

(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2010-26302

(P2010-26302A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.

G02B 6/12 (2006.01)

F1

G02B 6/12

F

テーマコード (参考)

2H147

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2008-188571 (P2008-188571)

(22) 出願日 平成20年7月22日 (2008.7.22)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一

(74) 代理人 100088915

弁理士 阿部 和夫

(72) 発明者 亀井 新

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 井上 靖之

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

最終頁に続く

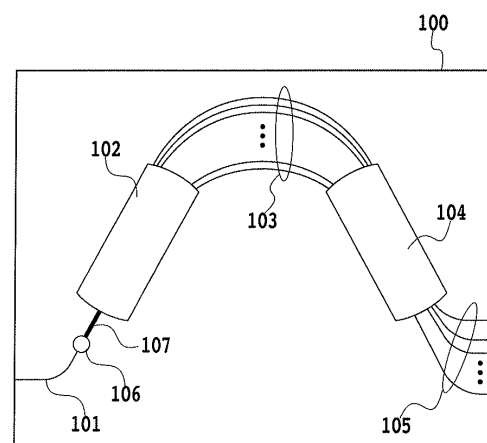
(54) 【発明の名称】 光波長合分波回路

(57) 【要約】

【課題】 アサーマルAWGにおいて残留する透過中心波長の微小な温度変化を補償し、全使用温度領域において透過中心波長精度に優れたあるいは使用可能温度領域が比較的広い光波長合分波回路を提供する。

【解決手段】 アレイ導波路回折格子を備える光波長合分波回路であって、1次モード光励起機構と、1次モード光励起機構に接続され少なくとも基本および1次モード光が伝播可能であり、直接あるいはテーパ導波路を介して第1のスラブ導波路に接続されるマルチモード導波路とを備え、マルチモード導波路あるいはテーパ導波路の第1のスラブ導波路への接続部における基本モード光と1次モード光との合成光フィールドの温度変位により、アレイ導波路回折格子の透過波長の残留する温度依存性の一部または全部が補償されることを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コアおよびクラッドからなる導波路により構成されるアレイ導波路回折格子を備える光波長合分波回路であって、

前記アレイ導波路回折格子が、

所定の光路長差で順次長くなる導波路からなるアレイ導波路と、

前記アレイ導波路の両端部に接続された第 1 および第 2 のスラブ導波路と、

透過波長における主要な温度依存性を補償する温度補償手段とを備える光波長合分波回路において、

第 1 の入出力導波路と、

前記第 1 の入出力導波路に接続され、前記第 1 の入出力導波路から入力される基本モード光の一部を 1 次モード光に変換する 1 次モード光励起機構と、

前記 1 次モード光励起機構に接続され、少なくとも基本および 1 次モード光が伝播可能であり、直接あるいはテーパ導波路を介して前記第 1 のスラブ導波路に接続されるマルチモード導波路であって、前記マルチモード導波路の少なくとも一部分のコア側面または上面またはその両方のクラッドが前記マルチモード導波路と異なる屈折率温度係数を有する材料に置き換えられるマルチモード導波路とを備え、

前記マルチモード導波路あるいは前記テーパ導波路の前記第 1 のスラブ導波路への接続部における基本モード光と 1 次モード光との合成光フィールドの温度変位により、前記アレイ導波路回折格子の透過波長の残留する温度依存性の一部または全部が補償されていることを特徴とする光波長合分波回路。

【請求項 2】

前記マルチモード導波路は、前記マルチモード導波路の少なくとも一部分のコア側面に接する溝が形成され、当該溝に前記マルチモード導波路のコア材料の屈折率温度係数と異なる屈折率温度係数を有する材料を挿入することにより生成されることを特徴とする請求項 1 に記載の光波長合分波回路。

【請求項 3】

前記 1 次モード光励起機構は、導波路の中心軸をずらして接続する導波路オフセットであることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光波長合分波回路。

【請求項 4】

前記マルチモード導波路と前記第 1 のスラブ導波路が、直線テーパ導波路により接続されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光波長合分波回路。

【請求項 5】

前記マルチモード導波路と前記第 1 のスラブ導波路が、パラボラ形状等の 2 次モード光を励起するテーパ導波路により接続されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光波長合分波回路。

【請求項 6】

前記第 2 のスラブ導波路に接続される第 2 の入出力導波路を備え、前記第 2 の入出力導波路と前記第 2 のスラブ導波路が、パラボラ形状等の 2 次モード光を励起するテーパ導波路により接続されることを特徴とする請求項 4 に記載の光波長合分波回路。

【請求項 7】

前記導波路は、石英系ガラスから構成され、前記溝に挿入する材料は、シリコン樹脂、エポキシ樹脂、フッ素樹脂等の光学樹脂であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光波長合分波回路。

【請求項 8】

前記温度補償手段は、前記アレイ導波路および前記第 1 および第 2 のスラブ導波路の少なくともいずれか 1 つに、光波の進行方向に交差して導波路を分断する溝を形成し、前記溝に前記導波路の実効屈折率の温度係数と異なる屈折率温度係数を有する材料を挿入することにより形成される手段であることを特徴とする請求項 7 に記載の光波長合分波回路。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

前記アレイ導波路および前記第 1 および第 2 のスラブ導波路の少なくともいずれか 1 つに形成された溝に挿入する材料と、前記マルチモード導波路の少なくとも一部分のコアに接する溝に挿入する材料とが同一であることを特徴とする請求項 8 に記載の光波長合分波回路。

【請求項 10】

前記温度補償手段は、回路に沿って弧状に切断したチップの両端をつなぐ金属棒を接合し、金属棒の熱伸縮によりチップを変形させ、前記アレイ導波路の光路長差の温度変化と相殺させる手段であることを特徴とする請求項 7 に記載の光波長合分波回路。

【請求項 11】

前記温度補償手段は、前記第 1 あるいは第 2 のスラブ導波路を分断し、分断したチップを金属板で接合して、金属板の熱伸縮により分断されたスラブ導波路の相対位置を変化させることによりアレイ導波路の光路長差の温度変化による光路の変化と相殺させる手段であることを特徴とする請求項 7 に記載の光波長合分波回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、アレイ導波路回折格子型の光波長合分波回路に係り、詳しくは透過波長の温度依存性が補償されたアレイ導波路回折格子型の光波長合分波回路に関する。

【背景技術】

【0002】

シリコン基板上に形成された石英系ガラス導波路により構成されるプレーナ光波回路（PLC）の研究開発が盛んに行われている。この PLC 技術を利用したアレイ導波路回折格子（AWG）は、光波長合分波を実現する回路であり、光通信用の部品として重要な役割を果たしている。

【0003】

AWG は、合分波される光の透過波長に温度依存性を有する。これは、AWG を構成する石英系ガラス導波路の実効屈折率が温度依存性を有するためである。このため、通常の AWG においては、波長透過特性を一定に保持するために、温度調節装置を付加する必要があった。

【0004】

AWG に付加的に必要とされる温度調節装置を省略するため、AWG の透過波長の温度依存性を低減する方法が開発されている。この方法について詳しくは、特許文献 1 および 2 に開示されている。透過波長の温度依存性を低減した AWG は、温度無依存 AWG、あるいはアサーマル AWG と呼ばれる。特許文献 1 および 2 に開示されたアサーマル AWG は、AWG 内の各光経路（アレイ導波路あるいはスラブ導波路）において、光波の進行軸に交差するように溝を形成し、その溝に導波路の実効屈折率の温度係数とは異なる屈折率温度係数を有する材料（以下「温度補償材料」と記載）を挿入することにより、実現される。

【0005】

図 34 は、この従来技術におけるスラブ導波路に溝を形成するアサーマル AWG タイプの光波長合分波回路の一例である構成 3400 を示す平面図である。アサーマル AWG タイプの光波長合分波回路 3400 は、第 1 の入出力導波路 3401 と、第 1 のスラブ導波路 3402 と、アレイ導波路 3403 と、第 2 のスラブ導波路 3404 と、第 2 の入出力導波路 3405 と、第 1 のスラブ導波路 3402 に形成され、温度補償材料が充填されている溝 3406 とを備える。

【0006】

また、図 35 は、図 34 に示したアサーマル AWG タイプの光波長合分波回路 3400 において、線 AA' 部分の断面構造を示した図である。線 AA' 部分の断面構造には、溝 3406 と、シリコン基板 3407 と、導波路コア 3408 と、クラッド 3409 とが含まれる。溝 3406 は、導波路コア 3408 およびクラッド 3409 の 1 部を取り除いて

10

20

30

40

50

形成されており、導波路コア 3408 を分断している。

【0007】

アサermal AWG 3400 は、第 1 の入出力導波路 3401 に入力された波長多重信号光を第 2 の入出力導波路 3405 の各導波路へ分波し、波長チャネルごとの信号光として出力する機能と、第 2 の入出力導波路 3405 の各導波路に入力された波長チャネルごとの信号光を第 1 の入出力導波路 3401 へ合波し、波長多重信号光として出力する機能を有し、光波長合分波回路として動作する。

【0008】

また図 34 において、溝 3406 は複数の溝に分割されているが。これは、単一の溝よりも、放射損失を低減することができるためである。図 34 において、 i 番目のアレイ導波路の長さ L_i は、 $L_i = L_1 + (i - 1) \cdot \Delta L$ と表され、一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。これに応じて、各アレイ導波路に入力する光波が、第 1 のスラブ導波路 3402 において、溝 3406 により分断される長さの和 L_i' は、 $L_i' = L_1' + (i - 1) \cdot \Delta L'$ と表され、 ΔL に比例した量 $\Delta L'$ ずつ順次長くなるような形状をしている。このとき AWG の第 1 の入出力導波路 3401 から第 2 の入出力導波路 3402 の中央の導波路への透過中心波長 λ_c は

$$[\text{数 1}] \quad \lambda_c = \{n_a \Delta L - n_s \Delta L' + n' \Delta L'\} / M$$

と表される。ここで、 n_a はアレイ導波路の実効屈折率、 n_s はスラブ導波路の実効屈折率、 n' は温度補償材料の屈折率であり、 M は AWG の回折次数であって、 $n_a \Delta L - n_s \Delta L' + n' \Delta L'$ は AWG における隣接する光経路の距離の差、すなわち光路長差を示している。このとき、 n' は n_s に近く、溝における光波の屈折角は十分小さいと仮定している。ここで光路長とは、光波が感じる距離であり、材料の屈折率と物理的な経路距離の積で求められる。また、ここで α はアレイ導波路およびスラブ導波路の実効屈折率温度係数 ($\alpha = dn_a / dT = dn_s / dT$ 、 T は温度)、 α' は温度補償材料の屈折率温度係数 ($\alpha' = dn' / dT$) であるとする、アサermal AWG では、 $\Delta L' / (\Delta L - \Delta L') = -\alpha / \alpha'$ すなわち $\Delta L' = \Delta L / (1 - \alpha' / \alpha)$ と設計されている。これにより、アレイ導波路およびスラブ導波路での光路長差の温度変化が、溝に充填された温度補償材料の光路長差の温度変化により相殺され、透過中心波長の温度依存性が補償されている。温度補償材料としては、導波路の α に対して前述の条件を満たす α' を有する材料であれば構わないが、特に α' が α と異符号であり、かつ $|\alpha'|$ が $|\alpha|$ に比較して十分大きいような材料が好ましい。これは $\Delta L'$ を小さく設計することができ、溝による過剰損失を抑制できるからである。このような条件の材料としては、例えば光学樹脂であるシリコン樹脂があり、 α' はおよそ $-35 \times \alpha$ である。また、光学樹脂は光部品材料として長期信頼性に優れるという点でも好ましい。

【0009】

AWG の透過波長の温度依存性を低減する別の方法としては、AWG のチップを回路に沿い弧状に切断し、そのチップの両端をつなぐ金属棒を接合し、金属棒の熱伸縮により AWG チップを変形させて、隣接するアレイ導波路の光路長差の温度変化と相殺させる方法がある。この方法について詳しくは、非特許文献 1 に開示されている。

【0010】

また、AWG の透過波長の温度依存性を低減する更に別の方法としては、AWG チップの入力側または出力側のスラブ導波路を分断し、分断したチップを金属板で接合して、金属板の熱伸縮により分断したスラブ導波路の相対位置を変化させることにより、アレイ導波路の光路長差の温度変化と相殺させる方法がある。

【0011】

このような AWG において、第 1 の入出力導波路 3401 の第 1 のスラブ導波路 3402 との接続界面に励起されている光電界と、第 2 の入出力導波路 3405 の第 2 のスラブ導波路 3404 との接続界面に励起される光電界のパワーオーバーラップ積分が透過スペクトルとなる。通常、これらの光電界は基底モードのみが励起されており、透過スペクトル波形はガウス関数形状となる。しかし、第 1 の入出力導波路 3401 あるいは第 2 の入

10

20

30

40

50

出力導波路 3405 の、第 1 のスラブ導波路 3402 あるいは第 2 のスラブ導波路 3404 への接続部分にパラボラテーパ導波路を設けることにより、透過波形を平坦化し帯域を拡大する方法が開発されている。この方法について詳しくは、特許文献 3 に開示されている。

【0012】

【特許文献 1】国際公開特許 WO 98 / 36299 号パンフレット

【特許文献 2】特許第 3498650 号明細書

【特許文献 3】特許第 3112246 号明細書

【非特許文献 1】J.B.D.Sooile, et, al., "Athermalisation of silica arrayed waveguide grating multiplexers", ELECTRONICS LETTERS, Vol.39, pp.1182-1184, 2003.

