

(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2015-114378

(P2015-114378A)

(43) 公開日 平成27年6月22日(2015.6.22)

(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 7 O L (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願2013-254211 (P2013-254211)
 (22) 出願日 平成25年12月9日 (2013.12.9)

(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一丁目5番1号
 (74) 代理人 110001243
 特許業務法人 谷・阿部特許事務所
 (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 才田 隆志
 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 橘詰 泰彰
 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

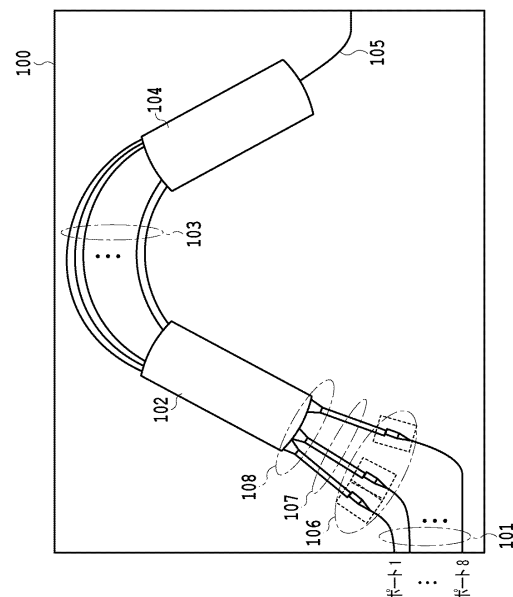
(54) 【発明の名称】 光波長合分波回路

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】透過中心波長のITU-Tグリッドからのずれを抑制したサイクリックAWGタイプの光波長合分波回路を提供する。

【解決手段】サイクリックAWGタイプにおいて、第1の入出力導波路は各々が干渉回路を介して第1のスラブ導波路102に光学的に接続されており、干渉回路は、複数の第1の入出力導波路の各々から入力された基底モード光の一部を、1次モード光に変換する1次モード励起機構である導波路オフセット106と、導波路オフセット106に光学的に接続し、基底モード光および1次モード光の間に所定の透過波長に対して所定の位相差を与えるマルチモード導波路107とを有しており、干渉回路と第1のスラブ導波路102との接続面において形成された光フィールド分布のピーク位置を、波長によってマルチモード導波路107の導波路幅方向に変化させることにより、透過波長の規格化されたグリッドからのずれを補償する。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

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、前記アレイ導波路の一端に接続された第 1 のスラブ導波路および前記アレイ導波路の他端に接続された第 2 のスラブ導波路を備え、複数の回折次数に対応した透過波長を使用する波長合分波回路において、

各々が干渉回路を介して前記第 1 のスラブ導波路に光学的に接続された複数の第 1 の入出力導波路と、前記第 2 のスラブ導波路に接続された第 2 の入出力導波路とをさらに備えており、

前記干渉回路は、

前記複数の第 1 の入出力導波路の各々から入力された基底モード光の一部を、1 次モード光に変換する 1 次モード励起機構と、

前記 1 次モード励起機構に光学的に接続し、少なくとも基底モード光および 1 次モード光が伝搬可能であって、前記基底モード光および前記 1 次モード光の間に所定の透過波長に対して所定の位相差を与えるマルチモード導波路とを有し、

前記干渉回路と前記第 1 のスラブ導波路との接続面において形成された光フィールド分布のピーク位置が、波長によって前記マルチモード導波路の導波路幅方向に変化し、前記変化によって、前記複数の回折次数に対応した透過波長の、規格化されたグリッドからのずれを補償するよう構成されたこと

を特徴とする光波長合分波回路。

【請求項 2】

入力された光の全パワーに対して、前記 1 次モード励起機構において 1 次モード光に変換されるパワーの割合が、前記複数の第 1 の入出力導波路の各々の導波路で異な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】

前記基底モード光および前記 1 次モード光の間の位相差は、所定の長さを有する前記マルチモード導波路において、波長によって変化することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光波長合分波回路。

【請求項 4】

前記 1 次モード励起機構は、光スプリッタと、前記光スプリッタに接続する第 1 のアーム導波路および第 2 のアーム導波路と、前記第 1 のアーム導波路および第 2 のアーム導波路に接続し、前記第 2 のアーム導波路から入力する基底モード光を 1 次モードに変換し、前記第 1 のアーム導波路から入力する基底モードと合流させて出力する光モード合成カプラで構成され、

前記基底モード光および前記 1 次モード光の間の位相差は、前記第 1 のアーム導波路と第 2 のアーム導波路の設定された光路長差において、波長によって変化することを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに記載の光波長合分波回路。

【請求項 5】

前記光モード合成カプラは、幅の異なる 2 本の導波路から構成された方向性結合器であ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 6】

前記 1 次モード励起機構は、導波路コアの幅の中心軸をずらして接続した導波路オフセットであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに記載の光波長合分波回路。

【請求項 7】

前記マルチモード導波路は、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ていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 いずれかに記載の光波長合分波回路。

【発明の詳細な説明】**【背景技術】****【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関する。より詳細には、複数

10

20

30

40

50

の回折次数の透過波長を使用するアレイ導波路回折格子型の光波長合分波回路に関する。

【 0 0 0 2 】

プレーナ光波回路（ P L C : Planer Lightwave Circuit ）は、シリコン基板上に形成した石英系ガラス導波路によって構成され、広く光通信の部品に利用されている。 P L C 技術を利用したアレイ導波路回折格子（ A W G : Arrayed Waveguide Grating ）は、光波長合分波機能を実現する回路であり、異なる波長を持つ複数の光信号を 1 つの光ファイバによって伝送する光波長多重（ W D M : Wavelength Division Multiplexing ）通信に重要な役割を果たしている。

【 0 0 0 3 】

A W G は、数 1 0 本から数 1 0 0 本の導波路を含んでおり、同位相で分配された光信号は隣り合う導波路の一定の経路長差に応じた位相差が与えられる。アレイ導波路で与えられる位相差は波長に依存するので、 A W G にさらに接続されるスラブ導波路において集光する角度に分散を生じる。集光する角度分散にしたがって、波長に応じて異なる出力導波路から光信号が得られる。回折角は、回折次数を含むグレーティング方程式を満たす。複数の異なる回折次数の透過波長を使用する光波長合分波回路は、サイクリック（周回性） A W G またはカラーレス A W G と呼ばれている。

【 0 0 0 4 】

図 2 6 は、従来技術のサイクリック A W G の構成を示す平面図である。サイクリック A W G 9 1 0 0 は、第 1 の入出力導波路 9 1 0 1、第 1 のスラブ導波路 9 1 0 2、アレイ導波路 9 1 0 3、第 2 のスラブ導波路 9 1 0 4 および第 2 の入出力導波路 9 1 0 5 が順次接続されて、構成されている。サイクリック A W G 9 1 0 0 は、光波長合分波回路として動作する。すなわち、第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の各導波路に、波長チャネルごとに入力した複数の信号光を、第 2 の入出力導波路 9 1 0 5 に合波し、波長多重信号光として出力する機能と、第 2 の入出力導波路 9 1 0 5 に入力した波長多重信号光を、第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の各導波路へ分波し、波長チャネルごとに信号光として出力する機能を有する。

【 0 0 0 5 】

図 2 6 において、アレイ導波路 9 1 0 3 の個々の導波路の長さは、一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計されている。このとき第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の各導波路の内の中央の導波路から第 2 の入出力導波路 9 1 0 2 への透過中心波長 λ_c は、次式で表される。

$$\lambda_c = n_a \Delta L / M \quad \text{式 (1)}$$

【 0 0 0 6 】

ここで、 n_a はアレイ導波路 9 1 0 1 の実効屈折率であり、 M は A W G の回折次数である。 M は任意の整数を取ることができるので、 A W G の透過中心波長は複数存在する。ある回折次数に対応する透過中心波長（透過中心周波数）と、それとは 1 つ異なる回折次数に対応する透過中心波長（透過中心周波数）との差は、 A W G の自由スペクトル領域 (Free Spectral Range : F S R) と呼ばれている。通常、 F S R は、周波数間隔 (G H z) によって表される。サイクリック A W G は、この F S R の値を所望の合分波特性に適合するように選択し、複数の異なる回折次数に対応する透過波長を使用することを前提とした A W G である。

【 0 0 0 7 】

図 2 7 は、サイクリック A W G の波長合分波機能の一設計例を示した波長合分波器の概念図である。サイクリック A W G を用いた波長合分波回路 9 2 0 0 は、第 1 の入出力導波路に対応する複数のポート 9 2 0 1、第 2 の入出力導波路に対応するポート 9 2 0 2 を持つ。本例では複数のポート 9 2 0 1 は 8 ポート（導波路）から構成され、各ポートの透過中心波長の間隔を 1 0 0 G H z とした場合を示す。 F S R は 8 0 0 G H z になるよう設計する。ここで、波長多重信号の中に 1 0 0 G H z 間隔で含まれる光信号の各波長を λ_1 、 λ_2 、...、 λ_{48} とする。サイクリック A W G を用いた波長合分波回路 9 2 0 0 は、複数のポート 9 2 0 1（第 1 の入出力導波路）の各ポートから入力する 8 0 0 G H z 周期の信号光を第 2 の入出力導波路に合波して出力し、また逆方向に、波長多重信号光を各 8 0 0

10

20

30

40

50

G H z 周期の信号光に分波して出力する機能を有する。より具体的な周波数は後述する。

【 0 0 0 8 】

図 2 7 の光合分波器 9 2 0 0 を実現するサイクリック A W G 9 1 0 0 は、一例として、以下の構成により実現できる。導波路のコア・クラッド間比屈折率差が 1 . 5 %、コア厚 4 . 5 μ m である。第 1 の入出力導波路 9 1 0 1、アレ導波路 9 1 0 3、第 2 の入出力導波路 9 1 0 5 のコア幅はそれぞれ 4 . 5 μ m である。アレ導波路 9 1 0 3 の本数は 5 0 本、導波路長差 ΔL は 2 5 4 . 2 4 7 5 μ m である。また第 1 のスラブ導波路 9 1 0 2、第 2 のスラブ導波路 9 1 0 4 の長さはいずれも 1 1 2 8 μ m である。さらに、第 1 のスラブ導波路 9 1 0 2 に接続する部分の第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の導波路間隔は 1 5 μ m であり、第 1 のスラブ導波路 9 1 0 2 および第 2 のスラブ導波路 9 1 0 4 がそれぞれ接

10

【 0 0 0 9 】

図 2 8 は、サイクリック A W G によって構成された図 2 7 の光合分波器において、合分波される各信号光の透過中心波長を対応する光周波数によって示した表である。第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の各ポートにおいて、回折次数に対応した複数の異なる透過波長が使用される。例えば表のポート 1 の列を参照すると、回折次数が 2 4 2 の場合には周波数 1 9 6 4 0 0 G H z が、回折次数が 2 4 1 の場合には 1 9 5 6 0 0 G H z が、回折次数が 2 4 0 の場合には周波数 1 9 4 8 0 0 G H z がそれぞれ対応する。ここで、1 つのポートへ入力される波長多重光の各光信号を見れば、回折次数が 1 つ異なるとき、隣り合う 2 つの光周波数の周波数間隔が 8 0 0 G H z となっている。すなわち、隣り合う 2 つの光周波数の周波数間隔は F S R に対応している。また、隣り合うポート間で周波数を見れば、1 0 0 G H z ずつ異なる周波数が配置されている。ポート 1 からポート 8 へ向かって、順次、1 0 0 G H z 間隔の周波数が配置され、ポート 8 の周波数に続いて、再びポート 1 に次の周波数が割り当てられており、周回的 (サイクリック) に周波数が配置構成されていることがわかる。

20

【 0 0 1 0 】

図 2 8 に示された各信号光の周波数は、国際標準 I T U - T G . 6 9 4 . 1 勧告で定められる周波数グリッド (以下、「I T U - T グリッド」と呼ぶ) に一致する 1 0 0 G H z 間隔の光周波数群を有している。図 2 7 における第 1 のポートの波長 λ_1 は表の最上段左端の 1 9 6 4 0 0 G H z (波長 1 5 2 6 . 4 3 8 n m) に対応し、第 8 のポートの波長 λ_8 は表の最下段右端の 1 9 1 7 0 0 G H z (波長 1 5 6 3 . 8 6 2 n m) に対応する。図 2 8 に記載された周波数の範囲は、光波長多重通信の一般的な使用領域である C バンド (波長: 1 5 3 0 ~ 1 5 6 5 n m) に一致している。

30

【 0 0 1 1 】

図 2 9 および図 3 0 は、サイクリック A W G を実際の W D M システムで使用する場合の構成例を示した図である。図 2 9 および図 3 0 は、異なる増設段階におけるシステム構成をそれぞれ示しており、図 2 9 が初期段階に、図 3 0 が増設後の段階に対応する。図 2 9 を参照すると、W D M システムは 6 分岐のカブラ 9 4 0 0 を持っており、カブラ 9 4 0 0 に代えて 6 ポートの波長群合分波フィルタ 9 4 0 0 とすることもできる。カブラ 9 4 0 0 の 1 つのポートには、図 2 7 に示したサイクリック A W G 9 4 0 1 が接続されている。図 3 0 は増設段階が進んだ W D M システムの状態を示しており、カブラまたはフィルタ 9 4 0 0 の 6 つのポートには 6 つのサイクリック A W G 9 4 0 1 ~ 9 4 0 6 が接続されている。全体では、波長多重光がそれぞれ入出力され得る 4 8 ポートを備えた、波長合分波フィルタとして機能する。

40

【 0 0 1 2 】

W D M システムの導入にあたっては、初期の段階において、C バンドのすべての波長の信号を運用する必要は無い。必要な波長数の光送受信装置を設置して運用を開始して、その後伝送容量の需要に応じて波長数を増加させるのが通常である。したがって、図 3 0 のように 4 8 ポート分の波長合分波フィルタを設置するのではなく、初期段階では図 2 9 のように一部の波長数 (ここでは 8) に対応するサイクリック A W G だけを導入するのが

50

好ましい。初期コストを抑えて運用を開始して、最終的には図 30 のようにサイクリック A W G を 6 つに増設して 48 ポートの合分波フィルタを実現するのがオペレーションコストの観点から経済的である。

【0013】

またシステムの増設の際、同一種類のサイクリック A W G を利用することで、メンテナンスに必要な部品を統一し、保守用部品の種類を減らして、運用コストを下げるができる。この観点からも、C バンド全体をカバーし得るサイクリック A W G は、別個に専用仕様で設計され異なる透過中心波長を有する非サイクリックの A W G を複数種類用いるよりも、システムの管理や保守の容易さコストの面で望ましい。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0014】

【特許文献 1】国際公開特許 W O 98 / 36299 号 明細書

【非特許文献】

【0015】

【非特許文献 1】H. Takahashi, K. Oda, H. Toba, and Y. Inoue, "Transmission characteristics of arrayed-waveguide N x N wavelength multiplexer," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 13, pp. 447-455, 1995 年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0016】

しかしながら、サイクリック A W G では、実際に実現される透過中心波長には I T U - T 等の規定されたグリッドからのずれがあり、その精度の点で通信チャネルの狭帯域化への問題となっていた。サイクリック A W G では、使用する入出力導波路（ポート）および回折次数の組み合わせに対応するすべての透過中心波長について、実際に実現される透過中心波長が、所望の信号光の波長すなわち I T U - T グリッドで規定された波長に完全に一致するわけではない。これは、次の 2 つの理由による。1 つは、A W G の透過中心波長と F S R が独立して定まるパラメータではないため、透過中心波長を優先して合わせこむ設計を行うと、F S R は狙いの値からずれてしまうのが通常であることによる。もう 1 つは、F S R の値が入出力導波路によってわずかに変化するためである。ある特定のポート 30 に対する F S R が目標値の通りであっても、他のポートでは F S R の目標値からずれてしまう。サイクリック A W G における原理的なグリッド波長ずれについては、非特許文献 1 に詳細に記載されている。

【0017】

図 31 は、実際のサイクリック A W G における透過中心波長の I T U - T グリッドからのずれを説明する図である。図 31 において、横軸は信号光の波長 λ_N に対応する波長（チャネル）番号 N を示しており、縦軸は I T U - T グリッドからのずれ量を光周波数で示している。図 27 および図 28 に示した透過中心波長を持つ全 48 チャネルの信号光について、実際に作製されたサイクリック A W G の透過中心波長は、I T U - T グリッドの規定値から最大で $\pm 12 \text{ GHz}$ ($\pm 0.096 \text{ nm}$) のずれが生じている。 40

