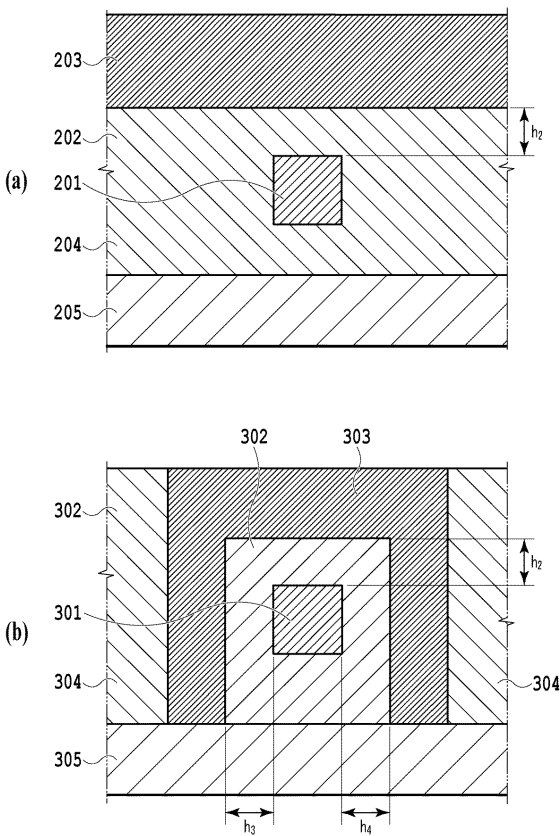
【図 1】



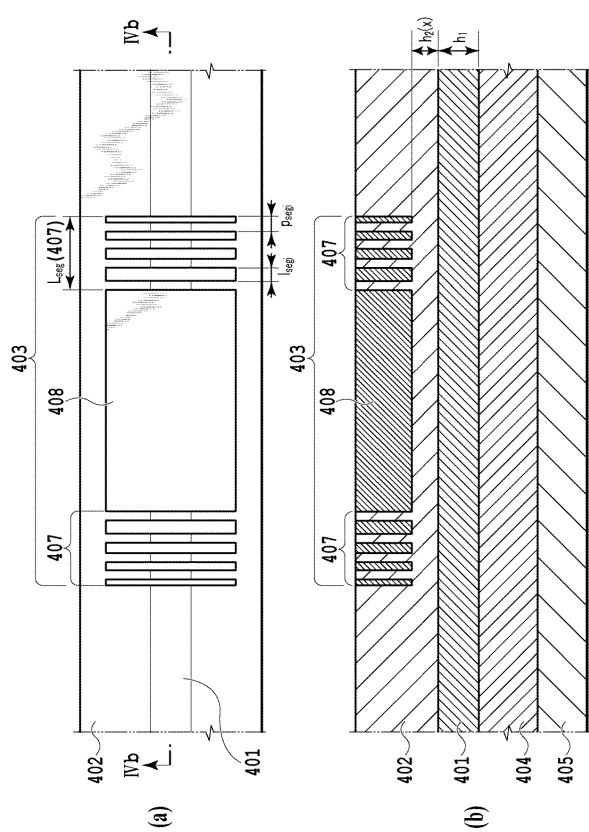
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

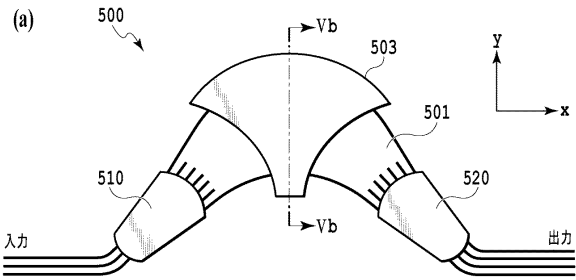
20

30

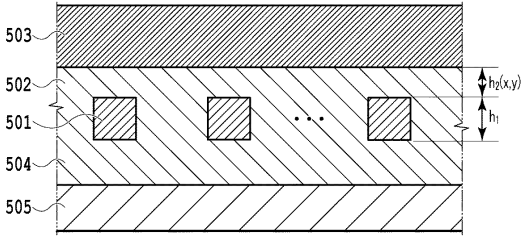
40

50

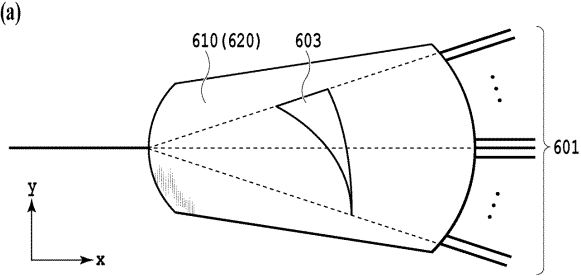
【図 5】



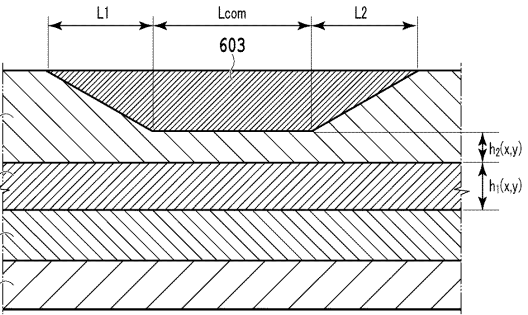
(b)



【図 6】



(b)



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 山本 元彦

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0165352 (US, A1)
国際公開第2019/166803 (WO, A1)
米国特許出願公開第2006/0062518 (US, A1)
特開2001-305366 (JP, A)
特開2011-170368 (JP, A)
特開2009-265418 (JP, A)
特開平10-186167 (JP, A)
特開平10-227930 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 6/12-6/14