【非特許文献 2】Z. Zhang, et, al., "Planar waveguide-based silica-polymer hybrid variable optical attenuator and its associated polymers", APPLIED OPTICS, Vol.44, pp.2402-2408, 2005.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

上述の設計によるアサーマル AWG は、透過中心波長の温度依存性を完全に補償できるわけではない。これは、石英ガラス導波路や温度補償材料の実効屈折率温度係数、あるいは金属の熱膨張係数には、1 次のみならず 2 次の成分が存在し、1 次と 2 次の成分比は、一般には材料により異なるためである。石英ガラス導波路の場合、 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 T$ 、 $\alpha_1 = 1.0 \times 10^{-5}$ 、 $\alpha_2 = 1.9 \times 10^{-8}$ 程度 (T の単位は $^{\circ}\text{C}$) である。シリコン樹脂の場合、 $\alpha' = \alpha'_1 + \alpha'_2 T$ 、 $\alpha'_1 = -3.5 \times 10^{-4}$ 、 $\alpha'_2 = 1.5 \times 10^{-7}$ 程度である。従来のアサーマル AWG においては、使用温度領域の中央の温度において、主要な成分である、この 1 次の温度依存性が補償されるよう設計がなされている。2 次の係数は 1 次の係数に比較して微小ではあるが、使用温度領域全体では僅かな温度依存性が在留する。

【0014】

ここで、図 34 のアサーマル AWG を例として、導波路の比屈折率差 (Δ) 1.5%、コア厚 4.5 μm 、第 1 の入出力導波路 3401、アレイ導波路 3403、および第 2 入出力導波路 3405 のコア幅は 4.5 μm であり、波長チャネル数 32、チャネル波長間隔 0.8 nm (100 GHz)、温度補償材料はシリコン樹脂とする。このときアレイ導波路の本数は 130 本、 ΔL は 42.4 μm である。ここで溝 3406 に充填された温度補償材料により与えられるべき経路長差 $\Delta L'$ は、 $\Delta L' = \Delta L / (1 - \alpha' / \alpha) = \Delta L / (1 - (\alpha'_1 + \alpha'_2 T) / (\alpha_1 + \alpha_2 T))$ となる。ここで使用温度領域は $T = -40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ であるとし、中央の $T = 20^{\circ}\text{C}$ での条件を考えると、 $\Delta L' = 1.18 \mu\text{m}$ となる。このアサーマル AWG の中央波長チャネルにおける、透過中心波長の相対的な温度依存性を図 36 に示す。図からわかるように、 $T = 20^{\circ}\text{C}$ を最小として、2 次関数的な微小波長変動が残留している。使用温度領域 $T = -40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ においては、この波長変動幅は 0.07 nm となり、波長チャネル間隔の 9% にも達する。

【0015】

このように、従来技術によるアサーマル AWG においては、透過中心波長の温度依存性が僅かながら残留していた。このため、透過中心波長の精度を求められ狭波長チャネル間隔、あるいは使用温度領域の広い光波長合分波回路においては、場合によっては伝送システムの要求性能を満足できないという課題があった。

【0016】

本発明は、かかる問題を鑑みてなされたものであり、その目的は、アサーマル AWG において残留する透過中心波長の微小な温度変化を補償し、全使用温度領域において透過中心波長精度に優れた、あるいは使用可能温度領域が比較的広い、光波長合分波回路を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上記の課題を解消するために、本発明による光波長合分波回路は、コアおよびクラッドからなる導波路により構成されるアレイ導波路回折格子を備える光波長合分波回路であって、上記アレイ導波路回折格子が、所定の光路長差で順次長くなる導波路からなるアレイ導波路と、上記アレイ導波路の両端部に接続された第1および第2のスラブ導波路と、透過波長における主要な温度依存性を補償する温度補償手段とを備える光波長合分波回路において、第1の入出力導波路と、上記第1の入出力導波路に接続され、上記第1の入出力導波路から入力される基本モード光の一部を1次モード光に変換する1次モード光励起機構と、上記1次モード光励起機構に接続され、少なくとも基本および1次モード光が伝播可能であり、直接あるいはテーパ導波路を介して上記第1のスラブ導波路に接続されるマルチモード導波路であって、上記マルチモード導波路の少なくとも一部分のコア側面または上面またはその両方のクラッドが上記マルチモード導波路と異なる屈折率温度係数を有する材料に置き換えられるマルチモード導波路とを備え、上記マルチモード導波路あるいは上記テーパ導波路の上記第1のスラブ導波路への接続部における基本モード光と1次モード光との合成光フィールドの温度変位により、上記アレイ導波路回折格子の透過波長の残留する温度依存性の一部または全部が補償されていることを特徴とする。

10

【0018】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記マルチモード導波路は、上記マルチモード導波路の少なくとも一部分のコア側面に接する溝が形成され、当該溝に上記マルチモード導波路のコア材料の屈折率温度係数と異なる屈折率温度係数を有する材料を挿入することにより生成されるものとしてもよい。

20

【0019】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記1次モード光励起機構は、導波路の中心軸をずらして接続する導波路オフセットであるものとしてもよい。

【0020】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記マルチモード導波路と上記第1のスラブ導波路が、直線テーパ導波路により接続されるものとしてもよい。

【0021】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記マルチモード導波路と上記第1のスラブ導波路が、パラボラ形状等の2次モード光を励起するテーパ導波路により接続されるものとしてもよい。

30

【0022】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記第2のスラブ導波路に接続される第2の入出力導波路を備え、上記第2の入出力導波路と上記第2のスラブ導波路が、パラボラ形状等の2次モード光を励起するテーパ導波路により接続されるものとしてもよい。

【0023】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記導波路は、石英系ガラスから構成され、上記溝に挿入する材料は、シリコーン樹脂、エポキシ樹脂、フッ素樹脂等の光学樹脂であるものとしてもよい。

【0024】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記温度補償手段は、上記アレイ導波路および上記第1および第2のスラブ導波路の少なくともいずれか1つに、光波の進行方向に交差して導波路を分断する溝を形成し、上記溝に上記導波路の実効屈折率の温度係数と異なる屈折率温度係数を有する材料を挿入することにより形成される手段であるものとしてもよい。

40

【0025】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記アレイ導波路および上記第1および第2のスラブ導波路の少なくともいずれか1つに形成された溝に挿入する材料と、上記マルチモード導波路の少なくとも一部分のコアに接する溝に挿入する材料とが同一であるものとしてもよい。

50

【0026】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記温度補償手段は、回路に沿って弧状に切断したチップの両端をつなぐ金属棒を接合し、金属棒の熱伸縮によりチップを変形させ、上記アレイ導波路の光路長差の温度変化と相殺させる手段であるものとしてもよい。

【0027】

また、本発明による光波長合分波回路は、上記温度補償手段は、上記第1あるいは第2のスラブ導波路を分断し、分断したチップを金属板で接合して、金属板の熱伸縮により分断されたスラブ導波路の相対位置を変化させることによりアレイ導波路の光路長差の温度変化による光路の変化と相殺させる手段であるものとしてもよい。

【発明の効果】

10

【0028】

以上のように、本発明によれば、アサーマルAWGタイプの光波長合分波回路において、残留する透過中心波長の高次の温度依存性を補償することができ、全使用温度領域において透過中心波長精度に優れた、あるいは使用可能温度領域が広い光波長合分波回路を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

従来技術によるアサーマルAWGにおいては、通常、第1の入出力導波路には基底モード光のみが伝播し、第1のスラブ導波路の接続部に励起される光フィールドの光強度ピーク位置は、温度によっても波長によっても変化しない。ここで、上述の光フィールドに特定の強度比で1次モード光が混在している場合、基底モード光と1次モード光の位相差により光フィールドの光強度ピーク位置は振動的に移動し、また、その振動振幅は両モード光の強度比により変化する。一方、第1の入出力導波路と第1のスラブ導波路との接続部における光フィールドの光強度ピーク位置移動は、AWGにおいて透過中心波長の変化となる。従って、第1の入出力導波路において、適当な機構により所定の強度比の1次モード光を励起し、該1次モード光と基底モード光の位相差を温度により変化させることができれば、従来技術によるアサーマルAWGにおいて、更に透過中心波長の温度による変化を生じさせることが可能である。

20

【0030】

以上の考察を踏まえ、以下、本発明の実施形態について、具体的に説明する。

30

まず、本発明の実施形態にかかる光波長合分波回路の構成概念図を図1に示す。

図1において、光波長合分波回路100は、第1のスラブ導波路102と、アレイ導波路103と、第2のスラブ導波路104と、第2の入出力導波路105とを備える。第1のスラブ導波路102から第2の入出力導波路105までの構成は、従来技術によるアサーマルAWGと同様であり、従来の温度補償手段により透過中心波長の1次の温度依存性が補償されている。本発明の実施形態において、光波長合分波回路100は、第1の入出力導波路101と、1次モード光励起機構106と、マルチモード導波路107とをさらに備える。

【0031】

図2は、図1の構成概念図において、第1の入出力導波路101から第1のスラブ導波路102の部分拡大した図である。各符号の説明は図1と同様である。ここで、1次モード光励起機構106は、第1の入出力導波路101から入力する基底モード光のうち、ある一定割合のパワーを1次モード光に変換する機構を有する。基底モード光および励起された1次モード光は、マルチモード導波路107に入力され、それぞれのモードの実効屈折率に従い伝播するので、合成光フィールドは蛇行しながら伝播する。第1のスラブ導波路102との接続部に達したときの基底モード光と1次モード光の位相差は、マルチモード導波路107の全長と、それぞれのモードの実効屈折率の差分と、伝播する光波の波長により決定される。

40

【0032】

本発明の光波長合分波回路では、マルチモード導波路107において、基底モード光と

50

1次モード光に対する実効屈折率の差分が温度により変動する機構を有する。ここで光波長合分波回路の使用温度 T を $T_C - \Delta T$ から $T_C + \Delta T$ とする。 T_C は使用温度領域の中央温度、領域の全幅は $2\Delta T$ である。また、温度 T における上記実効屈折率の差分を $\Delta n(T)$ とし、マルチモード導波路107の全長を L とする。1次モード光励起機構106において励起された1次モード光と基底モード光の位相差を ϕ_0 とすると、両モード光がマルチモード導波路107を伝播して第1のスラブ導波路102との接続部に達したときの位相差 ϕ は、

$$[\text{数2}] \quad \phi = \phi_0 + 2\pi \Delta n(T) L / \lambda$$

と表される。

【0033】

図3は、温度 T に対する $\Delta n(T)$ の温度変化の例を示している。ここで $\Delta n(T)$ は、使用温度領域において、 $\Delta n(T_C) - 0.5\lambda_C / L$ から $\Delta n(T_C) + 0.5\lambda_C / L$ に至る直線的な変化が与えられる。ここで λ_C は、[数1]にあるAWGの透過中心波長である。このときマルチモード導波路107の長さ L は、温度 $T = T_C$ において、蛇行しながら伝播する波長 λ_C 光フィールドの光強度ピークが第1のスラブ導波路102との接続点において、光波の進行方向に向かい最も右側になるよう設定されている。温度 $T = T_C$ における該光フィールドの光強度ピークの軌跡を図2上の曲線 S に示し、第1のスラブ導波路102への入射位置を点 Q に示す。温度が T_C から変化すると、実効屈折率差 $\Delta n(T)$ は、図3のように変化する。[数2]から、 $T = T_C - \Delta T$ における1次モード光と基底モード光の位相差 ϕ は、 $T = T_C$ のときに比較して π ラジアン (180度) 小さい。従って、マルチモード導波路107を蛇行しながら伝播する光フィールドの光強度ピークの軌跡は、図2上の線 R に示すように、 $T = T_C$ のときより周期が長く逆相となり、第1のスラブ導波路102との接続点においては、光波の進行方向に向かい最も左側にピークが位置することになる。これは図2上点 P で示されている。