【0018】

上述のサイクリック A W G における波長ずれの問題は、従来技術によっても、ある程度解決はできる。サイクリック A W G においては、環境温度による透過中心波長の変動を抑制するために、ヒータ等によって A W G 回路の温度を一定に保つよう構成された、温度調整タイプのものが利用されている。図 29 および図 30 で示したような W D M システムにおいてサイクリック A W G を使用する場合では、各 A W G において使用する波長に対応する回折次数に応じて、一定に保つ設定温度を微調整して、透過中心波長のグリッドずれを低減することができる。

【0019】

例えば、図 30 に示した、波長番号 N が 1 ~ 8 の光信号を使用する A W G 9401 は、

50

図 28 に示したように回折次数が 242 に対応している。この AWG 9401 については、マイナスの周波数ずれ量 ($-5 \sim -13 \text{ GHz}$; 図 31) を補償 (相殺) する様な方向に、相対的に AWG の設定温度を調整すれば良い。同様に、波長番号 N が 9 ~ 16 の光信号を使用する AWG 9402 は、回折次数が 241 に対応しており、この AWG についてはマイナスの周波数ずれ量 ($-4 \sim -8 \text{ GHz}$) を補償 (相殺) する様な方向に、相対的に AWG の設定温度を調整する。また、波長番号 N が 41 ~ 48 の光信号を使用する AWG 9406 は、回折次数が 237 に対応しており、この AWG についてはプラスの周波数ずれ量 ($+4 \sim +12.5 \text{ GHz}$) を補償 (相殺) する様な方向に、相対的に AWG の設定温度を調整する。したがって、図 30 に示した増設後の構成の WDM システムにおいては、6 つのサイクリック AWG 9401 ~ 9406 の各々に対して、使用している回折次数に応じて微調整された設定温度に、調整を行うことになる。

10

【0020】

図 32 は、使用する回折次数に応じて AWG の温度を最適に調整した場合の、透過中心波長の ITU-T グリッドからのずれを説明する図である。温度補償を行っていない図 31 の周波数ずれ量と比べれば、ずれ量の絶対値はかなり抑えられているが、依然として、ずれ量の最大値は $\pm 5 \text{ GHz}$ ($\pm 0.04 \text{ nm}$) に達している。このように、従来技術によるサイクリック AWG においては、実際に作製可能な AWG の透過中心波長には、ITU-T グリッドからのずれが生じていた。

【0021】

既に述べたように WDM 技術は、例えば光透過率が高くエルビウム添加光ファイバ増幅器が適用できる C バンド (波長: $1530 \sim 1565 \text{ nm}$) において利用されている。通信トラフィックの増大に応え、より多くの光信号を多重化するために、1 つの光信号に対応するチャネル帯域幅がより狭くなってきている。近年では、従来の 50 GHz 間隔のチャネル配置構成から 25 GHz 間隔 (チャネル帯域幅も 25 GHz) のチャネル配置構成への移行が進みつつある。例えば、192 チャネルの光信号が 25 GHz 間隔で配置され多重化された WDM 信号を利用するシステムが求められている。

20

【0022】

このような中で、サイクリック AWG の周波数ずれの問題は、回折次数に応じて AWG 回路の動作温度を微調整しても、完全に抑制することはできていない。透過中心波長の精度を求められる狭波長チャネル間隔の WDM システムにおいては、場合によっては要求性能を満足できない、という問題があった。

30

【0023】

本発明は、かかる問題を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、サイクリック AWG において生じる透過中心波長 (透過中心周波数) の ITU-T グリッドからのずれを補償し、全使用波長領域において透過中心波長の精度に優れた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】

【0024】

本発明は、このような課題を達成するために、請求項 1 の発明は、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、前記アレイ導波路の一端に接続された第 1 のスラブ導波路および前記アレイ導波路の他端に接続された第 2 のスラブ導波路を備え、複数の回折次数に対応した透過波長を使用する波長合分波回路において、各々が干渉回路を介して前記第 1 のスラブ導波路に光学的に接続された複数の第 1 の入出力導波路と、前記第 2 のスラブ導波路に接続された第 2 の入出力導波路とをさらに備えており、前記干渉回路は、前記複数の第 1 の入出力導波路の各々から入力された基底モード光の一部を、1 次モード光に変換する 1 次モード励起機構と、前記 1 次モード励起機構に光学的に接続し、少なくとも基底モード光および 1 次モード光が伝搬可能であって、前記基底モード光および前記 1 次モード光の間に所定の透過波長に対して所定の位相差を与えるマルチモード導波路とを有し、前記干渉回路と前記第 1 のスラブ導波路との接続面において形成された光フィールド分布のピーク位置が、波長によって前記マルチモード導波路の導波路幅方向に変

40

50

化し、前記変化によって、前記複数の回折次数に対応した透過波長の、規格化されたグリッドからのずれを補償するよう構成されたことを特徴とする光波長合分波回路である。

【0025】

ここで、規格化されたグリッドは、例えば、国際標準ITU-T G.694.1勧告で定められる周波数グリッドITU-Tグリッドに対応する。また、光フィールド分布のピーク位置が変化するマルチモード導波路の導波路幅方向は、例えば、図4、図10、図15、図22におけるp軸方向に対応する。

【0026】

請求項2の発明は、請求項1の光波長合分波回路であって、入力された光の全パワーに対して、前記1次モード励起機構において1次モード光に変換されるパワーの割合が、前記複数の第1の入出力導波路の各々の導波路で異なることを特徴とする。

10

【0027】

請求項3の発明は、請求項1または2の光波長合分波回路であって、前記基底モード光および前記1次モード光の間の位相差は、所定の長さを有する前記マルチモード導波路において、波長によって変化することを特徴とする。

【0028】

請求項4の発明は、請求項1乃至3いずれかの光波長合分波回路であって、前記1次モード励起機構は、光スプリッタと、前記光スプリッタに接続する第1のアーム導波路および第2のアーム導波路と、前記第1のアーム導波路および第2のアーム導波路に接続し、前記第2のアーム導波路から入力する基底モード光を1次モードに変換し、前記第1のアーム導波路から入力する基底モードと合流させて出力する光モード合成カブラで構成され、前記基底モード光および前記1次モード光の間の位相差は、前記第1のアーム導波路と第2のアーム導波路の設定された光路長差において、波長によって変化することを特徴とする。

20

【0029】

請求項5の発明は、請求項4の光波長合分波回路であって、前記光モード合成カブラは、幅の異なる2本の導波路から構成された方向性結合器であることを特徴とする。

【0030】

請求項6の発明は、請求項1乃至3いずれかの光波長合分波回路であって、前記1次モード励起機構は、導波路コアの幅の中心軸をずらして接続した導波路オフセットであることを特徴とする。

30

【0031】

請求項7の発明は、請求項1乃至6いずれかの光波長合分波回路であって、前記マルチモード導波路は、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ていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0032】

以上説明したように、本発明により、サイクリックAWGタイプの光波長合分波回路において、透過中心波長のITU-Tグリッドからのずれを抑制することができる。狭波長チャンネル間隔のWDMシステムに適用可能な、サイクリックAWGタイプの光波長合分波回路を実現することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】図1は、光導波路を導波する基底モード光および1次モード光の電界分布（光フィールド）を説明する概念図である。

【図2】図2は、本発明の実施例1のサイクリックAWGの構成を示す平面図である。

【図3】図3は、本発明のサイクリックAWGによって構成された図2の光合分波器において、合分波される各信号光の透過中心光周波数を示した表である。

【図4】図4は、実施例1のサイクリックAWGにおける導波路オフセットから直線テーパ導波路近傍をまでを拡大した図である。

50

【図 5】図 5 は、本発明の実施例 1 のサイクリック A W G の各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータ値を示した図である。

【図 6】図 6 は、実施例 1 における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布のピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化をポートごとに示した図である。

【図 7】図 7 は、実施例 1 のサイクリック A W G について、透過中心波長の I T U - T クリッドからのずれ量を示す図である。

【図 8】図 8 は、本発明の実施例 2 のサイクリック A W G の構成を示す平面図である。

【図 9】図 9 は、実施例 2 のアサermalサイクリック A W G において、溝を横切る断面の構成を示す図である。

【図 10】図 10 は、実施例 2 のサイクリック A W G における導波路オフセットから直線テーパ導波路近傍をまでを拡大した図である。

10

【図 11】図 11 は、本発明の実施例 2 のサイクリック A W G の各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータ値を示した図である。

【図 12】図 12 は、実施例 2 における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布ピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化をポートごとに示した図である。

【図 13】図 13 は、実施例 2 のサイクリック A W G について、透過中心波長の I T U - T クリッドからのずれ量を示す図である。

【図 14】図 14 は、本発明の実施例 3 のサイクリック A W G の構成を示す平面図である。

【図 15】図 15 は、実施例 3 のサイクリック A W G における光スプリッタから直線テーパ導波路近傍をまでを拡大した図である。

20

【図 16】図 16 は、実施例 3 のサイクリック A W G の各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータ値を示した図である。

【図 17】図 17 は、実施例 3 における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布ピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化をポートごとに示した図である。

【図 18】図 18 は、実施例 3 のサイクリック A W G について、透過中心波長の I T U - T クリッドからのずれ量を示す図である。

【図 19】図 19 は、光モード合成カブラの別の構成例を拡大して示した図である。

【図 20】図 20 は、光モード合成カブラのさらに別の構成例を拡大して示した図である。

30

【図 21】図 21 は、本発明の実施例 4 のサイクリック A W G の構成を示す平面図である。

【図 22】図 22 は、実施例 4 のサイクリック A W G における光スプリッタから直線テーパ導波路近傍をまでを拡大した図である。

【図 23】図 23 は、実施例 4 のサイクリック A W G の各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータ値を示した図である。

【図 24】図 24 は、実施例 4 における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布ピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化をポートごとに示した図である。

【図 25】図 25 は、実施例 4 のサイクリック A W G について、透過中心波長の I T U - T クリッドからのずれ量を示す図である。

40

【図 26】図 26 は、従来技術のサイクリック A W G の構成を示す平面図である。

【図 27】図 27 は、サイクリック A W G の波長合分波機能の一設計例を示した波長合分波器の概念図である。

【図 28】図 28 は、図 27 の光合分波器で合分波される信号光の各波長を光周波数で表した表である。

【図 29】図 29 は、サイクリック A W G を実際の W D M システムで使用する場合の初期段階の構成例を示した図である。

【図 30】図 30 は、サイクリック A W G を実際の W D M システムで使用する場合の増設後の段階の構成例を示した図である。

【図 31】図 31 は、実際のサイクリック A W G における透過中心波長の I T U - T クリ

50

ッドからのずれを説明する図である。

【図 3 2】図 3 2 は、使用する回折次数に応じて A W G の温度を最適調整した場合の、透過中心波長の I T U - T クリッドからのずれを説明する図である。

【図 3 3】図 3 3 は、温度調整タイプのサイクリック A W G のポート毎の周波数ずれ量を説明する図である。

【図 3 4】図 3 4 は、アサーマル化を伴うサイクリック A W G のポート毎の周波数ずれ量を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 3 4 】

従来技術のサイクリック A W G においては、W D M システムで使用される複数の A W G の各々に温度調整を行って周波数ずれを補償していた。しかし、A W G で使用する波長に対応した回折次数ごとにずれ量を補正するのに留まっており、不十分なものであった。本発明では、全く異なる視点から、サイクリック A W G の少なくとも一方のスラブ導波路に接続された複数のポート（入出力導波路）に着目して、ポート毎に光フィールドの位置を調整する。スラブ導波路の接続面における、導波路幅方向の光フィールドの位置を、波長に応じて変化させる機構を持つことによって、透過中心波長の周波数ずれを大幅に減らす。光フィールドの位置の調整は、ポート毎に、2 つの異なるモード光の発生量および位相差を調整することによって行われ、1 つのポート内に現れる異なる光周波数の複数の光信号の透過中心波長を同時に補正することができる。以下、本発明に係るサイクリック A W G の動作原理について説明する。

【 0 0 3 5 】

図 1 は、光導波路を導波する基底モード光および 1 次モード光の電界分布（光フィールド）を説明する概念図である。導波路上のコアを伝播する光の中には、異なる伝播モードの光が含まれ得る。図 1 は、サイクリック A W G の一方のスラブ導波路と、このスラブ導波路に接続される入出力導波路との間の接続部における断面を見たときの、伝播光のモードを説明している。図 1 の横軸は、入出力導波路の幅方向における位置を示している。横軸上で導波路端と表記した部分は、導波路コア部の両端位置に対応している。縦軸は、光フィールドの強度分布を示している。

【 0 0 3 6 】

再び、図 2 6 に示した構成の従来技術のサイクリック A W G 9 1 0 0 を参照すると、通常、複数の導波路からなる第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の各導波路には基底モード光のみが伝播する。したがって、第 1 のスラブ導波路 9 1 0 2 と、第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の内の 1 つの導波路との接続部に励起される光フィールド 1 のピーク位置は波長によって変化せず、概ね導波路断面の中心位置（一点破線で表示）となる。ここで、上述の光フィールド 1 に、特定の強度比で 1 次モード光 3 が混在している場合を考える。このとき、基底モード光 1 および 1 次モード光 3 の干渉によって、干渉光 2 の光フィールドのピーク位置は導波路断面を横方向（導波路幅方向）にシフトする。

【 0 0 3 7 】

干渉光 2 の光フィールドのピーク位置の導波路幅方向におけるシフト量は、両モード光の強度比および位相差によって変化する。基底モード光および 1 次モード光の間の位相差が 0 の場合、シフト量は単純に両モード光の強度比によって決まる。一方、基底モード光および 1 次モード光の間に位相差を与えていくと、その位相差によって両モード光の干渉の影響が緩和される。具体的には、干渉光 2 の光フィールドのピーク位置の、p 軸方向のシフト量は、両モード光の間の位相差が増えるに従って減少する。したがって、両モード光の位相差が $\pi / 2$ の場合、シフト量は両モード光の強度比によらず 0 となる。

【 0 0 3 8 】

ここで、サイクリック A W G の一方のスラブ導波路に接続されるポートに注目する、一例を挙げれば、ポートは、図 2 6 の一方のスラブ導波路 9 1 0 1 に接続される複数の導波路からなる第 1 の入出力導波路 9 1 0 1 の各導波路に対応する。各ポートでは、光合分波回路によって分波または合波される光が入力または出力される。以下の説明では 1 つのポ

ートは、１つの入出力導波路に対応付けて考えることができる。図２６における第１の入出力導波路９１０１は入出力導波路が８本含まれているが、合分波特性の仕様に応じて、異なる本数の入出力導波路が含まれ得ることに留意されたい。

【００３９】

本発明では、サイクリックＡＷＧの各ポートを透過する、異なる波長（周波数）を持つ複数の光信号に対して、その波長（周波数）に応じて基底モード光および１次モード光の間の位相差が異なるよう入出力導波路を構成する。ＡＷＧの１つポートを透過する異なる波長を持つ複数の光信号ごと、上記基底モード光および１次モード光の間位相差を設定する。これによって、透過する光信号の波長（周波数）に応じて、第１のスラブ導波路９１０２に入射される光の位置を異ならせるようにすることができる。

10

【００４０】

第１の入出力導波路９１０１の内の１つのポートに対応する導波路と、第１のスラブ導波路９１０２との接続部における光フィールドのピーク位置に応じて、ＡＷＧの当該ポートにおける透過中心波長は変動する。したがって、第１の入出力導波路９１０１において、適当な機構を備えることにより、所定の強度比の１次モード光を励起し、この１次モード光および基底モード光の間の位相差が、波長によって変化していれば良い。１次モード光および基底モード光の強度比および両者の位相差を、波長に応じて制御することができれば、従来技術によるサイクリックＡＷＧにおいて課題となっていた、各ポートに現われる異なる波長（透過中心波長）を持つ複数の光信号の透過中心波長を同時に補正することが可能となる。

20

【００４１】

したがって、本発明の波長合分波回路（サイクリックＡＷＧ）は、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、前記アレイ導波路の一端に接続された第１のスラブ導波路および前記アレイ導波路の他端に接続された第２のスラブ導波路を備え、複数の回折次数に対応した透過波長を使用する波長合分波回路において、各々が干渉回路を介して前記第１のスラブ導波路に光学的に接続された複数の第１の入出力導波路と、前記第２のスラブ導波路に接続された第２の入出力導波路とをさらに備えている。

【００４２】

本発明の波長合分波回路の干渉回路は、前記複数の第１の入出力導波路の各々から入力された基底モード光の一部を、１次モード光に変換する１次モード励起機構と、前記１次モード励起機構に光学的に接続し、少なくとも基底モード光および１次モード光が伝搬可能であって、前記基底モード光および前記１次モード光の間に所定の透過波長に対して所定の位相差を与えるマルチモード導波路とを有し、前記干渉回路と前記第１のスラブ導波路との接続面において形成された光フィールド分布のピーク位置が、波長によって前記マルチモード導波路の導波路幅方向に変化し、前記変化によって、前記複数の回折次数に対応した透過波長の、規格化されたグリッドからのずれを補償するよう構成されている。

30

【００４３】

以下、具体的な実施例とともに本発明の構成および動作をさらに詳細に説明する。以下の実施例では、本発明特有の構成を持つサイクリックＡＷＧとアサーマルＡＷＧの構成との様々な組み合わせを含む具体的な構成と波長ずれの改善効果が示される。

40

【実施例１】

【００４４】

図２は、本発明の実施例１のサイクリックＡＷＧの構成を示す平面図である。サイクリックＡＷＧ１００は、従来技術のＡＷＧと同様に、第１の入出力導波路１０１、第１のスラブ導波路１０２、アレイ導波路１０３、第２のスラブ導波路１０４、および第２の入出力導波路１０５を備えている。本発明のサイクリックＡＷＧ１００は、第１の入出力導波路１０１および第１のスラブ導波路１０２の間に、１次モード光励起機構である導波路オフセット１０６、マルチモード導波路１０７およびテーパ導波路１０８をさらに備えている。

【００４５】

50

したがって、サイクリックAWG100は、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103、前記アレイ導波路の一端に接続された第1のスラブ導波路102および前記アレイ導波路の他端に接続された第2のスラブ導波路104を備え、複数の回折次数に対応した透過波長を使用する波長合分波回路である。さらに、各々が干渉回路を介して前記第1のスラブ導波路に光学的に接続された複数の第1の入出力導波路101と、前記第2のスラブ導波路に接続された第2の入出力導波路105とをさらに備えていることになる。

【0046】

1次モード光励起機構である導波路オフセット106、マルチモード導波路107およびテーパ導波路108が干渉回路を構成する。すなわち、干渉回路は、前記複数の第1の入出力導波路の各々から入力された基底モード光の一部を、1次モード光に変換する1次モード励起機構と、前記1次モード励起機構に光学的に接続し、少なくとも基底モード光および1次モード光が伝搬可能であって、前記基底モード光および前記1次モード光の間に所定の透過波長に対して所定の位相差を与えるマルチモード導波路とを有することになる。

【0047】

サイクリックAWG100の各部は、以下のような構成を持つ。すべての導波路については、コア・クラッド間屈折率差が1.5%、コア厚4.5 μ mである。第1の入出力導波路101、アレイ導波路103および第2の入出力導波路105のコア幅は4.5 μ mである。アレイ導波路103は50本の導波路を持ち、内側の導波路より一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計され、 ΔL は254.2475 μ mである。また第1のスラブ導波路102および第2のスラブ導波路104の長さはそれぞれ1128 μ mである。第1のスラブ導波路102に接続する部分の直線テーパ導波路108の配列間隔は15 μ mであり、第1のスラブ導波路102に接続する部分のアレイ導波路103の導波路間隔および第2のスラブ導波路104に接続する部分のアレイ導波路103の導波路間隔は、それぞれ10 μ mである。第1の入出力導波路101は、8本の導波路から構成されており、光合分波器としてのポート数は8である。隣接する2つのポート間の合分波光周波数間隔は100GHzで、FSRは800GHzを目標値として狙って設計されている。

【0048】

図3は、本発明のサイクリックAWGによって構成された図2の光合分波器において、合分波される各信号光の透過中心波長を対応する光周波数によって示した表である。すなわち、図3の各光周波数は、ITU-Tグリッドによって規定された光周波数であって、本発明のサイクリックAWGにおいて目標値とする光周波数が示されている。本発明のサイクリックAWGでは、実現される透過中心周波数と目標値の光周波数と間のずれ量を、従来技術とくらべて大幅に抑える。図3に示すように、第1の入出力導波路101の第1のポート（以下、ポート1と簡略化して呼ぶ）からポート8の各ポートにおいて、異なる回折次数にそれぞれ対応した複数の透過波長が使用される。サイクリックAWG100によって、表の最上段のポート1における回折次数242に対応する196400GHz（波長1526.438nm）から、表の最下段の第8のポートにおける回折次数237に対応する191700GHz（波長1563.862nm）までの48チャンネルの信号光が合分波される。

【0049】

ここで1つのポートに着目すれば、異なる回折次数にそれぞれ対応した異なる光周波数の複数の光信号が合分波されることに留意されたい。例えば、ポート1では、回折次数242に対応する光周波数196400GHzから、異なる値の回折次数237に対応する光周波数192400GHzまで、6つの異なる光周波数を持つ光信号が合分波される。これらの6つの異なる光周波数の隣り合う2つは、FSRの間隔を持つ。例えば、回折次数242に対応する光周波数196400GHzと、1つ異なる値の回折次数241に対応する光周波数195600GHzとの間には、FSRに対応する800GHzの差異がある。同様のことが、ポート2からポート8までの各ポートに当てはまる。

【0050】

図4は、本発明の実施例1のサイクリックAWGにおける導波路オフセットから直線テーパー導波路近傍をまでの構成を拡大して示した図である。第1の入出力導波路101の内の1つのポート（入出力導波路）について示されており、構成要素の各符号は、図2に示したものと同一である。本実施例においてマルチモード導波路107は、テーパー導波路108を介して第1のスラブ導波路102に接続されている。マルチモード導波路107の導波路幅は $7\mu\text{m}$ であり、直線テーパー導波路108の導波路幅は、第1のスラブ導波路102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106では、直線テーパーによってマルチモード導波路107と同等までコア幅を拡大し、さらに、導波路コアの中心軸をずらしてマルチモード導波路107に接続している。導波路オフセット106のこの不連続なコア接続部において、基底モード光の一部のパワーが変換され1次モード光が励起される。

10

【0051】

図5は、本発明の実施例1のサイクリックAWGの各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータを示した図である。8つのポートの各ポートについて、導波路オフセット106の中心軸ずれ量（ μm ）、導波路オフセットにおいて基底モードから1次モードに変換される光パワーの比率（％）、マルチモード導波路107の長さ（ μm ）および直線テーパー導波路108の長さ（ μm ）の設計値を示した。

【0052】

本発明のサイクリックAWGでは、従来技術の構成によってAWGを作製した場合の透過中心周波数（透過中心波長）の周波数ずれ（波長ずれ量）を相殺するように、スラブ導波路の接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整する。光フィールドのピーク位置は、1次モード光の発生量および位相を、相殺すべき「周波数ずれ量」に応じて設定することによって実現できる。

20

【0053】

したがって、本発明のサイクリックAWGでは、光フィールドのピーク位置を調整する手段として、1次モード光の発生量を制御する手段、および、1次モード光および基底モード光の間の位相差を制御する手段を備える。これらの手段を組み合わせ、1次モード光の発生量および位相を調整し、スラブ導波路の接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整する。

30

【0054】

導波路オフセット106の中心軸ずれ量を大きくすると、基底モードから1次モードに変換される光パワーの比率は大きくなる。したがって、従来技術の構成によってAWGを作製した場合に透過中心周波数（透過中心波長）の周波数ずれ量（波長ずれ量）が大きなポートについては、導波路オフセット106の中心軸ずれ量を大きくすれば良い。すなわち、周波数ずれが大きいポートに対しては、導波路オフセット106の中心軸ずれ量を大きく設定すれば良い。ITU-Tグリッドは、慣習的に周波数によってチャネルを識別定義することが多いので、チャネルの透過中心波長によっても、ずれ量を表現できるが、以下の説明では、周波数ずれ量に関して説明する。ITU-Tグリッドで規定される目標値からの逸脱と言う点では、波長ずれおよび周波数ずれいずれも同一の事象を意味していることに留意されたい。

40

【0055】

本実施例のサイクリックAWGは、AWGの使用温度を回折次数に応じて微調整する温度調整タイプを前提としている。すなわち、本実施例のAWGは、AWGごとに温度調整を行うことによって、透過中心周波数のずれ量を抑えるよう動作することを想定している。したがって、本発明が補償すべき周波数ずれは、図32に示したものとなる。ここで、各ポートにおいて補償すべき周波数ずれ量をより具体的に明らかにするために、ポート毎の周波数ずれ量を決定する。

【0056】

図33は、温度調整タイプのサイクリックAWGのポート毎の周波数ずれ量を説明する

50

図である。各プロット点は、図 3 2 に示した周波数ずれの波長依存性を示したものと同一である。図 3 3 の横軸は波長番号であって、左側から右側に向かって波長番号 1 ~ 4 8 が対応しており、縦軸は各波長番号に対して周波数ずれ量が表記されている。したがって、横軸を周波数に読み替えた場合は、右側で周波数がより低く、左側で周波数がより高くなることに注意されたい。簡単には、周波数依存特性および波長依存特性は、傾きの極性が逆になると考えれば良い。

【 0 0 5 7 】

ここで、左端の波長番号 1 ~ 8 の繋がった 8 つのプロット点群 1 0 0 1 は、回折次数 2 4 2 の波長群に対応している。同様に、右端の波長番号 4 1 ~ 4 8 の繋がった 8 つのプロット点群 1 0 0 6 は、回折次数 2 3 7 の波長群に対応している。本発明のサイクリック A W G では、スラブ導波路の接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整することによって、ポート毎に、周波数ずれを補償する。したがって、まずポート毎の周波数ずれ量を把握し、そのずれ量に応じた周波数補償を行う必要がある。

10

【 0 0 5 8 】

図 3 3 では、ポート 1 に対応する波長の複数のプロット点を結んだ曲線を P 1 と表記している。ここで、ポート 1 に対応する波長は、図 3 の表で 1 と表記された列の 6 つの周波数 (1 9 6 4 0 0 、 1 9 5 6 0 0 、 1 9 4 8 0 0 、 1 9 4 0 0 0 、 1 9 3 2 0 0 、 1 9 2 4 0 0 G H z) に対応している。曲線 P 1 が、ポート 1 に対応する波長に対して、補償すべき周波数ずれの周波数特性を示している。同様に、ポート 8 に対応する波長の複数のプロット点を結んだ曲線を P 8 と表記している。ここで、ポート 8 に対応する波長は、図 3 の表の 8 と表記された列の 6 つの周波数 (1 9 5 7 0 0 、 1 9 4 9 0 0 、 1 9 4 1 0 0 、 1 9 3 3 0 0 、 1 9 2 5 0 0 、 1 9 1 7 0 0 G) に対応している。曲線 P 8 が、ポート 8 に対応する波長に対して、補償すべき周波数ずれの周波数特性を示している。図面が煩雑になるため図 3 3 には示さないが、同様にポート 2 ~ ポート 7 に対応する曲線 P 2 ~ P 7 を想定できる。

20

【 0 0 5 9 】

このように図 3 3 から、ポート 1 ~ ポート 8 のポート毎に、周波数ずれの大きさおよび周波数 (波長) 特性が把握できる。図 3 3 で、ポート 4、ポート 5 (P 4、P 5) に着目すれば、周波数ずれは、最大でも 1 G H z 程度で、補償が不要なレベルであることがわかる。一方で、P 1 および P 8 の各曲線 (直線) から明らかなように、ポート 1 およびポート 8 については、いずれも補償すべきずれ量の最大値は 4 G H z と比較的大きく、周波数ずれ量の周波数特性はその傾きが互いに逆であることが分かる。したがって、このようなポート毎に異なる周波数ずれの最大量および周波数特性 (傾き・形状) に応じた補償ができれば、各々のポートに対して、ポートごとの周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、効果的に周波数ずれを抑えることが期待できる。また、1 つのポート内に現われる複数の異なる周波数に対する「補正量」の周波数特性も、図 3 3 の各プロット点から把握が可能であって、P 1 ~ P 8 の各曲線に基づいて、簡単に決定できる。上述のように、本実施例では第 1 の入出力導波路 1 0 1 の内で、両端に位置しているポート 1 およびポート 8 で、周波数ずれ量が大きいことから、本発明によって補正すべき周波数ずれの「補正量」も大きくすれば良い。

30

40

【 0 0 6 0 】

再び図 5 を参照すると、本実施例では、両端に位置しているポート 1 およびポート 8 において、導波路オフセット 1 0 6 の中心軸ずれ量をより大きくし、1 次モードに変換されるパワー比を相対的に大きくする (1 . 5 %) 。また、第 1 の入出力導波路 1 0 1 の内で中央付近に位置するポート 4 およびポート 5 では、導波路オフセット 1 0 6 の中心軸ずれ量をゼロとしており、1 次モードへ変換されるパワーが無いように設計している (0 %) 。このように、補償すべき周波数ずれ量の最大値に応じて、1 次モード光の発生量を導波路オフセット 1 0 6 の中心軸ずれ量で制御している。

【 0 0 6 1 】

したがって、本発明のサイクリック A W G では、入力された光の全パワーに対して、1

50

次モード励起機構（すなわち導波路オフセット 106）において 1 次モード光に変換されるパワーの割合が、前記複数の第 1 の入出力導波路 101 の各々の導波路で異なることになる。

【0062】

本発明のサイクリック A W G は、さらに以下のように構成される。第 1 の入出力導波路 101 の各ポートでは、導波路オフセット 106 において一部の光パワーが 1 次モードに変換される。基底モード光および 1 次モード光は、ともに直線テーパ導波路 108 と第 1 のスラブ導波路 102 の接続点に到達する。このとき、マルチモード導波路 107 および直線テーパ導波路 108 を伝搬して生じる、基底モードの光に対する実効屈折率と 1 次モードの光に対する実効屈折率との差分は、波長（周波数）によって異なる。このため、マルチモード導波路 107 および直線テーパ導波路 108 を通過した後の、基底モード光および 1 次モード光の間の位相差も波長（周波数）によって変化することになる。したがって、直線テーパ導波路 108 の終端（接続部）における光フィールドの分布についても、そのピーク位置は波長（周波数）によって変化することになる。したがって、基底モード光および 1 次モード光の間の位相差は、所定の長さを有するマルチモード導波路 107 において、波長によって変化することになる。

10

【0063】

言い換えれば、光フィールドの分布のピーク位置は、波長（周波数）依存特性を持つ。逆にこれを利用すれば、マルチモード導波路 107 および直線テーパ導波路 108 の長さを変化させることによって、光フィールドの分布のピーク位置の波長（周波数）依存特性を制御できる。

20

【0064】

そこで、各ポートに対して、そのポートを透過する複数の光波（信号）の各周波数における周波数ずれ量に適合するように、すなわち、周波数ずれ量の周波数依存特性（波長依存特性）に適合するように、マルチモード導波路 107 とテーパ導波路 108 の長さを決定してやれば良い。上記の決定された長さによって、所定の波長（周波数）に対して基底モード光および 1 次モード光の間に「所定の位相差」が与えられる。このとき、「所定の位相差」によって、透過周中心波数のずれ量を補正する補正量の周波数（波長）特性（傾き・形状）が決定されていることになる。図 33 とともに説明したように、ポート 1 ～ポート 8 のポート毎に、周波数ずれの大きさおよび周波数（波長）特性（傾き・形状）が把握されている。したがって、「所定の位相差」を与えて周波数ずれの補償量の周波数（波長）特性（傾き・形状）を決定することで、図 33 から把握される P1 ～ P8 の周波数ずれの周波数（波長）特性に適合させることができる。

30

【0065】

したがって、マルチモード導波路 107 およびテーパ導波路 108 の長さは、1 次モード光と基底モード光との間の位相差を制御する手段として機能するとともに、周波数ずれの周波数（波長）特性に適合するように、補正量の周波数特性（傾き・形状）を決定するように機能することになる。本発明のこの機能によって、直線テーパ導波路 108 の終端での光フィールドのピーク位置のシフト量（導波路幅方向：p 軸）にしたがって、周波数ずれが補正され、かつ、あるポートを透過する、異なる周波数の複数の光波（信号）に対して、周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、複数の透過中心波長を同時に一括して補正することができる。