【0034】

また、 $T = T_C + \Delta T$ において位相差 ϕ は、 $T = T_C$ のときと比較して π ラジアン (180度) 大きい。従って、マルチモード導波路107を蛇行しながら伝播する光フィールドの光強度ピークの軌跡は、図2上の線 T に示すように、 $T = T_C$ のときより周期が短く逆相となり、第1のスラブ導波路102との接続点においては、やはり光波の進行方向に向かい最も左側にピークが位置することになる。このような、第1のスラブ導波路102に入射する光フィールドの光強度ピーク位置の温度変動は、AWGにおいては透過中心波長の温度変動となる。上述の変動の場合、 $T = T_C$ すなわちピークが点 Q にあるときに透過中心波長は、最も長波長となり、 $T = T_C - \Delta T$ および $T_C + \Delta T$ すなわちピークが点 P にあるときに最も短波長となる。

【0035】

図4は、このAWGにおける透過中心波長の温度変動を、温度を横軸として表した図である。線 X は図2、3で説明した光フィールドのピーク位置変動による透過中心波長変動を示しており、その挙動は正弦関数的である。また線 Y には、従来技術によるアサーマルAWGにおいて僅かに残留する透過中心波長の高次の温度依存性を示している。これらにおいては、温度 $T = T_C$ での値をゼロとした相対的な透過中心波長を示している。本発明の光波長合分波回路において、AWG回路全体の透過中心波長の温度依存性は、上述の2種類の温度依存性を足し合わせたものとなる。合成された透過中心波長の温度依存性については、線 Z に示す。図4より、本発明の波長合分波回路においては、従来技術によるアサーマルAWGにおいて残留していた透過中心波長の高次の温度依存性を補償し、使用温度領域での透過中心波長変動がより小さいことが分かる。ここで、光フィールドの光強度ピーク位置変動による透過波長変動の幅 (振幅) $\delta\lambda$ は、1次モード光励起機構106において生成される1次モード光の基底モード光との強度比により決定される。上記 $\delta\lambda$ を、従来技術によるアサーマルAWGにおける透過中心波長の高次の温度変動の幅に等しくなるようにすれば、本発明の波長合分波回路における透過中心波長の温度依存性は、最も抑制される。

10

20

30

40

50

【0036】

ここで、マルチモード導波路107の幅は、少なくとも1次モード光までは伝播可能である程度までは広く、2次モード光は伝播できない、すなわち2次モードの実効屈折率が存在しない程度の幅であることが好ましい。これは、2次以上の高次モード光の発生が、本発明の波長合分波回路において、透過波形の劣化、クロストークの劣化、損失の増大を招く可能性があるからである。

【0037】

基底モード光と1次モード光の実効屈折率差が温度により変動する機構を有するマルチモード導波路を実現する構成としては、マルチモード導波路のクラッドの一部または全部を導波路コアとは屈折率温度係数の異なる材料で置き換える構成が考えられる。ただし導波路に光波を伝播させるために、クラッドを置き換える材料は、使用温度範囲でコアよりも屈折率が低い材料であることが必要である。この構成により導波路への光の閉じ込めが温度により変化するため、基底モード光と1次モード光の実効屈折率差も温度変動する。さらに具体的な構成としては、導波路コア両側面に接するように溝を形成し、光学樹脂等を挿入する構成が考えられる。このような構成は、[非特許文献2]において開示されており、従来のアサーマルAWGから工程を何ら変えることなく、同時に作製できるという点で優れている。また温度補償材料として、AWGの温度補償手段に使用されているものと同材料を使用するならば、新規の材料を付加することなく作製できるという点でも好ましい。

【0038】

また、1次モード光励起機構を実現する具体的な構成としては、各導波路コアの中心軸をずらして接続した導波路オフセットが、最も簡易な構成として挙げられる。コアが不連続に接続する部位において1次モード光が励起され、その強度は、中心軸をずらす量により調整することができる。この構成は、従来のアサーマルAWGからほとんど回路サイズ増大なく実現できる点で好ましい。また従来のアサーマルAWGから工程を何ら変えることなく作製できるという点でも好ましい。

【0039】

[第1の実施形態]

本発明の第1の実施形態に係る光波長合分波回路について説明する。図5は、本実施形態におけるアサーマルAWG500の構成を示す平面図である。光波長合分波回路500は、第1の入出力導波路501と、第1のスラブ導波路502と、アレイ導波路503と、第2のスラブ導波路504と、第2の入出力導波路505と、1次モード光励起機構である導波路オフセット506と、マルチモード導波路507と、直線テーパ導波路509と、マルチモード導波路507の導波路コア側面に接するように形成された溝508と、第2のスラブ導波路504に形成された溝510とを備え、溝508、510には温度補償材料が充填されている。

【0040】

図5において、 i 番目のアレイ導波路の長さ L_i は、 $L_i = L_1 + (i - 1) \cdot \Delta L$ と表され、一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。これに応じて、各アレイ導波路を通過し、中央の波長チャネルを通過する光波が、第2のスラブ導波路504において溝510により分断される長さ L_i' は、 $L_i' = L_1' + (i - 1) \Delta L'$ と表され、 ΔL に比例した量 $\Delta L'$ ずつ順次長くなるような形状をしている。このアサーマルAWGは、導波路の Δ が1.5%、コア厚 $4.5 \mu\text{m}$ 、実効屈折率温度係数 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5} + 1.9 \times 10^{-8} \times T$ 、第1の入出力導波路501、アレイ導波路503、および第2の入出力導波路505のコア幅は $4.5 \mu\text{m}$ であり、波長チャネル数32、中央の波長チャネルの透過波長 $1544.53 \mu\text{m}$ (194.1THz)、波長チャネル間隔 0.8 nm (100GHz)、温度補償材料はシリコン樹脂 (屈折率温度係数 $\alpha' = -3.5 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-7} \times T$) である。このときアレイ導波路の本数は130本、 ΔL は $42.4 \mu\text{m}$ である。ここで溝510に充填された温度補償材料により与えられる経路長差 $\Delta L'$ は、 $T = 20^\circ\text{C}$ として、 $\Delta L' = \Delta L / (1 - \alpha' / \alpha) = 1.18 \mu\text{m}$

と設計されており、透過中心波長の1次の温度依存性が補償されている。また、第1のスラブ導波路502、および第2のスラブ導波路504の長さは6100 μm であり、第2の入出力導波路505は、第2のスラブ導波路504に接続する部分において15 μm 間隔で波長チャネル数すなわち32本配置されている。

【0041】

図6は、図5のアサーマルAWGにおける導波路オフセット506からマルチモード導波路507近傍を拡大した図である。各符号の説明は図5と同様である。本実施形態においてマルチモード導波路507は、直線テーパ導波路509を介して第1のスラブ導波路502に接続されている。マルチモード導波路507の導波路幅は8 μm であり、直線テーパ導波路509の導波路幅は、第1のスラブ導波路502に接続する部分で11.5 μm である。ただし、この直線テーパ導波路の開口幅を変えることで、本光波長合分波回路の透過帯域幅を調整することも可能である。ここで、導波路オフセット506においては、直線テーパによりマルチモード導波路507と同等までコア幅を拡大し、導波路コアの中心軸を0.6 μm ずらしてマルチモード導波路507に接続しており、この不連続なコアの接続において、基底モード光の4%程度の強度の1次モード光が励起される。

【0042】

また、図7は図6における線分BB'における断面構造を示す図である。線分BB'における断面構造には、シリコン基板511、導波路コア512、クラッド513、および溝508が含まれる。溝508は、マルチモード導波路507における導波路コア側面に接するように、コア下面より深いところまでクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料が挿入されている。また、マルチモード導波路507における、導波路側面に溝が形成された部分の長さは2500 μm としている。

【0043】

図8は、本実施形態におけるマルチモード導波路507の側面に温度補償材料が接した部分での基底モード光と1次モード光の実効屈折率差 $\Delta n(T)$ の温度変化を示すグラフである。ここで、本実施形態の光波長合分波回路の使用温度領域は $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ としている。使用温度領域において、 $\Delta n(T)$ は、0.0053から0.0057まで変化する。これにより、マルチモード導波路507を伝播する基底モード光と1次モード光の位相差は、およそ 2π 変化する。

【0044】

図9は、図8の実効屈折率差の温度変化がある場合の直線テーパ509の第1のスラブ導波路502との接続部分において、光フィールド分布の温度変化を示すグラフである。ここでグラフの横軸pは、図6に示すように、直線テーパ509の中心を原点とした相対位置である。図9には、温度 -40 、 20 、 80°C での光フィールド分布が示されている。使用温度領域において、基底モード光と1次モード光の位相差変化に伴い、光波フィールドのピーク位置が負から正に変化し更に負に変化する様子が確認できる。

【0045】

図10は、本実施形態の光波長合分波回路における透過中心波長の温度変動を説明するグラフである。線Xは、直線テーパ509の第1のスラブ導波路502との接続部分において光フィールドのピーク位置が変動することによる、透過中心波長の変動を示している。また、線Yは、第1のスラブ導波路502から第2の入出力導波路505に至る1次の温度依存性が補償されたAWGにおいて残留している透過中心波長の高次の温度依存性を示している。本実施形態の光波長合分波回路において、AWG回路全体の透過中心波長の温度依存性は、上述の2種類の温度依存性を足し合わせたものとなる。合成された透過中心波長の温度依存性については、線Zに示す。図10によれば、本実施形態の波長合分波回路においては、従来技術によるアサーマルAWGにおいて $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ の範囲で0.072 nm残留していた透過中心波長の高次の温度変動を補償し、その変動量を0.038 nmまで低減できることが分かる。

【0046】

本実施形態においては、図6に示すように、マルチモード導波路507の側面に溝50

8を形成し、温度補償材料を充填したが、溝の構造はこの構成に限定されない。図11は、別構成におけるマルチモード導波路507近傍を拡大した図であり、図12は、図11における線分CC'の断面構造を示した図である。各符号の説明は図6、7と同様である。図11、12の構成において、溝508は、マルチモード導波路507の導波路コア上面に接するようにコア上面の位置までクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料が挿入されている。ここで、マルチモード導波路507における、導波路上面に溝508が形成された部分の長さは5700 μm としている。図11、12の構成は、図6、7の構成に比較して加工する溝508が浅いので、より加工精度に優れるという利点を有する。

【0047】

また、図13は、更に別構成におけるマルチモード導波路507近傍を拡大した図であり、図14は、図13における線分DD'の断面構造を示した図である。各符号の説明は図6、7と同様である。図13、14の構成において、溝508は、マルチモード導波路507の導波路コア上面および側面に接するように、コア上部のクラッドを除去するとともに、コア下面より深い位置までコア側面のクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料が挿入されている。ここで、マルチモード導波路507における導波路上面および側面に溝508が形成された部分の長さは1300 μm としている。図13、14の構成は、図6、7の構成に比較してマルチモード導波路の長さを短く設計できるので、より回路サイズを小さくできるという利点を有する。

【0048】

[第2の実施形態]

本発明の第2の実施形態に係る光波長合分波回路について説明する。図17は、本実施形態におけるアサーマルAWG1500の構成を示す平面図である。図17において、アサーマルAWG1500は、第1の入出力導波路1501と、第1のスラブ導波路1502と、アレイ導波路1503と、第2のスラブ導波路1504と、第2の入出力導波路1505と、1次モード光励起機構である導波路オフセット1506と、マルチモード導波路1507と、直線テーパ導波路1509と、マルチモード導波路1507の導波路コア側面に接するように形成された溝1508と、金属棒1510とを備える。溝1508には温度補償材料が充填されている。本実施形態のアサーマルAWGのチップは、AWGの回路に沿って弧状に切断されている。また、金属棒1510の両端は、弧状のAWGチップの両端付近に接合されている。また、金属の材質は本実施形態においてはアルミである。

【0049】

図15において、アレイ導波路1503は、一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。このアサーマルAWGは、導波路の Δ が1.5%、コア厚4.5 μm 、実効屈折率温度係数 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5} + 1.9 \times 10^{-8} \times T$ 、第1の入出力導波路1501、アレイ導波路1503、および第2の入出力導波路1505のコア幅は4.5 μm であり、波長チャンネル数32、中央の波長チャンネルの透過波長1544.53 μm (194.1THz)、波長チャンネル間隔0.8nm(100GHz)である。このときアレイ導波路の本数は130本、 ΔL は42.4 μm である。また、第1のスラブ導波路1502、および第2のスラブ導波路1504の長さは、6100 μm であり、第2の入出力導波路1505は、第2のスラブ導波路1504に接続する部分において15 μm 間隔で波長チャンネル数すなわち32本配置されている。ここで金属棒1510は、材質の熱膨張係数に従い温度により伸縮する。このとき接合されたAWGチップも形状が変化するが、高温では伸張する金属棒により ΔL が小さくなるように変形し、低温では収縮する金属棒により ΔL が大きくなるように変形する。従って、金属棒の長さを適切に設定することにより、隣接するアレイ導波路の光路長差(導波路の実効屈折率と ΔL の積)における温度変動を抑制し、透過中心波長の1次の温度依存性が補償されている。

【0050】

図16は、図15のアサーマルAWGにおける導波路オフセット1506からマルチモード導波路1507近傍を拡大した図である。各符号の説明は図15と同様である。本実

施形態において、マルチモード導波路1507は、直線テーパー導波路1509を介して第1のスラブ導波路1502に接続されている。マルチモード導波路1507の導波路幅は $8\mu\text{m}$ であり、直線テーパー導波路1509の導波路幅は、第1のスラブ導波路1502に接続する部分で $11.5\mu\text{m}$ である。ここで、導波路オフセット1506においては、直線テーパーによりマルチモード導波路1507と同等までコア幅を拡大し、導波路コアの中心軸を $0.5\mu\text{m}$ ずらしてマルチモード導波路1507に接続しており、この不連続なコアの接続において、基底モード光の3%程度の強度の1次モード光が励起される。また溝1508は、マルチモード導波路1507における導波路コア側面に接するように、コア下面より深いところまでクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料であるシリコーン樹脂（屈折率温度係数 $\alpha' = -3.5 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-7} \times T$ ）が挿入されている。ここで、マルチモード導波路1507における導波路側面に溝が形成された部分の長さは、 $2200\mu\text{m}$ としている。

【0051】

本実施形態におけるマルチモード導波路1507の側面に温度補償材料が接した部分での基底モード光と1次モード光の実効屈折率差の温度変化は、図8と同様となる。ここで本実施形態の光波長合分波回路の使用温度領域は $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ としている。使用温度領域において、実効屈折率差は 0.0053 から 0.0057 まで変化する。これにより、マルチモード導波路1507を伝播する基底モード光と1次モード光の位相差はおよそ 2π 変化することになる。この位相変化に伴い、直線テーパー1509と第1のスラブ導波路1502の接続部において、図9と同様な光フィールドの温度変化が生じる。

【0052】

図17は、本実施形態のアサーマルAWGにおける透過中心波長の温度変動を説明するグラフである。線Xは、光フィールドのピーク位置変動による透過中心波長の温度変動を示している。また、線Yは、金属棒1510の熱伸縮により1次の温度依存性が補償されたAWGにおいて残留している透過中心波長の高次の温度依存性を示している。AWG回路全体の透過中心波長の温度依存性は、線Zに示す。本実施形態の波長合分波回路においては、 $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ の範囲で透過中心波長の温度変動量は 0.026nm であり、従来技術によるアサーマルAWGにおいて残留していた透過中心波長の高次の温度変動が補償され、低減されていることが分かる。

【0053】

[第3の実施形態]

本発明の第3の実施形態に係る光波長合分波回路について説明する。図18は、本実施形態におけるアサーマルAWG1800の構成を示す平面図である。アサーマルAWG1800は、第1の入出力導波路1801と、第1のスラブ導波路1802と、アレイ導波路1803と、第2のスラブ導波路1804と、第2の入出力導波路1805と、1次モード光励起機構である導波路オフセット1806と、マルチモード導波路1807と、直線テーパー導波路1809と、マルチモード導波路1807の導波路コア側面に接するように形成された溝1808と、金属板1810とを備える。溝1808には、温度補償材料が充填されている。本実施形態のアサーマルAWGは、第1のスラブ導波路1802を分断するように2つのチップに切断されている。金属板1810は、切断された2つのチップのそれぞれに接合されている。また金属の材質は本実施形態においてはアルミである。

【0054】

図18において、アレイ導波路1803は一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。このアサーマルAWGは、導波路の Δ が 1.5% 、コア厚 $4.5\mu\text{m}$ 、実効屈折率温度係数 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5} + 1.9 \times 10^{-8} \times T$ 、第1の入出力導波路1801、アレイ導波路1803、および第2の入出力導波路1805のコア幅は $4.5\mu\text{m}$ であり、波長チャネル数32、中央の波長チャネルの透過波長 $1544.53\mu\text{m}$ （ 194.1THz ）、波長チャネル間隔 0.8nm （ 100GHz ）である。このときアレイ導波路の本数は130本、 ΔL は $42.4\mu\text{m}$ である。また、第1のスラブ導波路1802、および第2のスラブ導波路1804の長さは $6100\mu\text{m}$ であり、第2の入出力導波路18

05は、第2のスラブ導波路1804に接続する部分において15 μ m間隔で波長チャネル数すなわち32本配置されている。ここで、金属板1810は、材質の熱膨張係数に従い温度により伸縮する。このとき接合された2つのチップの相対位置が変化するが、アレ導波路1803のあるチップを基準として第1の入出力導波路1801側のチップは、高温では伸張する金属板1810により図面上方に移動し、低温では収縮する金属板1810により図面下方に移動する。従って、金属板の長さを適切に設定することによりアレ導波路1803における光路長差の温度変動を補償するように、この第1の入出力導波路1801側のチップの位置変化を生じさせることが可能であり、この構造によりAWGにおける透過中心波長の1次の温度依存性が補償されている。

【0055】

図19は、図18のアサーマルAWGにおける導波路オフセット1806からマルチモード導波路1807近傍を拡大した図である。各符号の説明は図18と同様である。本実施形態において、マルチモード導波路1807は、直線テーパ導波路1809を介して第1のスラブ導波路1802に接続されている。マルチモード導波路1807の導波路幅は8 μ mであり、直線テーパ導波路1809の導波路幅は、第1のスラブ導波路1802に接続する部分で11.5 μ mである。ここで、導波路オフセット1806においては、直線テーパによりマルチモード導波路1807と同等までコア幅を拡大し、導波路コアの中心軸を0.5 μ mずらしてマルチモード導波路1807に接続しており、この不連続なコアの接続において、基底モード光の3%程度の強度の1次モード光が励起される。また、溝1808は、マルチモード導波路1807における導波路コア側面に接するように、コア下面より深いところまでクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料であるシリコーン樹脂（屈折率温度係数 $\alpha' = -3.5 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-7} \times T$ ）が挿入されている。ここで、マルチモード導波路1807における導波路側面に溝1808が形成された部分の長さは2200 μ mとしている。

【0056】

本実施形態におけるマルチモード導波路1807の側面に温度補償材料が接した部分での基底モード光と1次モード光の実効屈折率差の温度変化は、図8と同様となる。ここで本実施形態の光波長合分波回路の使用温度領域は、 $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ としている。使用温度領域において、実効屈折率差は0.0053から0.0057まで変化する。これにより、マルチモード導波路1807を伝播する基底モード光と1次モード光の位相差は、およそ 2π 変化することになる。この位相変化に伴い、直線テーパ1809と第1のスラブ導波路1802の接続部において、図9と同様な光フィールドの温度変化が生じる。

【0057】

図20は、本実施形態のアサーマルAWGにおける透過中心波長の温度変動を説明するグラフである。線Xは、光フィールドのピーク位置変動による透過中心波長の温度変動を示している。また、線Yは、金属棒1810の熱伸縮により1次の温度依存性が補償されたAWGにおいて残留している透過中心波長の高次の温度依存性を示している。AWG回路全体の透過中心波長の温度依存性は、線Zに示す。本実施形態の波長合分波回路において、 $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ の範囲で透過中心波長の温度変動量は0.026nmであり、従来技術によるアサーマルAWGにおいて残留していた透過中心波長の高次の温度変動が補償され、低減されていることが分かる。

【0058】

[第4の実施形態]

本発明の第4の実施形態に係る光波長合分波回路について説明する。図21は、本実施形態におけるアサーマルAWG2100の構成を示す平面図である。アサーマルAWG2100は、第1の入出力導波路2101と、第1のスラブ導波路2102と、アレ導波路2103と、第2のスラブ導波路2104と、第2の入出力導波路2105と、1次モード光励起機構である導波路オフセット2106と、マルチモード導波路2107と、パラボラ形状のテーパ導波路2109と、マルチモード導波路2107の導波路コア側面に接するように形成された溝2108と、第2のスラブ導波路2104に形成された溝21

10とを備え、溝2108、2110には温度補償材料が充填されている。

【0059】

アレイ導波路2103の長さは、一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。これに応じて、各アレイ導波路を通過し、中央の波長チャネルを通過する光波が、第2のスラブ導波路2104において溝2110により分断される長さは、 ΔL に比例した量 $\Delta L'$ ずつ順次長くなるような形状をしている。このアサーマルAWGは、導波路の Δ が1.5%、コア厚4.5 μm 、実効屈折率温度係数 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5} + 1.9 \times 10^{-8} \times T$ 、第1の入出力導波路2101、アレイ導波路2103、および第2の入出力導波路2105のコア幅は4.5 μm であり、波長チャネル数32、中央の波長チャネルの透過波長1544.53 μm (194.1THz)、波長チャネル間隔0.8nm (100GHz)、温度補償材料はシリコン樹脂 (屈折率温度係数 $\alpha' = -3.5 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-7} \times T$) である。このときアレイ導波路の本数は150本、 ΔL は42.4 μm である。ここで、溝2112に充填された温度補償材料により与えられる経路長差 $\Delta L'$ は、 $T = 20^\circ\text{C}$ として、 $\Delta L' = \Delta L / (1 - \alpha' / \alpha) = 1.18 \mu\text{m}$ と設計されており、透過中心波長の1次の温度依存性が補償されている。また、第1のスラブ導波路2102、および第2のスラブ導波路2104の長さは、7300 μm であり、第2の入出力導波路2105は、第2のスラブ導波路2104に接続する部分において18 μm 間隔で波長チャネル数すなわち32本配置されている。

【0060】

図22は、図21のアサーマルAWGにおける導波路オフセット2106からマルチモード導波路2107近傍を拡大した図である。各符号の説明は、図21と同様である。本実施形態において、マルチモード導波路2107は、パラボラ形状のテーパ導波路2109を介して第1のスラブ導波路2102に接続されている。マルチモード導波路2107の導波路幅は8 μm であり、パラボラ形状テーパ導波路2109の導波路幅は、第1のスラブ導波路2102に接続する部分で16 μm である。ここで、導波路オフセット2106においては、直線テーパによりマルチモード導波路2107と同等までコア幅を拡大し、導波路コアの中心軸を0.6 μm ずらしてマルチモード導波路2107に接続しており、この不連続なコアの接続において、基底モード光の4%程度の強度の1次モード光が励起される。また、溝2108は、マルチモード導波路2107における導波路コア側面に接するように、コア下面より深いところまでクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料が挿入されている。ここで、マルチモード導波路2107における導波路側面に溝2108が形成された部分の長さは2500 μm としている。

【0061】

本実施形態におけるマルチモード導波路2107の側面に温度補償材料が接した部分での基底モード光と1次モード光の実効屈折率差の温度変化は、図8と同様となる。ここで本実施形態の光波長合分波回路の使用温度領域は、 $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ としている。使用温度領域において、実効屈折率差は0.0053から0.0057まで変化する。これにより、マルチモード導波路1507を伝播する基底モード光と1次モード光の位相差は、およそ 2π 変化することになる。図23は、図8と同様の実効屈折率差変化がある場合の、パラボラテーパ導波路2109の第1のスラブ導波路2102との接続部分における光フィールド分布の温度変化を示したグラフである。ここでグラフの横軸pは、図22に示すように、パラボラテーパ導波路2109の中心を原点とした相対位置である。図23には、温度 -40 、 20 、 80°C での光フィールド分布が示されている。マルチモード導波路2107からパラボラテーパ導波路2109に入力した基底モード光の一部は、2次モード光に変換され、パラボラテーパ導波路2109の終端では双峰状のフィールドとなる。このとき基底モード光と2次モード光のパワー比と位相差は、パラボラテーパ導波路2109の形状により決定され、その温度変化はほとんどない。一方、マルチモード導波路2107からパラボラテーパ導波路2109に入力した1次モード光は、そのまま1次モードとしてパラボラテーパ導波路2109の終端に達する。この1次モード光の影響により、パラボラテーパ導波路2109の終端での双峰状のフィールドは、非対称なフィールドと

なり、その非対称性は、基底および２次モード光と、１次モード光との位相差により決定される。図２３によれば、光フィールド分布は、使用温度領域において、基底および２次モード光と１次モード光の位相差変化に伴い、光波フィールド非対称性が変化し、光パワーの重心位置が負から正に変化し更に負に至るまで変化している。

【００６２】

図２４は、本実施形態のアサーマルＡＷＧにおける透過中心波長の温度変動を説明するグラフである。線Ｘは、光フィールドの重心変動による透過中心波長の温度変動を示している。また、線Ｙは、第１のスラブ導波路２１０２から第２の入出力導波路２１０５に至る１次の温度依存性が補償されたＡＷＧにおいて残留している透過中心波長の高次の温度依存性を示している。ＡＷＧ回路全体の透過中心波長の温度依存性は線Ｚに示す。