40

【0066】

図 6 は、本実施例における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布のピーク位置が、伝搬する光波の周波数により変化する様子をポートごとに示した図である。ここで縦軸のピーク位置 p (μm) は、図 4 における p 座標軸の位置に対応し、 $p = 0$ は直線テーパ導波路の中心位置となる。横軸は光波の周波数であって、波長番号 1 ～ 48 の範囲の周波数に対応する。既に述べたように、縦軸の光フィールド分布のピーク位置のシフトによって透過中心周波数を変更し補正することができる。したがって、図 6 の縦軸は、周波数ずれの「補正量」を意味する。ここで、図 33 とともに説明した、ポート 1 ～ポート 8 のポ

50

ート毎の周波数ずれの大きさおよび周波数（波長）特性と、図 6 に示した補正量の大きさおよび周波数特性とが対応している点に留意されたい。

【 0 0 6 7 】

例えば、ポート 1 およびポート 8 では、図 3 3 で説明した P 1 および P 8 の周波数ずれ量を相殺するように、図 6 のポート 1 およびポート 8 の補正量の大きさおよび周波数特性が設定されている。すなわち、概ね横軸の中央付近（194000GHz）でピーク位置が 0（補正量が 0）となり、横軸の両端で補正量が最大となるようにポート 1 およびポート 8 の補正量が設定されている。これは、図 3 3 の P 1 および P 8 で示される周波数ずれ量が、横軸の中央付近の波長番号 24 付近で 0 であり、両端において最大となっていることに対応している。また、図 6 のポート 1 およびポート 8 の補正量は、その周波数特性の傾きが逆となっている。これも、図 3 3 の P 1 および P 8 の周波数ずれ量の傾きが逆になっていることと対応している。

10

【 0 0 6 8 】

また、ポート 4 およびポート 5 に着目すると。図 5 に示したように導波路オフセットの中心軸ずれ量が 0 μm に設定されているので、図 6 に示した補正量は 0 となる。これは、図 3 3 に示した曲線 P 4 および P 5 において、周波数ずれ量がほとんどなく、補正が不要であることに対応している。図 6 の各ポートにおける補正量の最大値および補正量の傾きの大きさは、図 5 に示した導波路オフセットの中心軸ずれ量に対応している。これは、例えば図 5 に示したポート 1 ～ポート 4 における導波路オフセットの中心軸ずれ量と、図 6 に示した補正量特性を対比すれば、明らかである。

20

【 0 0 6 9 】

さらに、図 5 に示したマルチモード導波路の長さが、ポート 1 ～ポート 4 の第 1 グループと、ポート 5 ～ポート 8 の第 2 グループとの間で、173 μm の不連続があることに留意されたい。図 6 に示した周波数ずれ「補正量」のカーブはいずれも、サイン関数状の形状を持っており 2 つのグループ間で、その位相が反転していることに注目されたい。上記 2 つのグループの間のマルチモード導波路の長さの不連続は、「補正量」のカーブの位相の反転を意味しており、図 6 における補正量の傾斜が正負逆転していることに対応する。

【 0 0 7 0 】

上述のように、本発明のサイクリック AWG における直線テーパ導波路終端の光フィールドのピーク位置の変化によって、従来のサイクリック AWG が持っていた透過中心周波数のずれが補正されることになる。この補正は、ポートごとに、導波路オフセット 106 の中心軸ずれ量を設定して、1 次モード光の発生量を制御して行われる。またその補正量は、周波数によって変化し、1 つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、複数の透過中心波長を同時に一括して補正することができる。

30

【 0 0 7 1 】

図 7 は、本実施例のサイクリック AWG について、透過中心波長の ITU-T グリッドからのずれ量を示す図である。本実施例のサイクリック AWG は温度調整タイプであり、使用する回折次数によって一定に保つ温度を微調整している。本実施例のサイクリック AWG における ITU-T グリッドからからの周波数ずれは、最大でも $\pm 1.2 \text{ GHz}$ （ $\pm 0.010 \text{ nm}$ ）であり、従来のサイクリック AWG（図 3 2）と比較して、周波数ずれ量が約 1/5 に低減されている。透過中心周波数（波長）がより ITU-T グリッドに整合したサイクリック AWG が実現されている。

40

【 0 0 7 2 】

なお、本実施形態で説明したサイクリック AWG の各ポートの設計値（図 5）では、ポート 4 およびポート 5 は導波路オフセットの軸ずれを持たせておらず、1 次モードも励起されていない。このように 1 次モードを励起させる必要のないポート、すなわち ITU-T グリッドからの周波数ずれを補償する必要のないポートについては、当然のことながら、導波路オフセット 106、マルチモード導波路 107、直線テーパ導波路 108 を設ける必要はない。これらのポートは、第 1 の入出力導波路 101 と第 1 のスラブ導波路 10

50

2とを直接接続するようにしても良い。後述する他の実施例においても同様である。

【0073】

本実施例のサイクリックAWGは、AWGの使用温度を回折次数に応じて微調整する温度調整タイプであった。本発明は、次の実施例で説明するように、アサーマル化された非温度調整タイプのサイクリックAWGにも適用できる。

【実施例2】

【0074】

本発明の実施例2に係る光波長合分波回路は、アサーマル化したサイクリックAWGに対して、実施例1で説明した本発明に特有の構成を適用したものである。本実施例のサイクリックAWGでは、AWGごとに温度調整をする必要がない。周波数ずれの補償量は、実施例1に比べて大きくなる。以下、詳細に本実施例のサイクリックAWGの構成および動作を説明する。

【0075】

図8は、本発明の実施例2のサイクリックAWGの構成を示す平面図である。サイクリックAWG200は、従来技術のAWGと同様に、第1の入出力導波路201、第1のスラブ導波路202、アレイ導波路203、第2のスラブ導波路204、および第2の入出力導波路205を備えている。本発明のサイクリックAWG200は、第1の入出力導波路101および第1のスラブ導波路202の間に、1次モード光励起機構である導波路オフセット206、マルチモード導波路207および直線テーパ導波路208をさらに備えている。本実施例のサイクリックAWG200においては、温度調整を不要とするために、第1のスラブ導波路202の途中に、導波路を分断する溝209が形成され、溝209内にはシリコン樹脂が充填されている。この溝209によって、アサーマルサイクリックAWGを実現する。

【0076】

図9は、本実施例のアサーマルサイクリックAWGにおいて、溝を横切る断面の構成を示す図である。図9は、図8の第1のスラブ導波路202内の線分AA'部分の断面構造を拡大して示している。図9においてスラブ導波路202は、シリコン基板210上に構成されており、導波路コア211およびクラッド212を含む。複数の溝209は、導波路コア211およびクラッド211の一部を取り除いて形成され、導波路コア211を分断している。

【0077】

アサーマルサイクリックAWG200の各部の構成パラメータは、以下のような構成を持つ。すべての導波路については、コア・クラッド間比屈折率差が1.5%、コア厚4.5μmである。第1の入出力導波路201、アレイ導波路203および第2の入出力導波路205のコア幅は4.5μmである。アレイ導波路203は50本の導波路を持ち、内側の導波路より一定量ΔLずつ順次長くなるよう設計され、ΔLは254.5987μmである。

【0078】

図9に示したように、溝209は複数の溝に分割されている。これは、複数の溝を構成する場合のほうが、単一の溝で構成する場合と比べて、放射損失をより低減することができるからである。アレイ導波路203では、各々の導波路が一定量ΔL順次長くなるよう設計されている。すなわち、隣り合う2つの導波路の導波路長の差がΔLとなっている。第1のスラブ導波路202において複数の溝209によって分断される長さの和は、アレイ導波路203の各導波路長に応じて、各導波路に入力する光波が、ΔLに比例した量のΔL'順次長くなるような形状をしている。

【0079】

ここでαをアレイ導波路およびスラブ導波路の実効屈折率nの温度係数(α = dn/dT、Tは温度)、α'を溝に挿入された温度補償材料の屈折率n'の温度係数(α' = dn'/dT)とする。このとき、本実施例のサイクリックAWGでは、ΔL' = ΔL / (1 - α' / α) の関係を満たすように設計されている。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、温度補償材料の光路長差の温度変化によって相殺され、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、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。このような条件の材料としては、本実施例で適用されている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。

【0080】

第1のスラブ導波路202および第2のスラブ導波路204の長さは、それぞれ $1128 \mu\text{m}$ である。第1のスラブ導波路202に接続する部分の直線テーパ導波路208の配列間隔は $15 \mu\text{m}$ であり、第1のスラブ導波路202に接続する部分のアレイ導波路203の導波路間隔および第2のスラブ導波路204に接続する部分のアレイ導波路203の導波路間隔は、それぞれ $10 \mu\text{m}$ である。第1の入出力導波路201は、8本の導波路から構成されており、光合分波器としてのポート数は8である。隣接する2つのポート間の合分波光周波数間隔は 100GHz で、FSRは 800GHz を目標値として狙って設計されている。

10

【0081】

本実施例のアサーマルサイクリックAWGによって合分波される信号光の各光周波数は実施例1と同様であり、図2で表したものである。第1の入出力導波路201のポート1からポート8において、回折次数に対応した複数の透過波長が使用され、 196400GHz （波長 1526.438nm ）から 191700GHz （波長 1563.862nm ）までの48チャンネルの信号光が合分波される。

20

【0082】

図10は、実施例2のサイクリックAWGにおける導波路オフセットから直線テーパ導波路近傍をまでを拡大した図である。実施例1で図8に示した構成と同様である。第1の入出力導波路101の内の1つのポート（入出力導波路）について示されており、構成要素の各符号は、図8に示したものと同一である。本実施例においてマルチモード導波路207は、テーパ導波路208を介して第1のスラブ導波路202に接続されている。マルチモード導波路207の導波路幅は $7 \mu\text{m}$ であり、直線テーパ導波路208の導波路幅は、第1のスラブ導波路202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206では、直線テーパによってマルチモード導波路207と同等までコア幅を拡大し、さらに、導波路コアの中心軸をずらしてマルチモード導波路207に接続している。導波路オフセット206のこの不連続なコア接続部において、基底モード光の一部のパワーが変換され1次モード光が励起される。

30

【0083】

図11は、本発明の実施例2のサイクリックAWGの各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータ値を示した図である。8つのポートの各ポートについて、導波路オフセット206の中心軸ずれ量（ μm ）、導波路オフセットにおいて基底モードから1次モードに変換される光パワーの比率（％）、マルチモード導波路207の長さ（ μm ）および直線テーパ導波路208の長さ（ μm ）の設計値を示した。

【0084】

本発明のアサーマル化したサイクリックAWGでも、従来技術の構成によってAWGを作製した場合の透過中心周波数（透過中心波長）の周波数ずれ（波長ずれ量）を相殺するように、スラブ導波路との接続部における導波路幅方向（p軸）の光フィールドのピーク位置を調整する。光フィールドのピーク位置は、1次モード光の発生量および位相を、相殺すべき「ずれ量」に応じて設定することによって実現できる。

40

【0085】

本発明のアサーマル化したサイクリックAWGでも、光フィールドのピーク位置を調整する手段として、1次モード光の発生量を制御する手段、および、1次モード光と基底モード光との間の位相差を制御する手段を備える。これらの手段を組み合わせ、1次モード光の発生量および位相を調整し、スラブ導波路との接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整する。

50

【0086】

実施例1と異なり、本実施例のサイクリックAWGは、アサーマル化されているのでAWGの使用温度の微調整は行わない非温度調整タイプを前提としている。したがって、本実施例のサイクリックAWGが補償すべき周波数ずれ量は、図31に示したものとなる。図32で示した実施例1で補償すべき周波数ずれ量と場合と比べて、ずれ量の大きさおよび周波数依存特性（波長依存特性）が大きく異なっている。したがって、実施例1とは異なる設定によって、光フィールドのピーク位置の調整を行うことになる。ここで、実施例1と同様に、各ポートにおいて補償すべき周波数ずれ量をより具体的に明らかにするために、ポート毎の周波数ずれ量を決定する。

【0087】

10

図34は、アサーマル化されたサイクリックAWGのポート毎の周波数ずれ量を説明する図である。各プロット点は、図31に示した周波数ずれの波長依存性を示したものと同一である。図34の横軸は波長番号であって、左側から右側に向かって波長番号1～48が対応しており、縦軸は各波長番号（波長）に対して透過中心周波数の周波数ずれ量が表記されている。したがって、横軸を周波数に読み替えた場合は、横軸の右側で周波数がより低く、左側で周波数がより高くなることに注意されたい。簡単には、周波数依存特性および波長依存特性は、傾きの極性が逆になると考えれば良い。

【0088】

左端の波長番号1～8に対応する繋がった8つのプロット点群1101は、回折次数242の波長群に対応している。同様に、右端の波長番号41～48に対応する繋がった8つのプロット点群1106は、回折次数237の波長群に対応している。本発明のアサーマル化したサイクリックAWGでも、スラブ導波路の接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整することによって、ポート毎に、周波数ずれを補償する。したがって、まずポート毎の周波数ずれ量を把握し、そのずれ量に応じた周波数補償を行う必要がある。

20

【0089】

図34では、ポート1に対応する波長の複数のプロット点を結んだ曲線をP1と表記している。ここで、ポート1に対応する波長は、図3の表で1と表記された列の6つの周波数（196400、195600、194800、194000、193200、192400GHz）に対応している。曲線P1が、ポート1に対応する波長に対して、補償すべき周波数ずれの周波数特性を示している。同様に、ポート8に対応する波長の複数のプロット点を結んだ曲線をP8と表記している。ここで、ポート8に対応する波長は、図3の表の8と表記された列の6つの周波数（195700、194900、194100、193300、192500、191700GHz）に対応している。曲線P8が、ポート8に対応する波長に対して、補償すべき周波数ずれの周波数特性を示している。図34には示さないが、同様にポート2～ポート7に対して、曲線P2～P7を想定できる。

30

【0090】

このように図34から、ポート1～ポート8のポート毎に、周波数ずれの大きさおよび周波数（波長）特性が把握できる。図34からは、ポート1に比べて、ポート8のほうが周波数のずれ量の最大値が大きいことがわかる。また、周波数ずれ量が0となる波長（光周波数）は、ポート1からポート8にかけて、長波長側にシフトしていることも分かる。したがって、このようなポート毎に異なる周波数ずれの最大量および周波数特性（傾き・形状）に応じた補償をすることで、実施例1の場合と同様に、各々のポートに対して、ポートごとの周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、効果的に周波数ずれを抑えることができる。1つのポート内に現われる複数の異なる周波数に対する「補正量」の周波数特性も、図34の各プロット点から把握できるP1～P8の各曲線に基づいて、簡単に決定できる。

40

【0091】

再び図11を参照すると、本実施例では、ポート1からポート8にかけてポート番号が大きいほど、導波路オフセット206の中心軸ずれ量を順次大きくし、1次モードに変換

50

されるパワー比を相対的に大きくしている（2.5%から6.0%へ）。このように、補償すべき周波数ずれ量の最大値に応じて、1次モード光の発生量を導波路オフセット206の中心軸ずれ量で制御している。

【0092】

本発明のアサermal化されたサイクリックAWGは、実施例1と同様にさらに以下のように、マルチモード導波路207および直線テーパ導波路208の長さを変化させることによって、光フィールドの分布のピーク位置の波長（周波数）依存特性を制御している。

そこで、各ポートに対して、そのポートを透過する複数の光波（信号）の各周波数における周波数ずれ量に適合するように、すなわち、周波数ずれ量の周波数依存特性（波長依存特性）に適合するように、マルチモード導波路207とテーパ導波路208の長さを決定してやれば良い。

10

【0093】

上記の決定された長さによって、所定の周波数（波長）に対して、基底モード光および1次モード光の間に「所定の位相差」が与えられる。このとき、「所定の位相差」によって、透過周中心波数のずれ量を補正する補正量の周波数（波長）特性（傾き・形状）が決定されていることになる。図34とともに説明したように、ポート1～ポート8のポート毎に、周波数ずれの大きさおよび周波数（波長）特性（傾き・形状）が把握されている。したがって、「所定の位相差」を与えて周波数ずれの補償量の周波数（波長）特性（傾き・形状）を決定することで、図34から把握されるP1～P8の周波数ずれの周波数（波長）特性に適合させることができる。