10

【００６３】

図２５は、本実施形態のアサーマルＡＷＧにおける温度－４０、２０、８０℃での透過波形を示すグラフである。パラボラテーパ導波路２１０９において、双峰状のフィールドが励起されることにより、透過帯域の広い波形が実現される。図２５によれば、透過波形の非対称性が変化しながら、透過中心波長の温度変動が抑制されている様子が確認できる。図２４、２５から、本実施形態の波長合分波回路においては、－４０～８０℃の範囲で透過中心波長の温度変動量は０．０４８ｎｍに抑制されており、透過帯域が広く、かつ従来技術によるアサーマルＡＷＧにおいて残留していた透過中心波長の高次の温度変動が補償されていることが分かる。

【００６４】

20

〔第５の実施形態〕

本発明の第５の実施形態に係る光波長合分波回路について説明する。図２６は、本実施形態におけるアサーマルＡＷＧ２６００の構成を示す平面図である。アサーマルＡＷＧ２６００は、第１の入出力導波路２６０１と、第１のスラブ導波路２６０２と、アレイ導波路２６０３と、第２のスラブ導波路２６０４と、第２の入出力導波路２６０５と、１次モード光励起機構である導波路オフセット２６０６と、マルチモード導波路２６０７と、直線テーパ導波路２６０９と、マルチモード導波路２６０７の導波路コア側面に接するように形成された溝２６０８と、第２のスラブ導波路２６０４に形成された溝２６１０とを備え、溝２６０８、２６１０には温度補償材料が充填されている。

【００６５】

30

アレイ導波路２６０３の長さは、一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。これに応じて、各アレイ導波路を通過し、中央の波長チャネルを通過する光波が、第２のスラブ導波路２６０４において溝２６１０により分断される長さは、 ΔL に比例した量 $\Delta L'$ ずつ順次長くなるような形状をしている。このアサーマルＡＷＧは、導波路の Δ が１．５％、コア厚４．５ μm 、実効屈折率温度係数 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5} + 1.9 \times 10^{-8} \times T$ 、第１の入出力導波路２６０１、アレイ導波路２６０３、および第２の入出力導波路２６０５のコア幅は４．５ μm であり、波長チャネル数３２、中央の波長チャネルの透過波長１５４４．５３ μm （１９４．１ＴＨｚ）、波長チャネル間隔０．８ｎｍ（１００ＧＨｚ）、温度補償材料はシリコン樹脂（屈折率温度係数 $\alpha' = -3.5 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-7} \times T$ ）である。このときアレイ導波路の本数は１５０本、 ΔL は４２．４ μm である。ここで溝２６１２に充填された温度補償材料により与えられる経路長差 $\Delta L'$ は、 $T = 20^\circ\text{C}$ として、 $\Delta L' = \Delta L / (1 - \alpha' / \alpha) = 1.18 \mu\text{m}$ と設計されており、透過中心波長の１次の温度依存性が補償されている。また、第１のスラブ導波路２６０２、および第２のスラブ導波路２６０４の長さは、７３００ μm であり、第２の入出力導波路２６０５は、第２のスラブ導波路２６０４に接続する部分において、１８ μm 間隔で波長チャネル数すなわち３２本配置されている。

40

【００６６】

図２７は、図２６のアサーマルＡＷＧにおける導波路オフセットからマルチモード導波路２６０７近傍を拡大した図である。各符号の説明は図２６と同様である。本実施形態においてマルチモード導波路２６０７は、直線テーパ導波路２６０９を介して第１のスラブ

50

導波路 2602 に接続されている。マルチモード導波路 2607 の導波路幅は $8\ \mu\text{m}$ であり、直線テーパ導波路 2609 の導波路幅は、第 1 のスラブ導波路 2602 に接続する部分で $11.5\ \mu\text{m}$ である。ここで、導波路オフセット 2606 においては、直線テーパによりマルチモード導波路 2607 と同等までコア幅を拡大し、導波路コアの中心軸を $0.6\ \mu\text{m}$ ずらしてマルチモード導波路 2607 に接続しており、この不連続なコアの接続において、基底モード光の 4% 程度の強度の 1 次モード光が励起される。また溝 2608 は、マルチモード導波路 2607 における導波路コア側面に接するように、コア下面より深いところまでクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料が挿入されている。ここで、マルチモード導波路 2607 における導波路側面に溝が形成された部分の長さは、 $2500\ \mu\text{m}$ としている。

10

【0067】

図 28 は、図 26 のアサーマル AWG における第 2 のスラブ導波路 2604 と第 2 の入出力導波路 2605 の接続部近傍を拡大した図である。各符号の説明は図 26 と同様である。ただし本実施形態において第 2 の入出力導波路 2605 は全て、パラボラ形状のテーパ導波路 2614 を介して第 2 のスラブ導波路 2604 に接続されている。パラボラテーパ導波路 2614 の導波路幅は、第 2 のスラブ導波路 2604 に接続する部分で $16\ \mu\text{m}$ である。パラボラテーパ導波路 2614 の終端において、基底モード光の一部は、2 次モード光に変換され、双峰状のフィールドとなる。このとき基底モード光と 2 次モード光のパワー比と位相差は、パラボラテーパ導波路 2614 の形状により決定され、その温度変化はほとんどない。また、パラボラテーパ導波路 2614 の形状が中心軸に対して対称であるので、一次モード光は励起されない。

20

【0068】

本実施形態におけるマルチモード導波路 2607 の側面に温度補償材料が接した部分での基底モード光と 1 次モード光の実効屈折率差の温度変化は、図 8 と同様となる。ここで本実施形態の光波長合分波回路の使用温度領域は $-40\sim 80\ ^\circ\text{C}$ としている。使用温度領域において、実効屈折率差は 0.0053 から 0.0057 まで変化する。これにより、マルチモード導波路 2607 を伝播する基底モード光と 1 次モード光の位相差は、およそ 2π 変化することになる。この位相変化に伴い、直線テーパ 2609 と第 1 のスラブ導波路 2602 の接続部において、図 9 と同様な光フィールドの温度変化が生じる。

【0069】

図 29 は、本実施形態のアサーマル AWG における透過中心波長の温度変動を説明するグラフである。線 X は、直線テーパ 2609 終端での光フィールドのピーク位置変動による透過中心波長の温度変動を示している。また、線 Y は、第 1 のスラブ導波路 2602 から第 2 の入出力導波路 2605 に至る 1 次の温度依存性が補償された AWG において残留している透過中心波長の高次の温度依存性を示している。AWG 回路全体の透過中心波長の温度依存性は線 Z に示す。

30

【0070】

図 30 は、本実施形態のアサーマル AWG における温度 -40 、 20 、 $80\ ^\circ\text{C}$ での透過波形を示すグラフである。パラボラテーパ導波路 2614 において、双峰状のフィールドが励起されることにより、透過帯域の広い波形が実現される。また、パラボラテーパ導波路 2614 において、1 次モード光は励起されないため、使用温度領域で透過波形はほぼ対称性を保持しながらも、透過中心波長の温度変動が抑制されている。図 29、30 から、本実施形態の波長合分波回路においては、 $-40\sim 80\ ^\circ\text{C}$ の範囲で透過中心波長の温度変動量は、 $0.038\ \text{nm}$ に抑制されており、透過帯域が広く、透過波形の変動がほとんどなく、かつ従来技術によるアサーマル AWG において残留していた透過中心波長の高次の温度変動が補償されていることが分かる。

40

【0071】

[第 6 の実施形態]

本発明の第 6 の実施形態に係る光波長合分波回路について説明する。図 31 は、本実施形態におけるアサーマル AWG 3100 の構成を示す平面図である。アサーマル AWG 3

50

100は、第1の入出力導波路3101と、第1のスラブ導波路3102と、アレイ導波路3103と、第2のスラブ導波路3104と、第2の入出力導波路3105と、1次モード光励起機構である導波路オフセット3106と、マルチモード導波路3107と、直線テーパ導波路3109と、マルチモード導波路3107の導波路コア側面に接するように形成された溝3108と、第2のスラブ導波路3104に形成された溝3110とを備え、溝3108、3110には温度補償材料が充填されている。

【0072】

アレイ導波路3103の長さは、一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。これに応じて、各アレイ導波路を通過し、中央の波長チャネルを通過する光波が、第2のスラブ導波路3104において溝3110により分断される長さは、 ΔL に比例した量 $\Delta L'$ ずつ順次長くなるような形状をしている。このアサーマルAWGは、導波路の Δ が1.5%、コア厚 $4.5\mu\text{m}$ 、実効屈折率温度係数 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5} + 1.9 \times 10^{-8} \times T$ 、第1の入出力導波路3101、アレイ導波路3103、および第2の入出力導波路3105のコア幅は $4.5\mu\text{m}$ であり、波長チャネル数32、中央の波長チャネルの透過波長 $1544.53\mu\text{m}$ (194.1THz)、波長チャネル間隔 0.8nm (100GHz)、温度補償材料はシリコン樹脂 (屈折率温度係数 $\alpha' = -3.5 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-7} \times T$) である。このときアレイ導波路の本数は150本、 ΔL は $42.4\mu\text{m}$ である。ここで、溝3108に充填された温度補償材料により与えられる経路長差 $\Delta L'$ は、 $T = 20^\circ\text{C}$ として、 $\Delta L' = \Delta L / (1 - \alpha' / \alpha) = 1.18\mu\text{m}$ と設計されており、透過中心波長の1次の温度依存性が補償されている。また、第1のスラブ導波路3102、および第2のスラブ導波路3104の長さは、 $7300\mu\text{m}$ であり、マルチモード導波路3107から第2の入出力導波路3105に至る入出力導波路は、第2のスラブ導波路3104に接続する部分において $18\mu\text{m}$ 間隔で波長チャネル数すなわち32本配置されている。

【0073】

図32は、図31のアサーマルAWGにおける第1の入出力導波路3101と第1のスラブ導波路3102との接続部近傍を拡大した図である。各符号の説明は、図31と同様である。ただし本実施形態において、第1の入出力導波路3101は、パラボラ形状のテーパ導波路3114を介して第1のスラブ導波路3102に接続されている。パラボラテーパ導波路3114の導波路幅は、第1のスラブ導波路3102に接続する部分で $16\mu\text{m}$ である。基底モード光の一部は、パラボラテーパ導波路3114の終端において2次モード光に変換され、双峰状のフィールドとなる。このとき基底モード光と2次モード光のパワー比と位相差は、パラボラテーパ導波路3114の形状により決定され、その温度変化はほとんどない。また、パラボラテーパ導波路3114の形状が中心軸に対して対称であるので、一次モード光は励起されない。

【0074】

図33は、図31のアサーマルAWGにおける導波路オフセット3106からマルチモード導波路3107近傍を拡大し、1チャネル分の構造を示す図である。各符号の説明は図31と同様である。本実施形態のアサーマルAWGでは、図33と同構造の入出力導波路が32並んでいる。ここで本実施形態において、マルチモード導波路3107は、直線テーパ導波路3109を介して第2のスラブ導波路3104に接続されている。マルチモード導波路3107の導波路幅は $8\mu\text{m}$ であり、直線テーパ導波路3109の導波路幅は、第2のスラブ導波路3104に接続する部分で $10\mu\text{m}$ である。ここで、導波路オフセット3106においては、直線テーパによってマルチモード導波路3107と同等までコア幅を拡大し、導波路コアの中心軸を $0.6\mu\text{m}$ ずらしてマルチモード導波路3107に接続しており、この不連続なコアの接続において、基底モード光の4%程度の強度の1次モード光が励起される。また溝3108は、マルチモード導波路3107における導波路コア側面に接するように、コア下面より深いところまでクラッドを除去することにより形成され、温度補償材料が挿入されている。ここで、マルチモード導波路3107における、導波路側面に溝3108が形成された部分の長さは $2500\mu\text{m}$ としている。

【0075】

本実施形態における、マルチモード導波路3107の側面に温度補償材料が接した部分での基底モード光と1次モード光の実効屈折率差の温度変化は、図8と同様となる。ここで本実施形態の光波長合分波回路の使用温度領域は、 $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ としている。使用温度領域において、実効屈折率差は0.0053から0.0057まで変化する。これにより、マルチモード導波路3107を伝播する基底モード光と1次モード光の位相差は、およそ 2π 変化することになる。この位相変化に伴い、直線テーパ3109と第2のスラブ導波路3104の接続部において、図9と同様な光フィールドの温度変化が生じる。