20

【0094】

図34からは、周波数ずれ量が0となる波長（周波数）がポートによって少しずつ波長番号が大きい方向に変動していることが分かる。したがって、ポート毎に、周波数ずれ量が0となる波長（周波数）に適合するように、マルチモード導波路207およびテーパ導波路208の長さを決定してやれば良い。本実施例では図11に示したように、マルチモード導波路206の長さをポート1からポート8に向かって、順次短くしていくことによって、後述するように周波数ずれの補正量のカーブ（サイン関数）の位相を調整している。

【0095】

図12は、本実施例における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布ピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化をポート毎に示した図である。ここで縦軸のピーク位置 p （ μm ）は、図10における p 座標軸の位置に対応し、 $p=0$ は直線テーパ導波路の中心位置となる。横軸は光波の周波数であって、波長番号1～48の範囲の周波数に対応する。既に述べたように、縦軸の光フィールド分布のピーク位置のシフトによって透過中心周波数を変更し補正することができる。したがって、図12の縦軸は、周波数ずれの「補正量」を意味する。

30

【0096】

実施例1の場合と同様に、図34とともに説明した、ポート1～ポート8のポート毎の周波数ずれの大きさおよび周波数（波長）特性と、図12に示した「補正量」の大きさおよび周波数特性が対応している点に留意されたい。すなわち、図34で示したP1～P8の周波数ずれ量の特性と、図12に示した各ポートの周波数ずれの「補正量」の特性とは、相互に逆特性となっている。例えば、図12の周波数ずれ補正量の振幅（最大値）は、図34の周波数ずれ量の最大値と対応している。そして、各ポートの周波数ずれの補正量の振幅は、図11における導波路オフセット206の中心軸ずれ量と対応している。また、図12の周波数ずれ補正量が0の位置は、図34の周波数ずれ量が0の位置と対応している。そして、各ポートの周波数ずれ補正量が0の位置は、図11におけるマルチモード導波路207の長さによって制御（設定）されている。

40

【0097】

実施例1の図6および実施例の図12における、周波数ずれの補正量のカーブは、より広い周波数範囲で示せば、サイン関数状の特性となる。そして、導波路オフセット206

50

の中心軸ずれ量は、このサイン関数状の特性の最大振幅を決定していると考えることができる。また、マルチモード導波路 207 およびテーパ導波路 208 の長さが、サイン関数状の特性の位相を決定していると考えることができる。

【0098】

実施例 1 および実施例 2 のサイクリック A W G では、光フィールドのピーク位置を調整する手段として、1 次モード光の発生量を制御する手段が導波路オフセットに対応することになる。また 1 次モード光と基底モード光との間の位相差を制御（設定）する手段がマルチモード導波路 207 およびテーパ導波路 208 の長さに対応することになる。これらの手段を組み合わせ、1 次モード光の発生量および位相を調整し、スラブ導波路の接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整する。このように、本実施例のアサーマル化したサイクリック A W G における直線テーパ導波路終端の光フィールドのピーク位置の変化によって、従来のサイクリック A W G が持っていた透過中心周波数のずれは、補正されることになる。

10

【0099】

透過中心周波数のずれの補正は、ポートごとに、導波路オフセット 106 の中心軸ずれ量を設定して、1 次モード光の発生量を制御して行われる。またその補正量は、周波数によって変化し、1 つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、複数の透過中心波長を同時に一括して補正することができる。すなわち、1 つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数ずれ補正量は周波数によって変化している。

20

【0100】

図 13 は、実施例 2 のサイクリック A W G について、透過中心波長の I T U - T クリッドからのずれ量を示す図である。本実施例のサイクリック A W G はアサーマル化されており、非温度調整タイプであって、A W G の温度調節は行われない。本実施例のサイクリック A W G における I T U - T クリッドからの周波数ずれは、最大でも $\pm 1.7 \text{ GHz}$ ($\pm 0.014 \text{ nm}$) であり、従来のサイクリック A W G でアサーマル化を前提とした場合（図 31）に比較して、周波数ずれ量が約 $1/5$ に低減されている。透過中心周波数（波長）がより I T U - T クリッドに整合したサイクリック A W G が実現されている。

【0101】

なお、本実施例では、温度調整を不要とするための溝 209 を第 1 のスラブ導波路 202 中に設けるようにしたが、例えば、第 2 のスラブ導波路 204 やアレイ導波路 203 上に複数の溝 209 を設け、シリコン樹脂を充填する構成にしても良いことは言うまでもない。

30

【0102】

上述の実施例 1 および実施例 2 では、導波路オフセット 106、206 を利用して、1 次モード光の発生量を制御する例を示したが、これだけに限られない。1 次モード光の発生量を制御して、透過中心周波数のずれの補正を行うために、他の手段を利用することが可能であって、次の実施例では、本発明の別の構成によるサイクリック A W G を示す。

【実施例 3】

【0103】

図 14 は、本発明の実施例 3 のサイクリック A W G の構成を示す平面図である。本実施例のサイクリック A W G 300 は、従来技術の A W G と同様に、第 1 の入出力導波路 301、第 1 のスラブ導波路 302、アレイ導波路 303、第 2 のスラブ導波路 304、および第 2 の入出力導波路 305 を備えている。本発明のサイクリック A W G 300 は、第 1 の入出力導波路 301 および第 1 のスラブ導波路 302 の間に、光スプリッタ 306、2 本のアーム導波路から成る遅延回路 307、光モード合成カブラ 308、マルチモード導波路 309、直線テーパ導波路 310 をさらに備えている。

40

【0104】

本実施例においては、光スプリッタ 306、2 本のアーム導波路から成る遅延回路 307、光モード合成カブラ 308、マルチモード導波路 309、直線テーパ導波路 310 が

50

干渉回路を構成している。すなわち、複数の第 1 の入出力導波路の各々から入力された基底モード光の一部を、1 次モード光に変換する 1 次モード励起機構は、光スプリッタ 306、2 本のアーム導波路から成る遅延回路 307、光モード合成カブラ 308 に対応する。

【0105】

サイクリック A W G 300 の各部の構成パラメータは、実施例 1 の構成とほぼ同一であって、以下のような構成を持つ。すべての導波路については、コア・クラッド間比屈折率差が 1.5%、コア厚 4.5 μm である。第 1 の入出力導波路 301、アレイ導波路 303、第 2 の入出力導波路 305 および遅延回路 307 のアーム導波路のコア幅は、4.5 μm である。アレイ導波路 303 は 50 本の導波路を持ち、内側の導波路より一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計され、 ΔL は 254.2475 μm である。

10

【0106】

また第 1 のスラブ導波路 302 および第 2 のスラブ導波路 304 の長さはそれぞれ 1128 μm である。第 1 のスラブ導波路 302 に接続する部分の直線テーパ導波路 308 の配列間隔は 15 μm であり、第 1 のスラブ導波路 302 に接続する部分のアレイ導波路 303 の導波路間隔および第 2 のスラブ導波路 304 に接続する部分のアレイ導波路 303 の導波路間隔は、それぞれ 10 μm である。第 1 の入出力導波路 301 は、8 本の導波路から構成されており、光合分波器としてのポート数は 8 である。隣接する 2 つのポート間の合分波光周波数間隔は 100 GHz で、FSR は 800 GHz を目標値として狙って設計されている。

20

【0107】

本実施例のサイクリック A W G によって合分波される信号光の各光周波数は実施例 1 と同様であり、図 2 で表したものである。第 1 の入出力導波路 301 のポート 1 からポート 8 において、回折次数に対応した複数の透過波長が使用され、196400 GHz (波長 1526.438 nm) から 191700 GHz (波長 1563.862 nm) までの 48 チャンネルの信号光が合分波される。

【0108】

図 15 は、実施例 3 のサイクリック A W G における光スプリッタから直線テーパ導波路近傍をまでを拡大した図である。第 1 の入出力導波路 301 の内の 1 つのポート (入出力導波路) について示されており、構成要素の各符号は、図 14 に示したものと同一である。本実施例においてマルチモード導波路 309 の導波路幅は 7 μm であり、直線テーパ導波路 310 の導波路幅は、第 1 のスラブ導波路 302 に接続する部分で 11.5 μm である。光スプリッタ 306 として、方向性結合器を用いている。

30

【0109】

遅延回路 307 は第 1 のアーム導波路 307 a および第 2 のアーム導波路 307 b から構成される。光モード合成カブラ 308 としては導波路幅が非対称な方向性結合器を用いており、第 1 のアーム導波路 307 a に接続する導波路 308 a の幅を 2 μm 、第 2 のアーム導波路 307 b に接続する導波路 308 b の幅を 7 μm とした。また第 1 のアーム導波路 307 a から導波路 308 a へ、および、第 2 のアーム導波路 307 b から導波路 308 b へはテーパ導波路により滑らかに導波路幅が変換されている。導波路 308 a、308 b の長さは、テーパ導波路を含めて 500 μm とした。

40

【0110】

このとき導波路 308 a の基底モード実効屈折率と、導波路 308 b の 1 次モード実効屈折率はほぼ等しくなっており、第 1 のアーム導波路 307 a から導波路 308 a に入力する基底モード光は、導波路 308 b の 1 次モードに結合する。また第 2 のアーム導波路 307 b から入力する基底モード光は、そのまま導波路 308 b を基底モードで伝播する。したがって、マルチモード導波路 309 へは基底モードと 1 次モードが合成されて出力される。本実施例の設計では、光モード合成カブラ 308 の、導波路 308 a から導波路 308 b への結合率は 70% である。

本実施例のサイクリック A W G は、実施例 1 と同様に A W G の使用温度を回折次数に応

50

じて微調整する温度調整タイプを前提としている。本実施例のサイクリックAWGでは、AWGごとに温度調整を行うことによって、さらに透過中心周波数のずれ量を抑えるよう動作する。したがって、本実施例のサイクリックAWGにおいて補償すべき周波数ずれ量は、実施例1における周波数ずれの特性として説明した図32に示したものとなる。各ポートにおいて補償すべき周波数ずれ量は、実施例1の場合と同じである。

【0111】

図16は、本発明の実施例3のサイクリックAWGの各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータ値を示した図である。8つのポートの各ポートについて、光スプリッタ306の分岐比、第2のアーム導波路307bに対する第1のアーム導波路307aの長さの差、光モード合成カブラ308から出力する光の全パワーに対する1次モード光のパワー比率、マルチモード導波路309の長さ(μm)および直線テーパ導波路310の長さ(μm)の設計値を示した。

10

【0112】

本実施例では、実施例1および実施例2における導波路オフセット106および導波路オフセット206に代えて、光スプリッタ306からマルチモード導波路309までの部分が、1次モード光の発生量および位相を制御するように動作する。本実施例では、第1の入出力導波路301の内の端に位置するポート1およびポート8において光スプリッタ306の分岐比を大きくすることによって、1次モードに変換されるパワー比を大きくしている。また、第1の入出力導波路301の内の中央付近に位置するポート4およびポート5において光スプリッタ306の分岐比をゼロとしており、1次モードへ変換されるパワーが無いように設計している。

20

【0113】

各ポートの光スプリッタ306により第1のアーム導波路307aに分岐された一部の光パワーが、光モード合成カブラ308によって1次モードに変換される。基底モード光および1次モード光がともに、直線テーパ導波路310および第1のスラブ導波路302の接続点(直線テーパ導波路310の終端部)に到達する。この接続点へ到達する光の基底モード光および1次モード光の間の位相差は、第1のアーム導波路307aと第2のアーム導波路307bの長さの差と、所定の長さを有するマルチモード導波路309および直線テーパ導波路310により生じる。その位相差は、波長(周波数)によって変化するため、直線テーパ導波路310の終端での光フィールド分布においては、そのピーク位置が、波長によって(依存して)導波路幅方向(p軸上で)に変化する。

30

【0114】

ここで、本実施例における、直線テーパ導波路310の終端部へ到達する光の基底モード光および1次モード光の間の位相差について考える。両モード光間の位相差は、第1のアーム導波路307aと第2のアーム導波路307bとの間の長さの差により与えられる位相差(第1の位相差)と、所定の長さを有するマルチモード導波路309および直線テーパ導波路310により与えられる位相差(第2の位相差)の和となる。本実施例では、2つの位相差の和が、補償すべき周波数ずれに応じて設定されるべき量になっていれば、2種類の位相差を分配する比率はどのようにも設定することができる。本実施例では、ポート1からポート8における第1のアーム導波路307aおよび第2のアーム導波路307bの長さをそれぞれ同一とし、すべてのポートに対して一定の位相差(第1の位相差)を与えた上で、各ポートのマルチモード導波路309の長さを調節することによって、ポートごと異なる位相差(第2の位相差)を調整している。

40

【0115】

したがって、本実施例では、1次モード励起機構は、光スプリッタと、前記光スプリッタに接続する第1のアーム導波路および第2のアーム導波路と、前記第1のアーム導波路および第2のアーム導波路に接続し、前記第2のアーム導波路から入力する基底モード光を1次モードに変換し、前記第1のアーム導波路から入力する基底モードと合流させて出力する光モード合成カブラで構成される。基底モード光および1次モード光の間の位相差は、第1のアーム導波路と第2のアーム導波路の設定された光路長差および所定の長さを

50

有するマルチモード導波路 309 とテーパ導波路 310 によって、波長に依存して変化するようになる。

【0116】

本実施例においても、1 次モード光の発生量および位相を調整し、スラブ導波路の接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整することができる。サイクリック A W G における直線テーパ導波路終端の光フィールドのピーク位置の変化によって、従来のサイクリック A W G が持っていた透過中心周波数のずれが補正されることになる点で、実施例 1 および実施例 2 と全く同様に動作する。

【0117】

図 17 は、本実施例における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布ピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化をポートごとに示した図である。ここで縦軸のピーク位置 p (μm) は、図 15 における p 座標軸の位置に対応し、 $p = 0$ は直線テーパ導波路の中心位置となる。横軸は光波の周波数であって、波長番号 1 ~ 48 の範囲の周波数に対応する。既に述べたように、縦軸の光フィールド分布のピーク位置のシフトによって透過中心周波数を変更し補正することができる。したがって、図 17 の縦軸は、周波数ずれの「補正量」を意味する。当然のことではあるが、実施例 1 と同じ周波数ずれを補正するための補正量の特性であるため、図 6 および図 17 はほとんど同一の特性となる。

【0118】

本実施例では、透過中心周波数ずれの補正は、ポートごとに、光スプリッタ 306 の分岐比を設定して、1 次モード光の発生量を制御して行われる。またその補正量は、周波数によって変化し、1 つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、複数の透過中心波長を同時に一括して補正することができる。すなわち、1 つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数ずれ補正量は、周波数によって変化している。

【0119】

図 18 は、実施例 2 のサイクリック A W G について、透過中心波長の I T U - T クリッドからのずれ量を示す図である。本実施例のサイクリック A W G は温度調整タイプであり、使用する回折次数によって一定に保つ温度を微調整している。本実施例のサイクリック A W G における I T U - T クリッドからの周波数ずれは、最大でも $\pm 1.2 \text{ GHz}$ ($\pm 0.010 \text{ nm}$) であり、従来のサイクリック A W G (図 32) と比較して、周波数ずれ量が約 1 / 5 に低減されている。透過中心周波数 (波長) がより I T U - T クリッドに整合したサイクリック A W G が実現されている。

【0120】

本実施例においては、図 15 に示したように、光モード合成カブラ 308 として、非対称な方向性結合器を適用したが、光モード合成カブラ 308 の具体的な構成は方向性結合器だけに限定されない。

【0121】

図 19 は、光モード合成カブラの別の構成例を拡大して示した図である。図 19 の構成の光モード合成カブラ 308 は、図 15 に示したのと同様に非対称な方向性結合器ではあるが、導波路 308 a に接続する出力導波路は、溝 311 によって終端されている。ここで、溝 311 には光波を吸収するような遮光材料が挿入されている。また遮光材料と出力導波路との界面は導波路に垂直ではなく、垂直面から 8 度傾いている。図 19 の光モード合成カブラの構成を採用することにより、図 15 の構成に比較して、導波路 308 a から導波路 308 b に結合せずに僅かに残る光を遮断して、第 1 のスラブ導波路 302 などに迷光が侵入することを抑制する。また、迷光の反射も抑制することができるため、クロストークおよび反射特性により優れたサイクリック A W G を実現可能である。

【0122】

図 20 は、光モード合成カブラのさらに別の構成例を拡大して示した図である。図 20 の構成の光モード合成カブラ 308 は、図 15 に示したのと同様に非対称な方向性結合器ではあるが、導波路 308 a はその幅が徐々に狭くなり、幅が無くなって終端する構造に

10

20

30

40

50

なっている。このとき、導波路 308a、308b の長さは $1500\mu\text{m}$ に設計されている。図 20 の光モード合成カプラの構成を採用することにより、図 15 の構成に比較して、導波路 308a から導波路 308b への光波の結合率をほぼ 100% にすることができる。このため、損失特性により優れたサイクリック AWG が実現可能である。

【0123】

また本実施例においては、図 15 のように、光スプリッタ 306 として、単一の方向性結合器を適用したが、光スプリッタ 306 はこの構成に限定されない。例えば、非対称 Y 分岐回路、MMI、波長無依存カプラ (WINC) によっても実現することができる。

【0124】

本実施例においても、実施例 1 と同様に、サイクリック AWG における直線テーパ導波路 10 終端の光フィールドのピーク位置の変化によって、従来のサイクリック AWG が持っていた透過中心周波数のずれが補正されることになる。この補正は、ポートごとに、光スプリッタ 306 の分岐比を設定して、1 次モード光の発生量を制御して行われる。またその補正量は、周波数によって変化し、1 つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、複数の透過中心波長を同時に一括して補正することができる。実施例 3 の構成を、アサーマル化することもできる。次の実施例は、実施例 3 のサイクリック AWG の構成に対して、実施例 2 のアサーマル化 AWG の構成を組み合わせたものとなる。

【実施例 4】

【0125】

図 21 は、本発明の実施例 4 のサイクリック AWG の構成を示す平面図である。本実施例のサイクリック AWG 400 は、従来技術の AWG と同様に、第 1 の入出力導波路 401、第 1 のスラブ導波路 402、アレイ導波路 403、第 2 のスラブ導波路 404、および第 2 の入出力導波路 405 を備えている。本発明のサイクリック AWG 400 は、実施例 3 と同様に、第 1 の入出力導波路 401 および第 1 のスラブ導波路 402 の間に、光スプリッタ 406、2 本のアーム導波路から成る遅延回路 407、光モード合成カプラ 408、マルチモード導波路 409、直線テーパ導波路 410 を備えている。本実施例では、さらに、温度調整を不要とするために、第 1 のスラブ導波路 402 の途中に、導波路を分断する溝 409 が形成され、溝 409 内にはシリコン樹脂が充填されている。この溝 409 によって、アサーマルサイクリック AWG を実現する。 30

【0126】

アサーマルサイクリック AWG 400 の各部の構成パラメータは、以下のような構成を持つ。すべての導波路については、コア・クラッド間屈折率差が 1.5%、コア厚 $4.5\mu\text{m}$ である。第 1 の入出力導波路 401、アレイ導波路 403、第 2 の入出力導波路 405、および遅延回路 407 のアーム導波路のコア幅は $4.5\mu\text{m}$ である。アレイ導波路 403 は 50 本の導波路を持ち、内側の導波路より一定量 ΔL ずつ順次長くなるよう設計され、 ΔL は $254.60\mu\text{m}$ である。

【0127】

図 21 に示したように、溝 409 は複数の溝に分割されている。これは、複数の溝を構成する場合のほうが、単一の溝で構成する場合と比べて、放射損失をより低減することができるからである。アレイ導波路 403 では、各々の導波路が一定量 ΔL 順次長くなるよう設計されている。すなわち、隣り合う 2 つの導波路の導波路長の差が ΔL となっている。第 1 のスラブ導波路 402 において複数の溝 409 によって分断される長さの和は、アレイ導波路 403 の各導波路長に応じて、各導波路に入力する光波が、 ΔL に比例した量の $\Delta L' = 1/34 \times \Delta L$ 順次長くなるような形状をしている。 40

【0128】

また、第 1 のスラブ導波路 402 および第 2 のスラブ導波路 404 の長さはそれぞれ $128\mu\text{m}$ である。第 1 のスラブ導波路 402 に接続する部分の直線テーパ導波路 408 の配列間隔は $15\mu\text{m}$ であり、第 1 のスラブ導波路 402 に接続する部分のアレイ導波路 403 の導波路間隔および第 2 のスラブ導波路 404 に接続する部分のアレイ導波路 40 50

3の導波路間隔は、それぞれ10 μm である。第1の入出力導波路401は、8本の導波路から構成されており、光合分波器としてのポート数は8である。隣接する2つのポート間の合分波光周波数間隔は100GHzで、FSRは800GHzを目標値として狙って設計されている。

【0129】

本実施例のサイクリックAWGによって合分波される信号光の各光周波数は実施例1～実施例3と同様であり、図2で表したものである。第1の入出力導波路401のポート1からポート8において、回折次数に対応した複数の透過波長が使用され、196400GHz（波長1526.438nm）から191700GHz（波長1563.862nm）までの48チャンネルの信号光が合分波される。

10

【0130】

図22は、実施例4のサイクリックAWGにおける光スプリッタから直線テーパ導波路近傍をまでを拡大した図である。第1の入出力導波路401の内の1つのポート（入出力導波路）について示されており、構成要素の各符号は、図21に示したものと同一である。本実施例においてマルチモード導波路409の導波路幅は7 μm であり、直線テーパ導波路410の導波路幅は、第1のスラブ導波路402に接続する部分で11.5 μm である。光スプリッタ406として、方向性結合器を用いている。

【0131】

遅延回路407は第1のアーム導波路407aおよび第2のアーム導波路407bから構成される。光モード合成カプラ408としては導波路幅が非対称な方向性結合器を用いており、第1のアーム導波路407aに接続する導波路408aの幅を2 μm 、第2のアーム導波路407bに接続する導波路408bの幅を7 μm とした。また第1のアーム導波路407aから導波路408aへ、および、第2のアーム導波路407bから導波路408bへはテーパ導波路により滑らかに導波路幅が変換されている。導波路408a、408bの長さは、テーパ導波路を含めて500 μm とした。

20

【0132】

このとき導波路408aの基底モード実効屈折率と、導波路408bの1次モード実効屈折率はほぼ等しくなっており、第1のアーム導波路407aから導波路408aに入力する基底モード光は、導波路408bの1次モードに結合する。また第2のアーム導波路407bから入力する基底モード光は、そのまま導波路408bを基底モードで伝播する。したがって、マルチモード導波路409へは基底モードと1次モードが合成されて出力される。本実施例の設計では、光モード合成カプラ408の、導波路408aから導波路408bへの結合率は70%である。

30

【0133】

図23は、本発明の実施例4のサイクリックAWGの各ポートにおける透過中心波長の補償に関連するパラメータ値を示した図である。8つのポートの各ポートについて、光スプリッタ406の分岐比、第2のアーム導波路407bに対する第1のアーム導波路407aの長さの差、光モード合成カプラ408から出力する光の全パワーに対する1次モード光のパワー比率、マルチモード導波路409の長さ（ μm ）および直線テーパ導波路410の長さ（ μm ）の設計値を示した。

40

【0134】

本実施例も、実施例3と同様に、光スプリッタ406からマルチモード導波路409までの部分が、1次モード光の発生量および位相を制御するように動作する。実施例3と異なり、本実施例のサイクリックAWGは、アサーマル化されているのでAWGの使用温度の微調整は行わない非温度調整タイプを前提としている。したがって、本実施例のサイクリックAWGが補償すべき周波数ずれは、実施例2と同じく図31に示したものとなる。すなわち、実施例2と同様に、図34が、アサーマル化されたサイクリックAWGのポート毎の周波数ずれ量を示している。

【0135】

したがって、図34に示したポート毎に異なる周波数ずれの最大量および周波数特性（

50

傾き・形状)に応じた補償をすることで、実施例3の場合と同様に、各々のポートに対して、ポートごとの周波数ずれ量の周波数特性に適合するように、効果的に周波数ずれを抑えることができる。また、1つのポート内に現われる複数の異なる周波数に対する補正量の周波数特性も、図34の各プロット点から把握できるP1~P8の各曲線に基づいて、簡単に決定できる。

【0136】

本実施例では、各ポートの光スプリッタ406により第1のアーム導波路407aに分岐された一部の光パワーが、光モード合成カブラ408によって1次モードに変換される。基底モード光および1次モード光がともに、直線テーパ導波路410および第1のスラブ導波路402の接続点(直線テーパ導波路410の終端部)に到達する。この接続点へ到達する光の基底モード光および1次モード光の間の位相差は、第1のアーム導波路407aおよび第2のアーム導波路407bの間の長さの差と、所定の長さを有するマルチモード導波路409および直線テーパ導波路410により生じる。その位相差は、波長(周波数)によって変化するため、直線テーパ導波路410の終端での光フィールド分布においては、そのピーク位置は、波長によって(依存して)導波路幅方向(p軸上で)に変化する。

10

【0137】

実施例3と同様に、本実施例においても、第1のアーム導波路407aと第2のアーム導波路407bとの間の長さの差により与えられる位相差(第1の位相差)と、所定の長さを有するマルチモード導波路409および直線テーパ導波路410により与えられる位相差(第2の位相差)の和となる。本実施例では、ポート1からポート8における第1のアーム導波路407aおよび第2のアーム導波路407bの長さをそれぞれ同一とし、すべてのポートに対して一定の位相差(第1の位相差)を与えた上で、各ポートのマルチモード導波路409の長さを調節することによって、ポートごと異なる位相差(第2の位相差)を調整している。

20

【0138】

したがって、本実施例においても、1次モード光の発生量および位相を調整し、スラブ導波路の接続部における導波路幅方向の光フィールドのピーク位置を調整する。サイクリックAWGにおける直線テーパ導波路終端の光フィールドのピーク位置の変化によって、従来のサイクリックAWGが持っていた透過中心周波数のずれは補正されることになる点で、実施例1~実施例3と全く同様に動作する。

30

【0139】

再び図23を参照すると、本実施例では、ポート1からポート8にかけてポート番号が大きいほど、光スプリッタ406の分岐比を順次大きくし、1次モードに変換されるパワー比を相対的に大きくしている(2.5%から6.0%へ)。このように、補償すべき周波数ずれ量の最大値に応じて、1次モード光の発生量を光スプリッタ406の分岐比で制御している。

【0140】

図24は、本実施例における、直線テーパ導波路終端の光フィールド分布ピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化をポートごとに示した図である。ここで縦軸のピーク位置p(μm)は、図22におけるp座標軸の位置に対応し、p=0は直線テーパ導波路の中心位置となる。横軸は光波の周波数であって、波長番号1~48の範囲の周波数に対応する。既に述べたように、縦軸の光フィールド分布のピーク位置のシフトによって透過中心周波数を変更し補正することができる。したがって、図24の縦軸は、周波数ずれの「補正量」を意味する。当然のことではあるが、実施例2と同じ周波数ずれを補正するための補正量の特長であるため、図12および図24はほとんど同一の特長となる。

40

【0141】

本実施例では、透過中心周波数のずれの補正は、ポートごとに、光スプリッタ406の分岐比を設定して、1次モード光の発生量を制御して行われる。またその補正量は、周波数によって変化し、1つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数

50

ずれ量の周波数特性に適合するように、複数の透過中心波長を同時に一括して補正することができる。すなわち、1つのポート内に現れる異なる複数の周波数の光波に対して、周波数ずれ補正量は周波数によって変化している。

【0142】

図25は、実施例4のサイクリックAWGについて、透過中心波長のITU-Tクリッドからのずれ量を示す図である。本実施例のサイクリックAWGはアサーマル化されており、非温度調整タイプであって、AWGの温度調節は行われない。本実施例のサイクリックAWGにおけるITU-Tクリッドからからの周波数ずれは、最大でも $\pm 1.7 \text{ GHz}$ ($\pm 0.014 \text{ nm}$)であり、従来のサイクリックAWGでアサーマル化を前提とした場合(図31)に比較して、周波数ずれ量が約1/5に低減されている。透過中心周波数(波長)がよりITU-Tクリッドに整合したサイクリックAWGが実現されている。

10

【0143】

本実施例においては、図22に示したように、光モード合成カブラ408として、非対称な方向性結合器を適用したが、光モード合成カブラ408の具体的な構成は方向性結合器だけに限定されない。実施例3で説明した図19のように、導波路408aに接続する出力導波路を遮光材料が挿入された溝で終端し、迷光や反射を抑制する構成を採用することができる。また、図20のように導波路408aの幅を徐々に狭めて終端し、導波路408bへの光の結合率をほぼ100%にする構成も適用可能である。

【0144】

また本実施例においては、図22のように、光スプリッタ406として、単一の方向性結合器を適用したが、光スプリッタ406の具体的な構成は方向性結合器だけに限定されない。例えば非対称Y分岐回路、MMI、波長無依存カブラ(WINC)によっても実現される。

20

【0145】

本実施例では、温度調整を不要とするための溝411を第1のスラブ導波路402中に設けている。しかしながらこの構成に限られず、例えば、第2のスラブ導波路404やアレイ導波路403の中に複数の溝411を設け、シリコン樹脂を充填するようにしても良いことは言うまでもない。

【0146】

既に述べたとおり、実施例3および実施例4においては、直線テーパ導波路の終端部へ到達する光の基底モード光および1次モード光の間の位相差について、第1のアーム導波路と第2のアーム導波路との間の長さの差により与えられる位相差(第1の位相差)と、所定の長さを有するマルチモード導波路および直線テーパ導波路により与えられる位相差(第2の位相差)の和となる。したがって、2つの位相差の和が、補償すべき周波数ずれに応じて設定されるべき量として、2種類の位相差を適切に分配することができる。したがって、図16および図23に示したのとは異なり、第1のアーム導波路と第2のアーム導波路との間の長さをポート毎に変更可変することもできる。

30

【0147】

ここで、図17および図24に示した直線テーパ導波路終端の光フィールド分布ピーク位置の、伝搬する光波の周波数による変化との関連から、上述の2種類の位相差は次のように説明できる。既に述べたように、図17および図24は、周波数ずれの「補正カーブ」に対応する。この補正カーブは、サイン関数状の形状を持っている。

40

【0148】

具体的には、基底モード光および1次モード光の位相差は、サイン関数状のカーブの次のパラメータを利用して調整を行っているといえることができる。

【0149】

サイン関数状の補正カーブ y は、 x を正規化した周波数とすると、単純化すれば、例えば次の式のように表現できる。

$$y = A \times \sin(B \times x + C) \quad \text{式(2)}$$

【0150】

50

ここで、調整できるパラメータの１つは、サイン関数のＣであって、Ｃを設定することによって、補正カーブのピーク波長（周波数）を設定できる。また、Ｂを設定することによって、補正カーブの周期すなわち波長依存性を設定できる。実施例３および実施例４では、第１のアーム導波路と第２のアーム導波路との間の長さの差による第１の位相差によって上記サイン関数状カーブの周期（Ｂ）を調整し、マルチモード導波路の長さによる第２の位相差によってサインカーブのピーク波長（Ｃ）を調整していると見ることができる。これは２種類の位相差を分配する一例であり、本発明においては、２つの位相差の和が、補償すべき周波数ずれに応じて設定されるべき量として、２種類の位相差を適切に分配することができる。尚、実施例１、実施例２ではＢおよびＣ両方の調整をマルチモード導波路の長さだけで行っていることになる。

10

【０１５１】

以上の４つの実施例から分かるように、本発明の温度調整タイプのサイクリックＡＷＧ光波長合分波回路またはアサermalタイプのサイクリックＡＷＧ光波長合分波回路では、従来技術において課題であった、ＩＴＵ－Ｔグリッドからの透過中心波長のずれが抑制され、透過中心波長の精度に優れた、光波長合分波回路を得ることができる。

【０１５２】

全ての実施例では、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。

【０１５３】

全ての実施の形態では、ＡＷＧの設計パラメータを特定の値を例として説明したが、本発明の適用範囲は、必要とされる合分波特性やシステムのチャネル構成に応じて、また、導波路の構成に応じて、様々に変形して実現できるものであって、実施例のパラメータに限定されるものではない。

20

【０１５４】

全ての実施の形態では、合分波される信号の波長数、波長（周波数）間隔を特定の例について説明したが、本発明は、他の構成に対しても様々に変形して適用可能であって、実施例のパラメータに限定されるものではない。

【０１５５】

実施例２および実施例４では、温度補償材料としてシリコーン樹脂を使用した。本発明は、この材料に限定されるものではなく、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する他のどのような材料も適用することができる。