【0076】

本実施形態のアサーマルAWGにおける、透過中心波長の温度変動は、図29と同様である。本実施形態において、線Xは直線テーパ3109終端での光フィールドのピーク位置変動による透過中心波長の温度変動を示している。また、線Yは、第1の入出力導波路3101から第2のスラブ導波路3104に至る1次の温度依存性が補償されたAWGにおいて残留している透過中心波長の高次の温度依存性を示している。線Zは、AWG回路全体の透過中心波長の温度依存性を示す。本実施形態のアサーマルAWGにおける温度 -40 、 20 、 80°C での透過波形を示したグラフは、図30と同様である。第5の実施形態と同様に、パラボラテーパ導波路3114において双峰状のフィールドが励起されることにより、透過帯域の広い波形が実現される。またパラボラテーパ導波路3114において、1次モード光は励起されないため、使用温度領域で透過波形はほぼ対称性を保持しながらも、透過中心波長の温度変動が抑制されている。以上より、本実施形態の波長合分波回路においては、 $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ の範囲で透過中心波長の温度変動量は、 0.038 nm に抑制されており、透過帯域が広く、透過波形の変動がほとんどなく、かつ従来技術によるアサーマルAWGにおいて残留していた透過中心波長の高次の温度変動が補償されていることが分かる。

【0077】

以上のように本発明の6つの実施形態によるアサーマルAWGタイプの光波長合分波回路によれば、従来技術のアサーマルAWGにおいて残留していた透過中心波長の高次の温度変動が補償され、従来に比較して透過中心波長精度に優れた、光波長合分波回路を得ることができる。

【0078】

なお、上記全ての実施形態では、導波路の比屈折率差、コア幅及びコア厚を特定の値に限定して説明したが、本発明の適用範囲はこの値に限定されるものではない。

【0079】

また、上記全ての実施形態では、AWGの設計パラメーターを特定の値に限定して説明したが、本発明の適用範囲はこのパラメーターに限定されるものではない。

【0080】

また、上記全ての実施形態では、使用温度領域を特定の値に限定して説明したが、本発明の適用範囲はこの値に限定されるものではない。

【0081】

また、上記全ての実施の形態では、温度補償材料としてシリコン樹脂を使用して説明したが、本発明の適用範囲は、この材料に限定されるものではなく、シリコン樹脂、エポキシ樹脂、フッ素樹脂等の光学樹脂である導波路の実効屈折率温度係数と異なる屈折率温度係数を有し、かつ使用温度範囲において、導波路コアの屈折率よりも小さい屈折率を有するいかなる材料にも適用することができる。

【0082】

また、第1、第4、第5および第6の実施形態では、一次の温度依存性を補償する構成として、第2のスラブ導波路に溝を形成し温度補償材料を挿入したが、本発明の適用範囲はこの位置に限定されるものではなく、溝は第1のスラブ導波路からアレイ導波路を経て第2のスラブ導波路に至る光経路上のいかなる位置に設置し、また異なる複数の位置に分散して設置しても、一次の温度依存性を補償することができる。また、分割する溝の個数

を特定の値に限定したが、本発明の適用範囲は、この数に限定されるものではない。

【0083】

また、第4、第5および第6の実施形態では、第1あるいは第2の入出力導波路とスラブ導波路との接続部にパラボラテーパ導波路を適用して説明したが、本発明の適用範囲はこの構成に限定されるものではなく、基底モード光の一部を2次モード光に変換するいかなるテーパ導波路、例えばY分岐導波路、楕円形状導波路、MMI等を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0084】

【図1】本発明の一実施形態に係る光波長合分波回路の構成概念図である。

10

【図2】図1において、第1の入出力導波路101から第1のスラブ導波路102の部分を拡大した図である。

【図3】本発明の一実施形態において、光波長合分波回路のマルチモード導波路107における、基底モード光と1次モード光に対する実効屈折率の差分 $\Delta n(T)$ の、温度 T に対する変化の例を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態において、光波長合分波回路の透過中心波長の温度変動を表す図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る光波長合分波回路の構成図である。

【図6】図5において、1次モード励起機構506からマルチモード導波路507の部分を拡大した図である。

20

【図7】図6において、線BB'部分の断面構造を示す図である。

【図8】本発明の第1の実施形態において、光波長合分波回路のマルチモード導波路507における基底モード光と1次モード光の実効屈折率差 $\Delta n(T)$ の温度に対する変化を示す図である。

【図9】本発明の第1の実施形態において、直線テーパ509の第1のスラブ導波路502との接続部分での光フィールド分布の温度変化を示す図である。

【図10】本発明の第1の実施形態において、光波長合分波回路の透過中心波長の温度変動を示す図である。

【図11】本発明の第1の実施形態に係る光波長合分波回路の別構成における、マルチモード導波路507近傍を拡大した図である。

30

【図12】図11において、線CC'部分の断面構造を示す図である。

【図13】本発明の第1の実施形態に係る光波長合分波回路の別構成における、マルチモード導波路507近傍を拡大した図である。

【図14】図13において、線DD'部分の断面構造を示す図である。

【図15】本発明の第2の実施形態に係る光波長合分波回路の構成図である。

【図16】図15において、1次モード励起機構1506からマルチモード導波路1507の部分を拡大した図である。

【図17】本発明の第2の実施形態において、光波長合分波回路の透過中心波長の温度変動を表す図である。

【図18】本発明の第3の実施形態に係る光波長合分波回路の構成図である。

40

【図19】図18において、1次モード励起機構1806からマルチモード導波路1807の部分を拡大した図である。

【図20】本発明の第3の実施形態において、光波長合分波回路の透過中心波長の温度変動を表す図である。

【図21】本発明の第4の実施形態に係る光波長合分波回路の構成図である。

【図22】図21において、1次モード励起機構2106からマルチモード導波路2107の部分を拡大した図である。

【図23】本発明の第4の実施形態において、パラボラテーパ2109の第1のスラブ導波路2102との接続部分での光フィールド分布の温度変化を示す図である。

【図24】本発明の第4の実施形態において、光波長合分波回路の透過中心波長の温度変

50

動を表す図である。

【図 2 5】本発明の第 4 の実施形態において、温度 − 4 0、2 0、8 0 °C での光波長合分波回路の透過波形を示す図である。

【図 2 6】本発明の第 5 の実施形態に係る光波長合分波回路の構成図である。

【図 2 7】図 2 6 において、1 次モード励起機構 2 6 0 6 からマルチモード導波路 2 6 0 7 の部分を拡大した図である。

【図 2 8】図 2 6 において、第 2 のスラブ導波路 2 6 0 4 と第 2 の入出力導波路 2 6 0 5 の接続部近傍を拡大した図である。

【図 2 9】本発明の第 5 の実施形態において、光波長合分波回路の透過中心波長の温度変動を示す図である。

10

【図 3 0】本発明の第 5 の実施形態において、温度 − 4 0、2 0、8 0 °C での光波長合分波回路の透過波形を示す図である。

【図 3 1】本発明の第 6 の実施形態に係る光波長合分波回路の構成図である。

【図 3 2】図 3 1 において、第 1 の入出力導波路 3 1 0 1 と第 1 のスラブ導波路 3 1 0 2 の接続部近傍を拡大した図である。

【図 3 3】図 3 1 において、光スプリッタ 3 1 0 6 からマルチモード導波路 3 1 1 0 部分の 1 チャンネルを拡大した図である。

【図 3 4】従来技術における、スラブ導波路に溝を形成するタイプのアサーマル A W G の構成を示す平面図である。

【図 3 5】図 3 4 のアサーマル A W G において、線 A A ' 部分の断面構造を示す図である。

20

【図 3 6】従来技術によるアサーマル A W G において、透過中心波長の温度変動を表す図である。

【符号の説明】

【0 0 8 5】

1 0 0、5 0 0、1 5 0 0、1 8 0 0、2 1 0 0、2 6 0 0、3 1 0 0、3 4 0 0 光波長合分波回路

1 0 1、5 0 1、1 5 0 1、1 8 0 1、2 1 0 1、2 6 0 1、3 1 0 1、3 4 0 1 第 1 の入出力導波路

1 0 2、5 0 2、1 5 0 2、1 8 0 2、2 1 0 2、2 6 0 2、3 1 0 2、3 4 0 2 第 1 のスラブ導波路

1 0 3、5 0 3、1 5 0 3、1 8 0 3、2 1 0 3、2 6 0 3、3 1 0 3、3 4 0 3 アレイ導波路

1 0 4、5 0 4、1 5 0 4、1 8 0 4、2 1 0 4、2 6 0 4、3 1 0 4、3 4 0 4 第 2 のスラブ導波路

1 0 5、5 0 5、1 5 0 5、1 8 0 5、2 1 0 5、2 6 0 5、3 1 0 5、3 4 0 5 第 2 の入出力導波路

1 0 6、5 0 6、1 5 0 6、1 8 0 6、2 1 0 6、2 6 0 6、3 1 0 6、3 4 0 6 1 次モード光励起機構

1 0 7、5 0 7、1 5 0 7、1 8 0 7、2 1 0 7、2 6 0 7、3 1 0 7、3 4 0 7 マルチモード導波路

40

5 0 8、5 1 0、1 5 0 8、1 8 0 8、2 1 0 8、2 1 1 0、2 6 0 8、2 6 1 0、3 1 0 8、3 1 1 0、3 4 0 6 温度補償材料挿入溝