30

【０１５６】

全ての実施例においては、第２の入出力導波路および第２のスラブ導波路を直接接続する構成を例として説明してきたが、この接続部に直線テーパ導波路を適用しても良い。この場合は、サイクリックＡＷＧの透過率形状はガウシアンとなる。さらには、第２の入出力導波路およびスラブ導波路の接続部に２次モードを励起するようなテーパ導波路、例えばパラボラ形状のテーパ導波路を適用しても良い。この場合は、サイクリックＡＷＧは平坦な透過率形状を実現することが可能である。

【産業上の利用可能性】

【０１５７】

本発明は、一般的に通信システムに利用することができる。特に、光通信システムに利用することができる。

40

【符号の説明】

【０１５８】

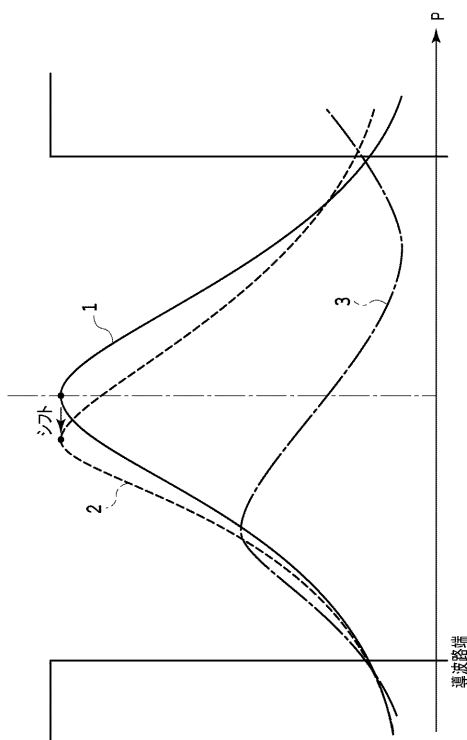
１００、２００、３００、４００、９１００	サイクリックＡＷＧ
１０１、２０１、３０１、４０１、９１０１	１の入出力導波路
１０２、２０２、３０２、４０２、９１０２	第１のスラブ導波路
１０３、２０３、３０３、４０３、９１０３	アレイ導波路
１０４、２０４、３０４、４０４、９１０４	第２のスラブ導波路
１０５、２０５、３０５、４０５、９１０５	第２の入出力導波路

50

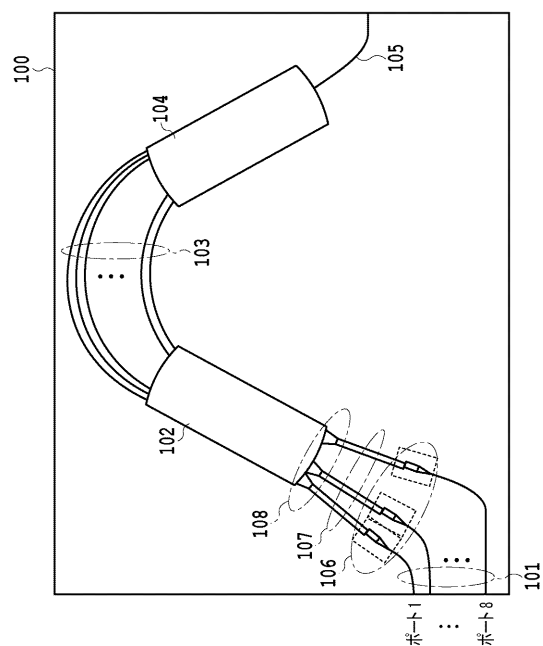
- 106、206 導波路オフセット
 107、207、309、409 マルチモード導波路
 108、208、310、410 直線テーパ導波路
 210 シリコン基板
 211 導波路コア
 212 クラッド
 306、406 光スプリッタ
 307、407 遅延回路
 307a、307b、407a、407b アーム導波路
 308、408 光モード合成カプラ
 308a、408a、308b、408b 導波路
 209、311、411 溝
 9200 サイクリックAWGの回路
 9201 第1の入出力導波路に接続するポート
 9202 第2の入出力導波路にポート
 9400 6分岐のカプラまたは6ポートの波長群合分波フィルタ
 9401、9402、9403、9404、9405、9406 サイクリックAWG

10

【図1】



【図2】

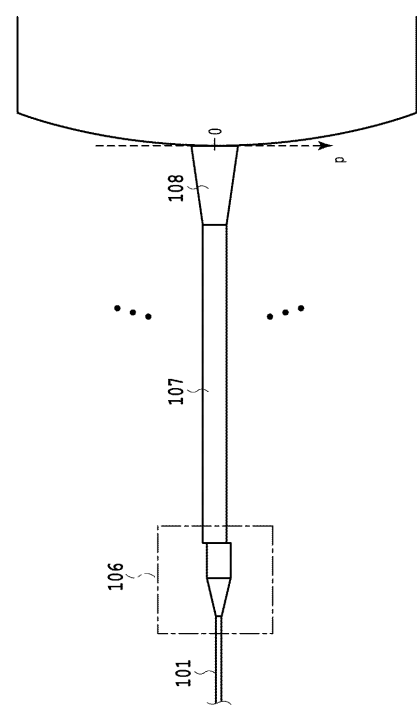


【 図 3 】

	回折次数							
	242	241	240	239	238	237		
第一の 入力導波路	1	196400	195600	194800	194000	193200	192400	
	2	196300	195500	194700	193900	193100	192300	
	3	196200	195400	194600	193800	193000	192200	
	4	196100	195300	194500	193700	192900	192100	
	5	196000	195200	194400	193600	192800	192000	
	6	195900	195100	194300	193500	192700	191900	
	7	195800	195000	194200	193400	192600	191800	
	8	195700	194900	194100	193300	192500	191700	

単位 [GHz]

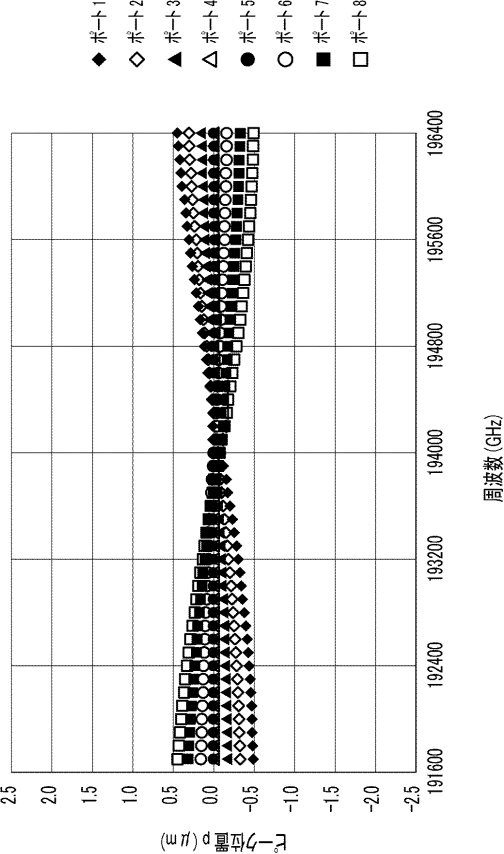
【 図 4 】



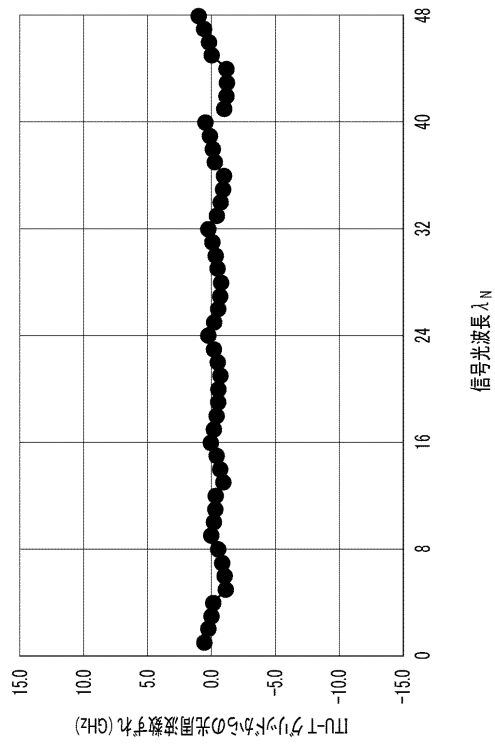
【 図 5 】

ポート	導波路オフセットの 中心軸ずれ量 (μm)	基底モードから 1次モードに変換される 光パワーの比率 (%)	マルチモード導波路の 長さ (μm)	直線テーパ導波路の 長さ (μm)
1	0.23	1.5	2885	500
2	0.15	1.0	2882	500
3	0.08	0.5	2879	500
4	0.00	0.0	2876	500
5	0.00	0.0	2703	500
6	0.08	0.5	2700	500
7	0.15	1.0	2697	500
8	0.23	1.5	2694	500

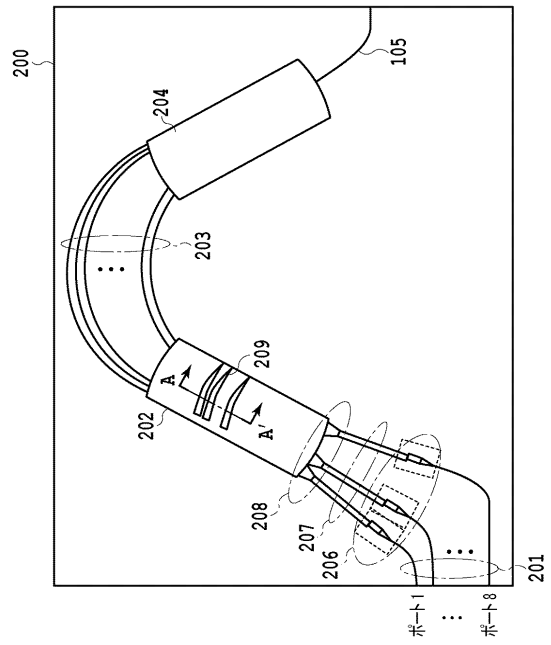
【 図 6 】



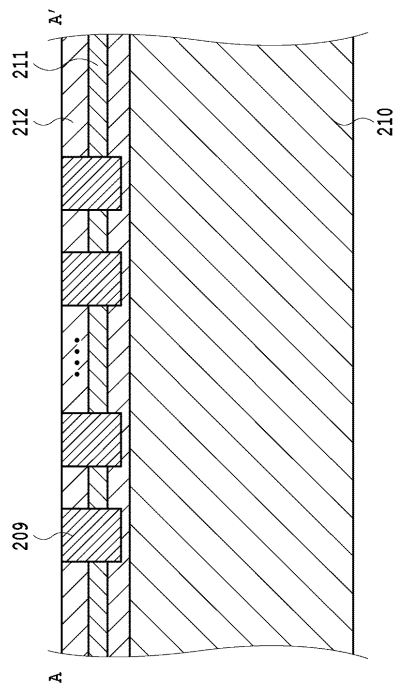
【図 7】



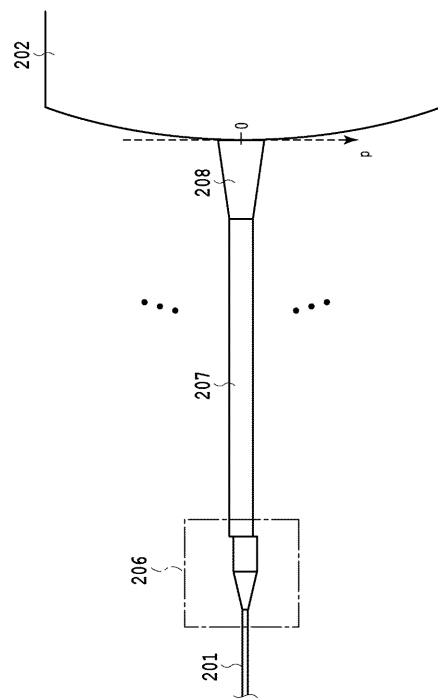
【図 8】



【図 9】



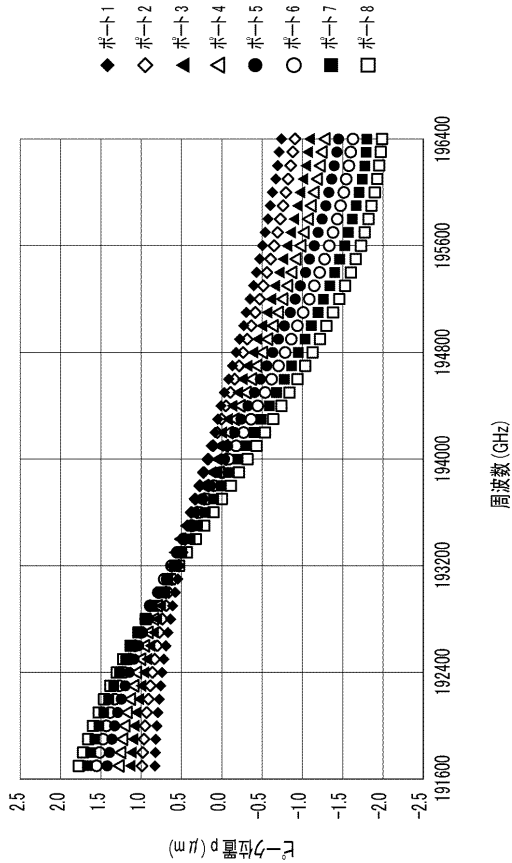
【図 10】



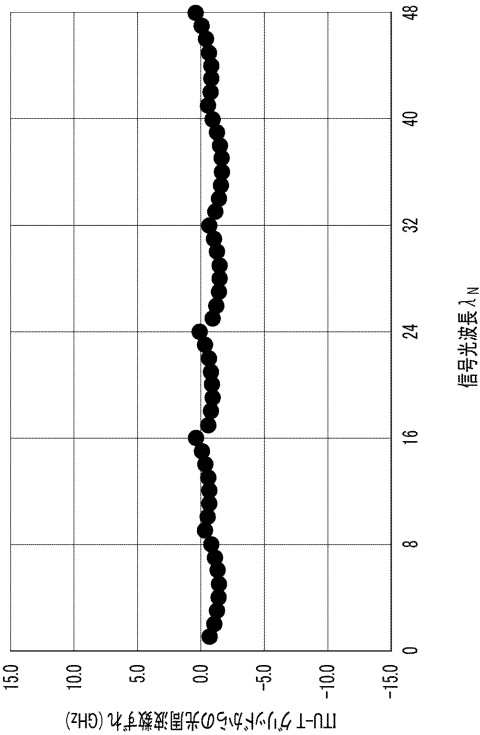
【 図 1 1 】

ポート	導波路オフセットの 中心軸ずれ量 (μm)	基底モードから 1次モードに変換される 光パワーの比率 (%)	マルチモード導波路の 長さ (μm)	直線テーパ導波路の 長さ (μm)
1	0.38	2.5	2714	500
2	0.45	3.0	2711	500
3	0.53	3.5	2708	500
4	0.60	4.0	2705	500
5	0.68	4.5	2703	500
6	0.75	5.0	2700	500
7	0.83	5.5	2697	500
8	0.90	6.0	2694	500

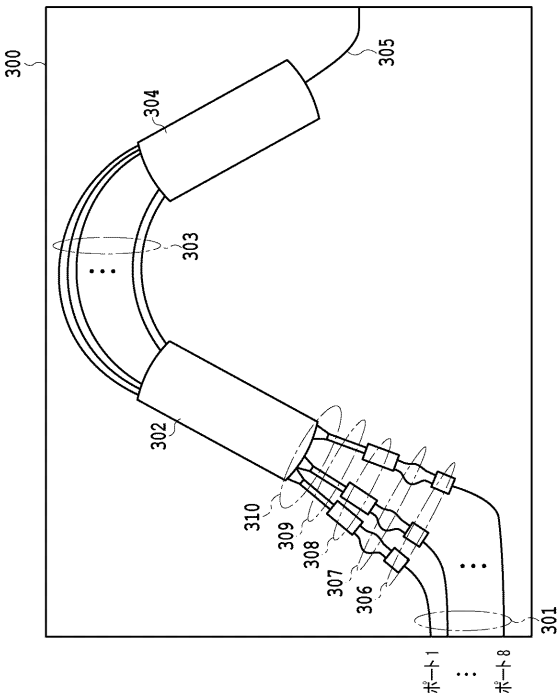
【 図 1 2 】



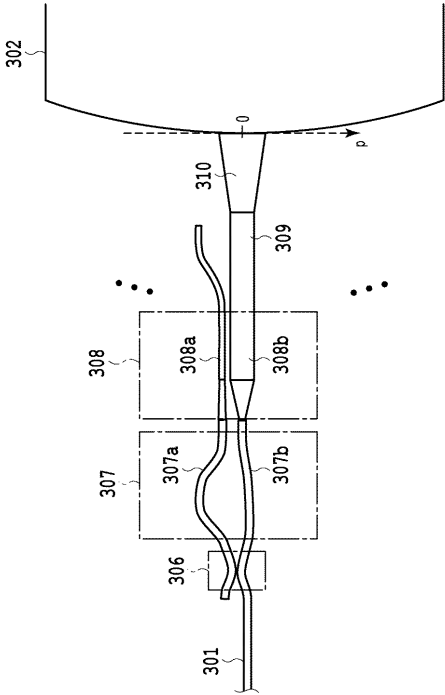
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