5 0 9、1 5 0 9、1 8 0 9、2 6 0 9、3 1 0 9 直線テーパ導波路

5 1 1、3 4 0 7 シリコン基板

5 1 2、3 4 0 8 導波路コア

5 1 3、3 4 0 9 クラッド

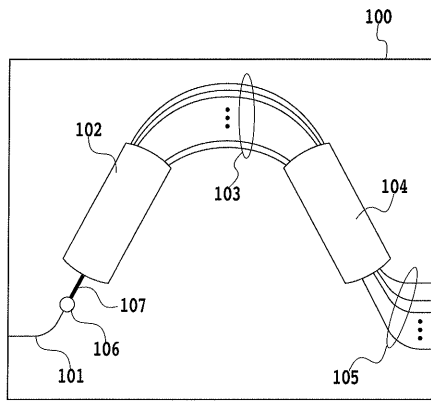
1 5 1 0 金属棒

1 8 1 0 金属板

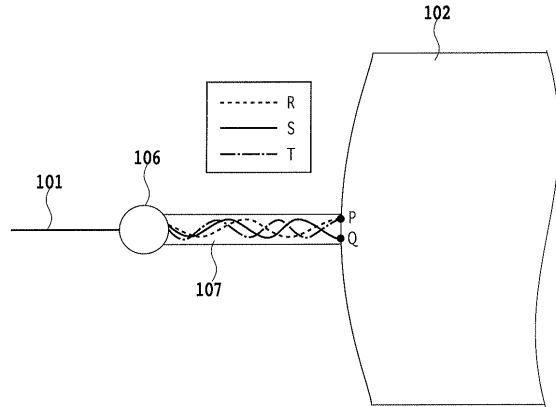
2 1 0 9、2 6 1 4、3 1 1 4 パラボラテーパ導波路

50

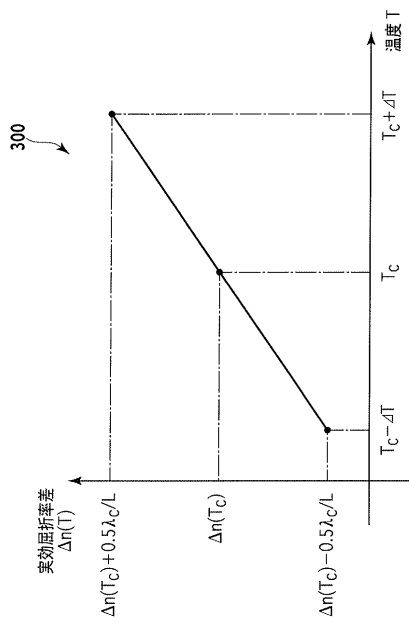
【図 1】



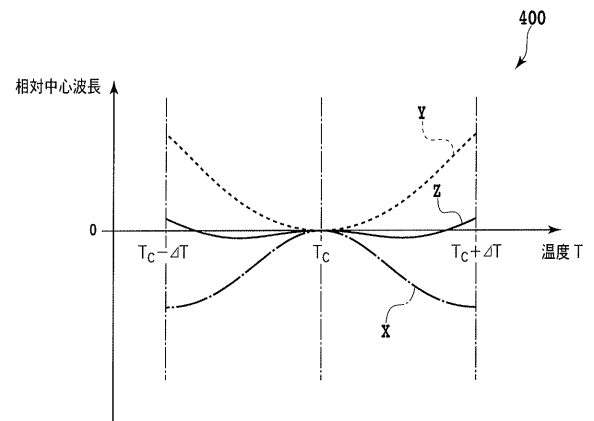
【図 2】



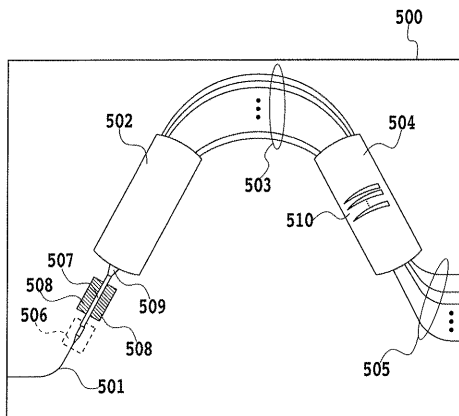
【図 3】



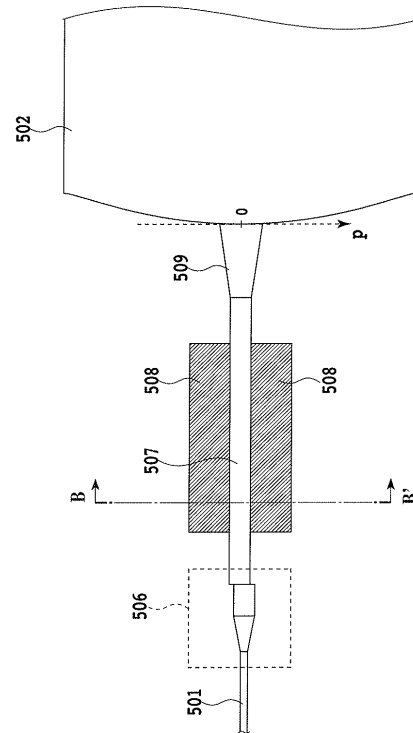
【図 4】



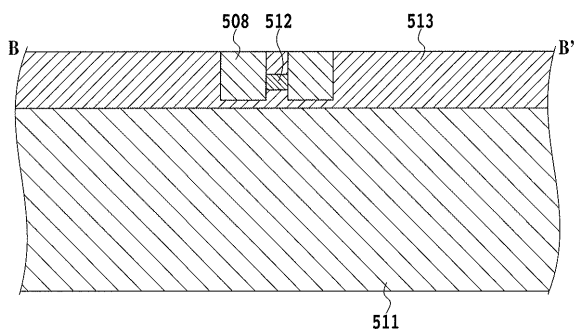
【図 5】



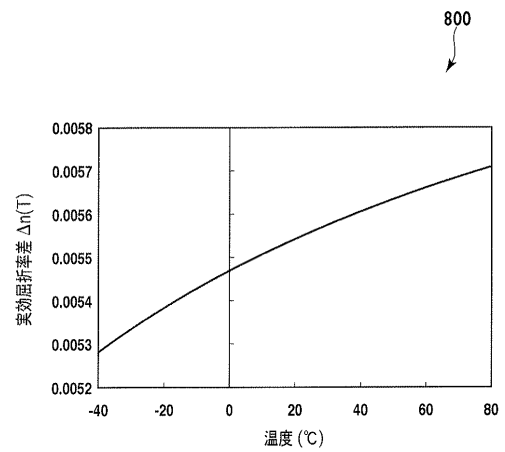
【図 6】



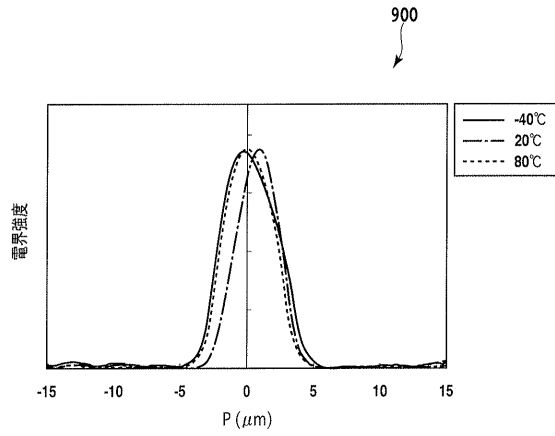
【図 7】



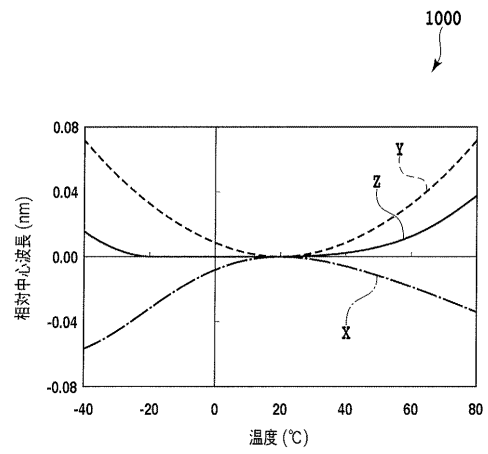
【図 8】



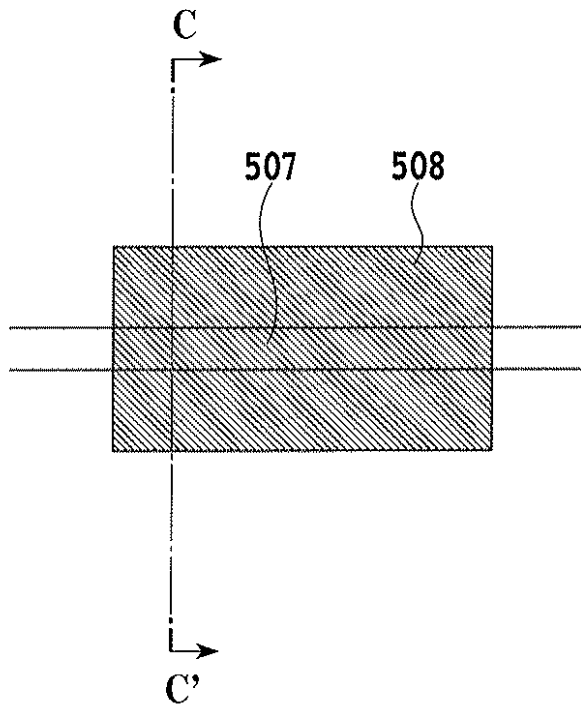
【図 9】



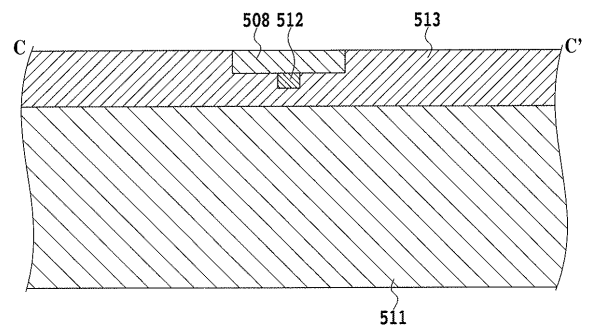
【図 10】



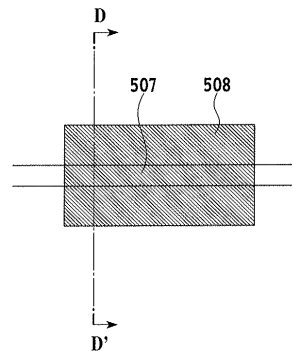
【図 11】



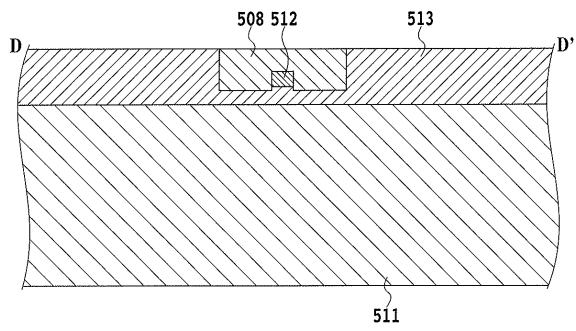
【図 12】



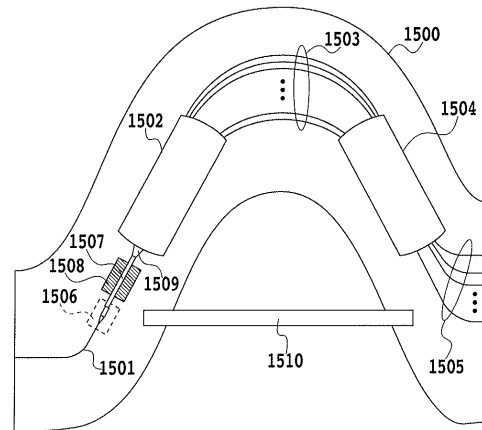
【図 13】



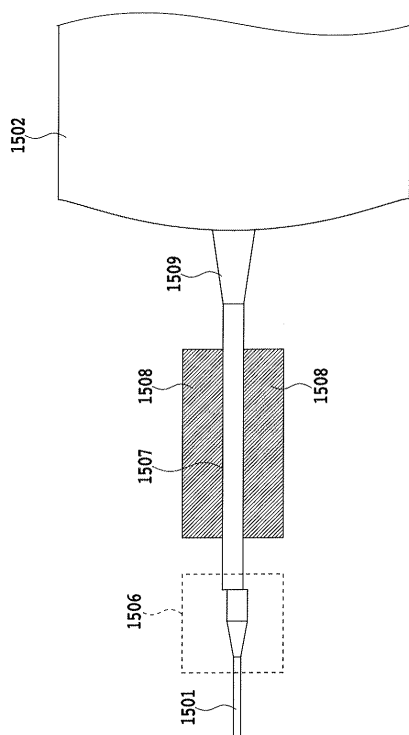
【図 1 4】



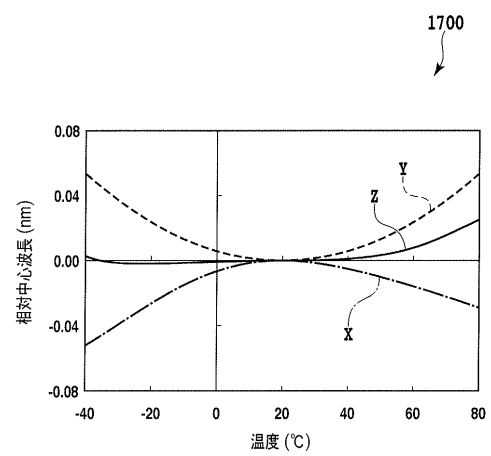
【図 1 5】



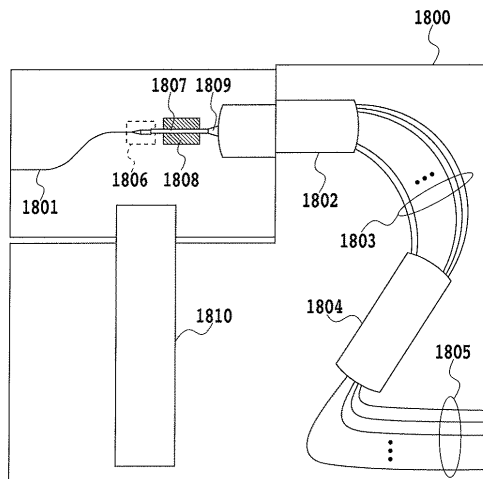
【図 1 6】



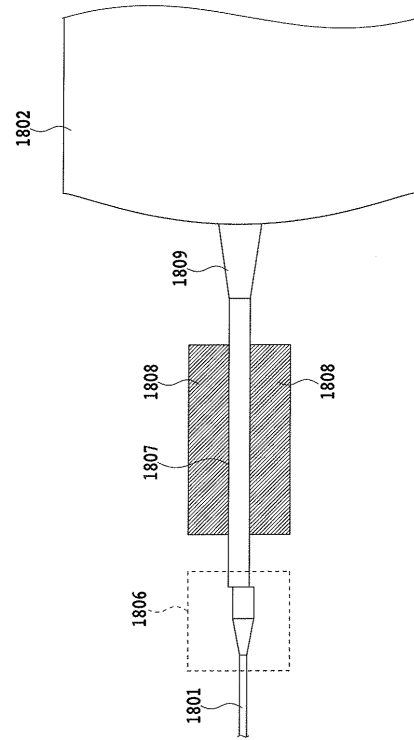
【図 1 7】



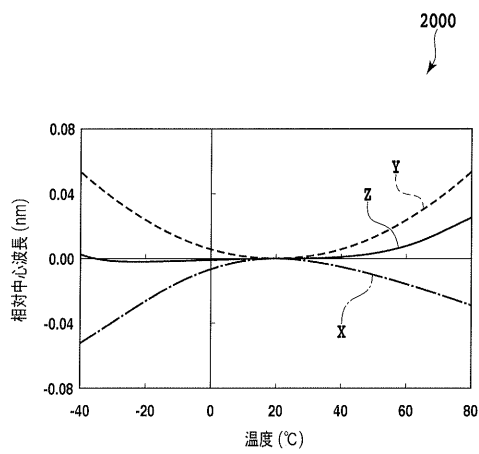
【図 18】



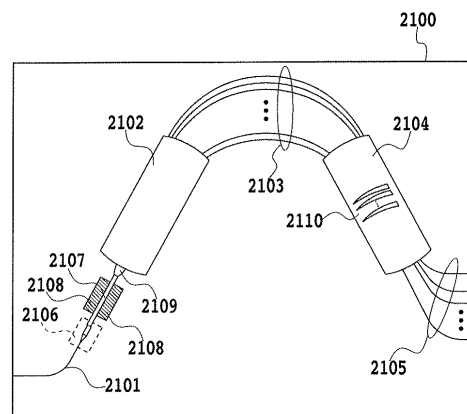
【図 19】



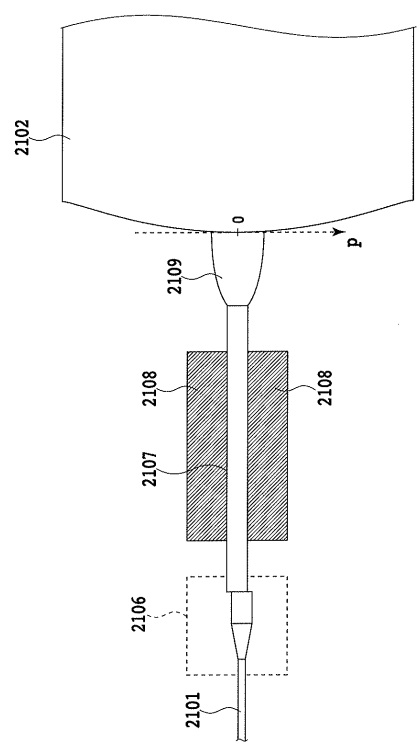
【図 20】



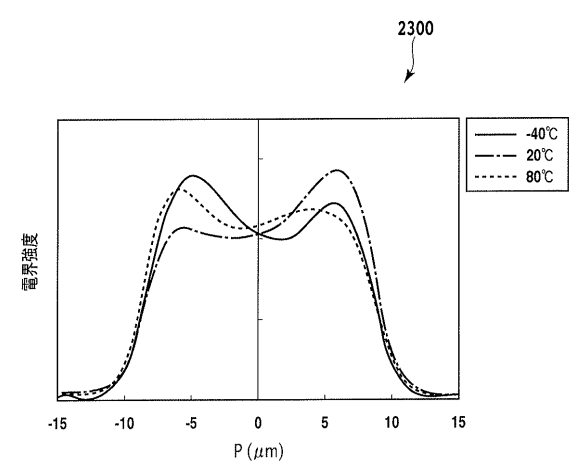
【図 21】



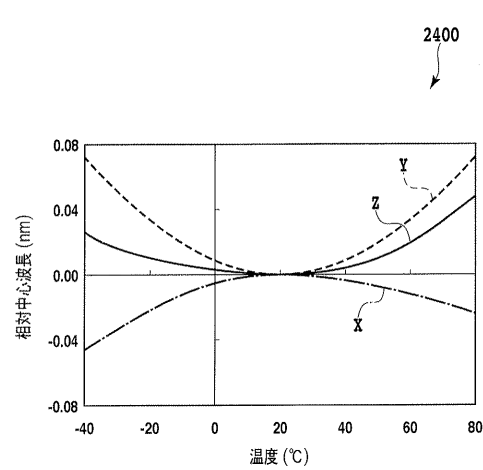
【図 2 2】



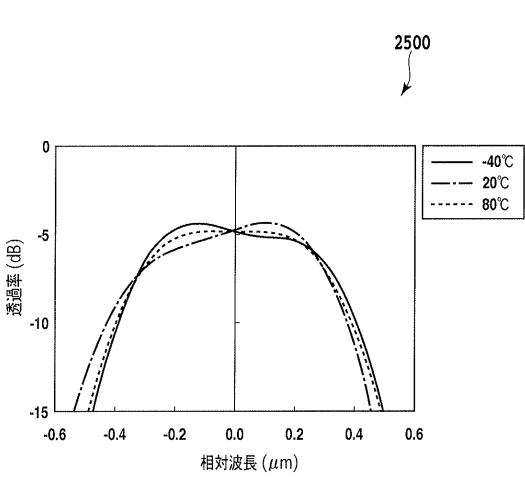
【図 2 3】



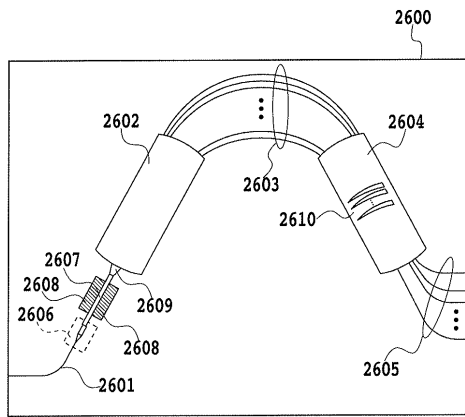
【図 2 4】



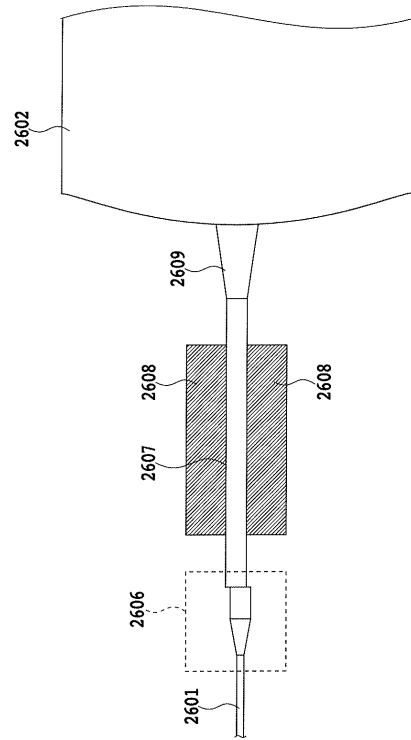
【図 2 5】



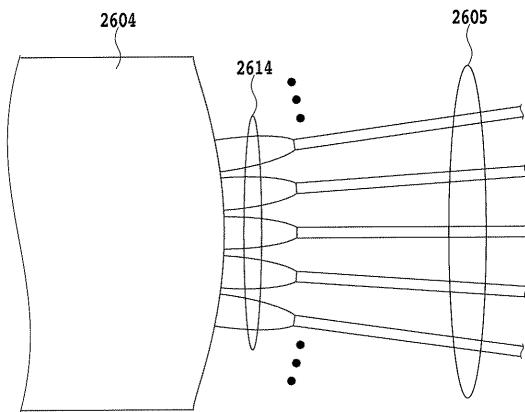
【図 26】



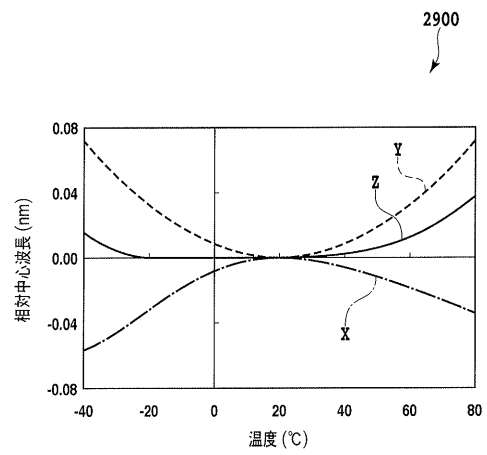
【図 27】



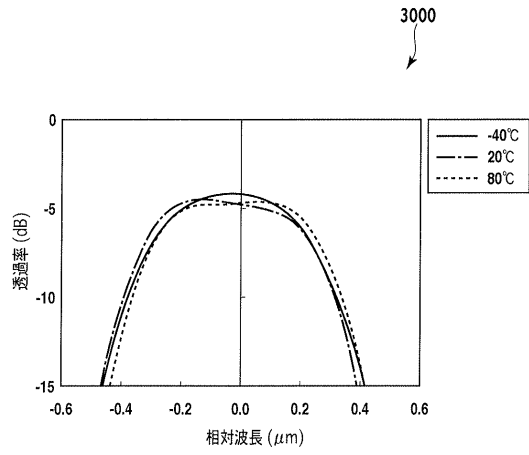
【図 28】



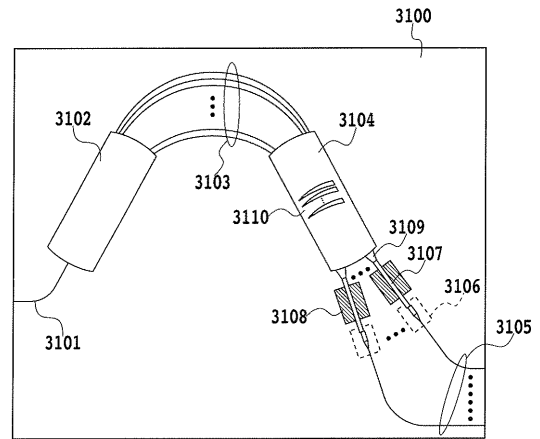
【図 29】



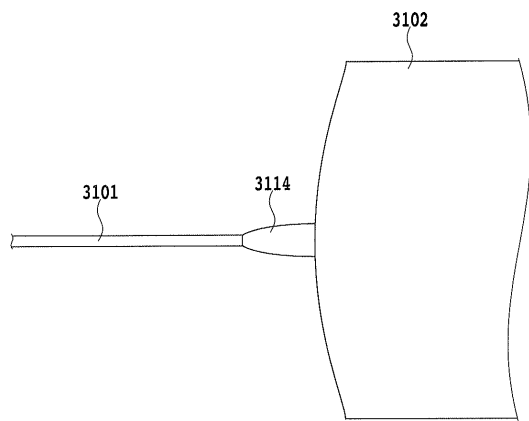
【図 30】



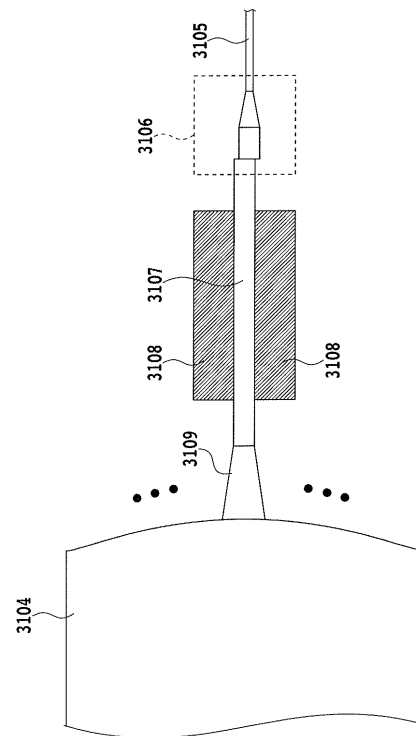
【図 31】



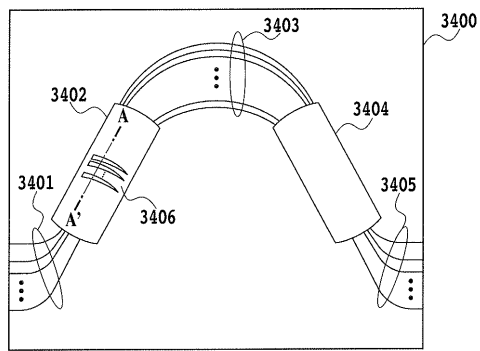
【図 32】



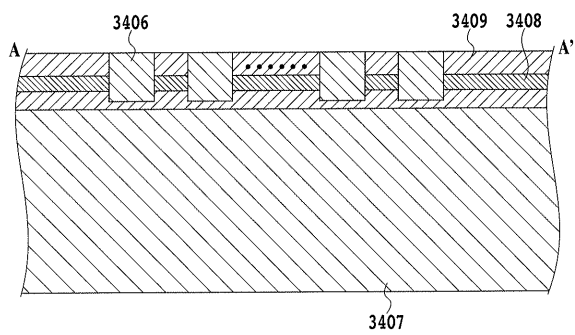
【図 33】



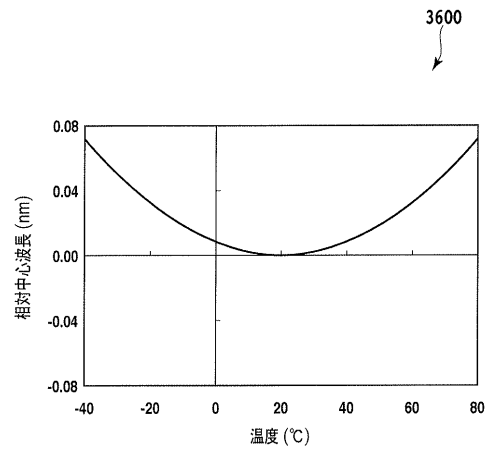
【図 3 4】



【図 3 5】



【図 3 6】



フロントページの続き

(72)発明者 井藤 幹隆

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H147 AB17 BE05 BE06 BE22 EA13C EA18D GA02