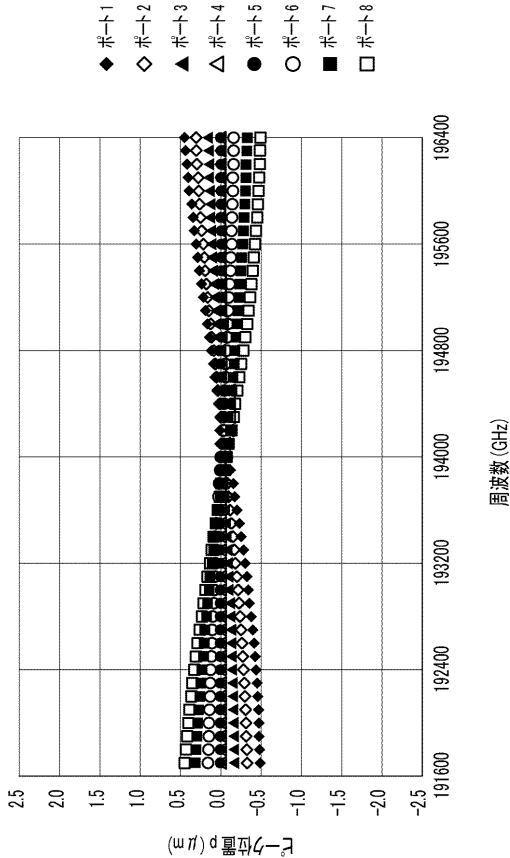
【図 1 5】



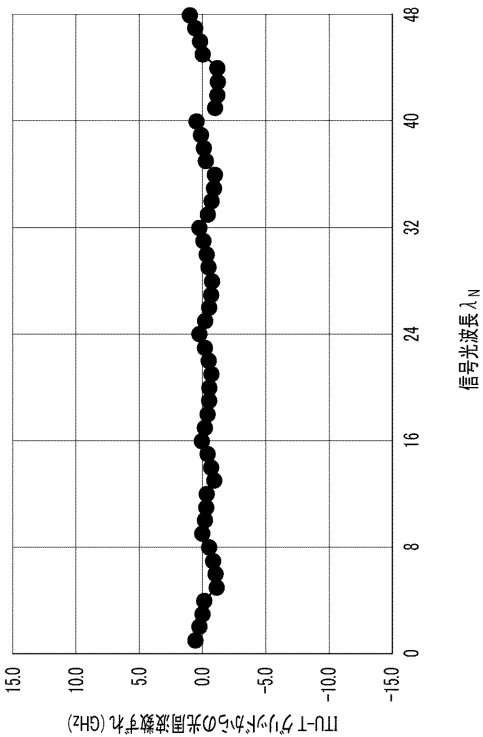
【図 1 6】

ポート	光スプリッタの分岐比 (%)	第二のアーム導波路 第一のアーム導波路の 長さの差 (μm)	1次モード 光パワーの比率	マルチモード導波路の 長さ (μm)	直線アーム導波路の 長さ (μm)
1	2.1	1758	1.5	410	500
2	1.4	1758	1.0	407	500
3	0.7	1758	0.5	404	500
4	0.0	1758	0.0	401	500
5	0.0	1758	0.0	228	500
6	0.7	1758	0.5	225	500
7	1.4	1758	1.0	222	500
8	2.1	1758	1.5	219	500

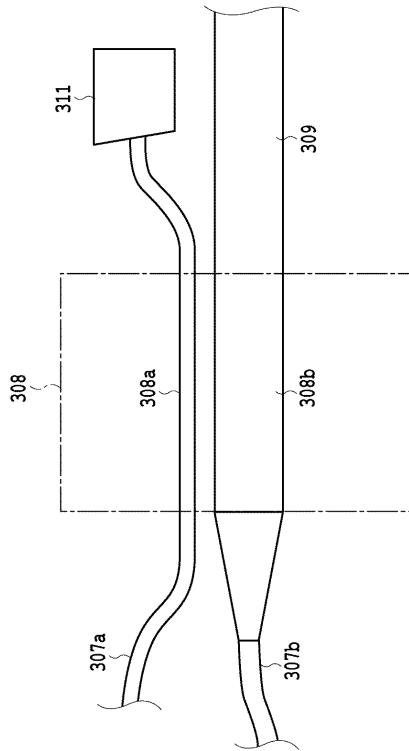
【図 1 7】



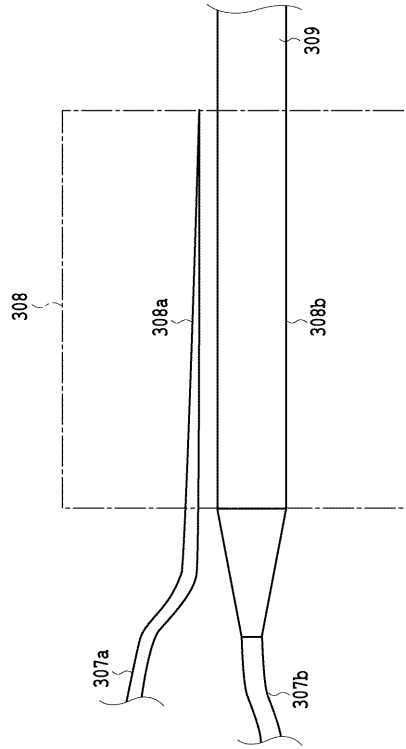
【図 1 8】



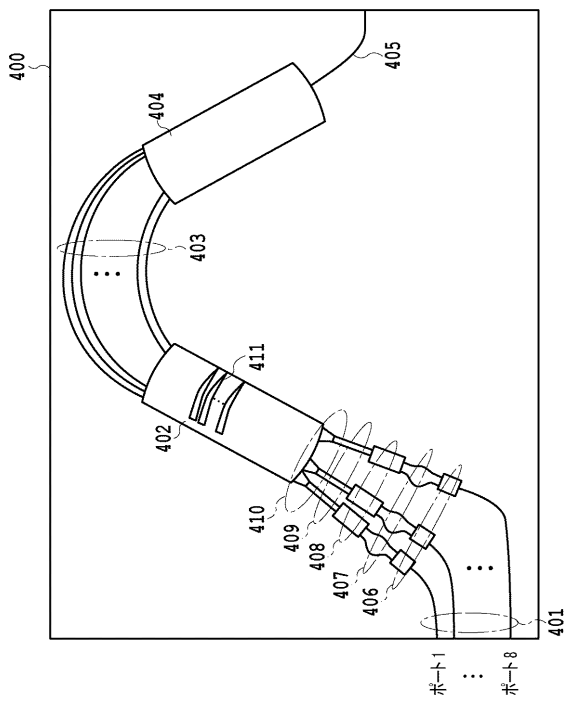
【図 19】



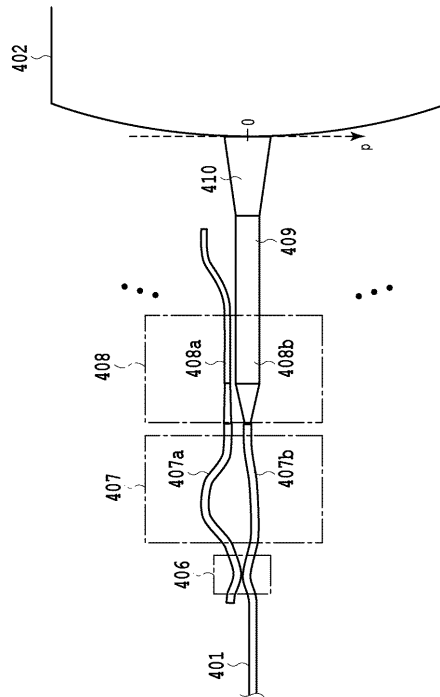
【図 20】



【図 21】



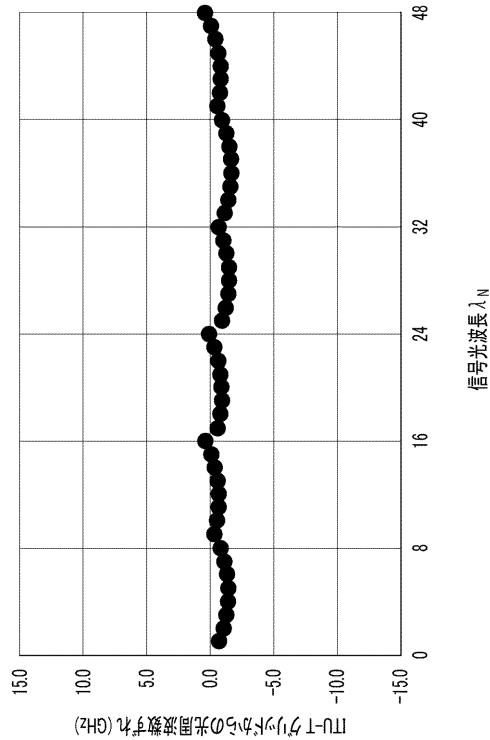
【図 22】



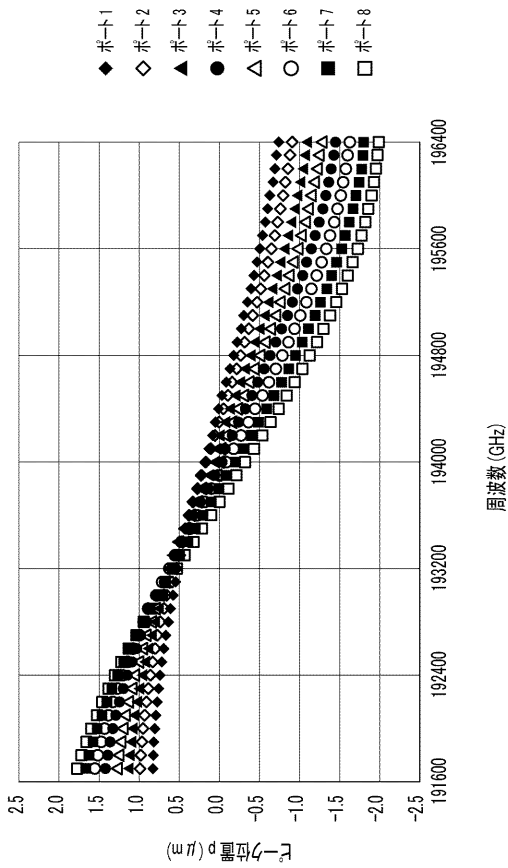
【図 2 3】

ポート	光スプリッタの分岐比 (%)	第二のアーム導波路 第一のアーム導波路の 長さの差 (μm)	1次モード 光パワーの比率 (%)	マルチモード導波路の 長さ (μm)	直線モード導波路の 長さ (μm)
1	3.6	1758	2.5	239	500
2	4.3	1758	3.0	236	500
3	5.0	1758	3.5	233	500
4	5.7	1758	4.0	230	500
5	6.4	1758	4.5	228	500
6	7.1	1758	5.0	225	500
7	7.9	1758	5.5	222	500
8	8.6	1758	6.0	219	500

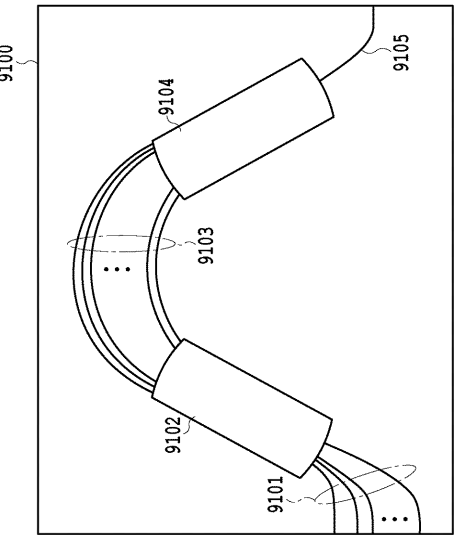
【図 2 5】



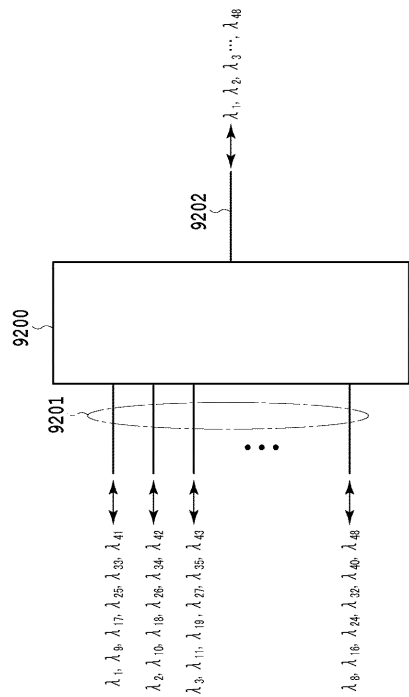
【図 2 4】



【図 2 6】



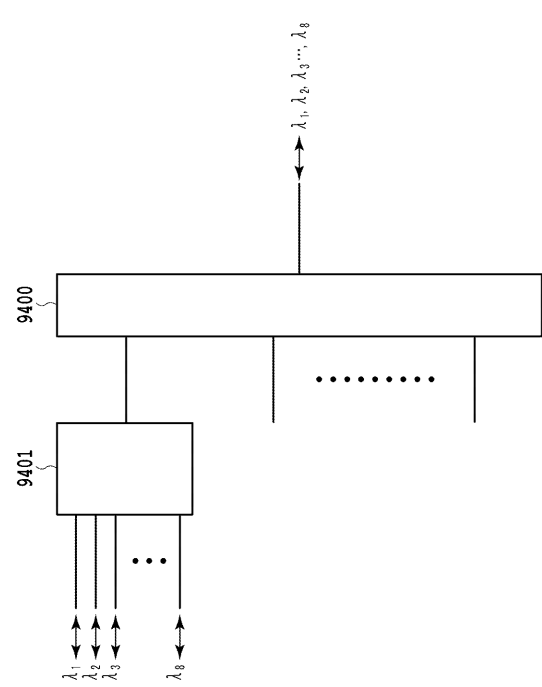
【図 27】



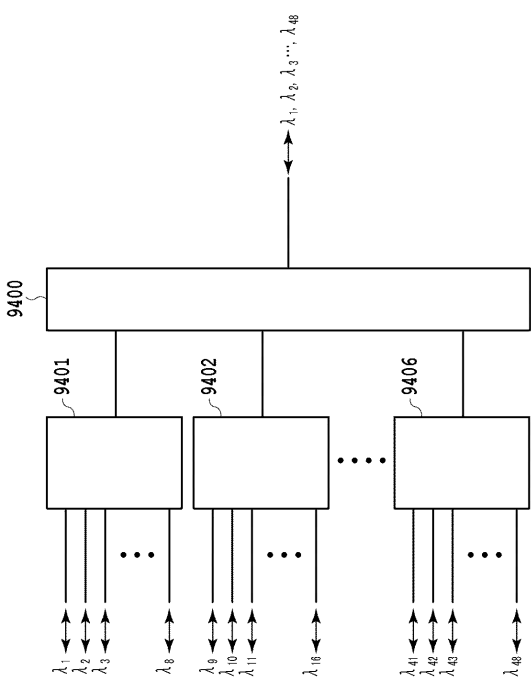
【図 28】

	回折次数								単位 [GHz]
	242	241	240	239	238	237			
第一の 入力波長路	1	196400	195600	194800	194000	193200	192400		
	2	196300	195500	194700	193900	193100	192300		
	3	196200	195400	194600	193800	193000	192200		
	4	196100	195300	194500	193700	192900	192100		
	5	196000	195200	194400	193600	192800	192000		
	6	195900	195100	194300	193500	192700	191900		
	7	195800	195000	194200	193400	192600	191800		
	8	195700	194900	194100	193300	192500	191700		

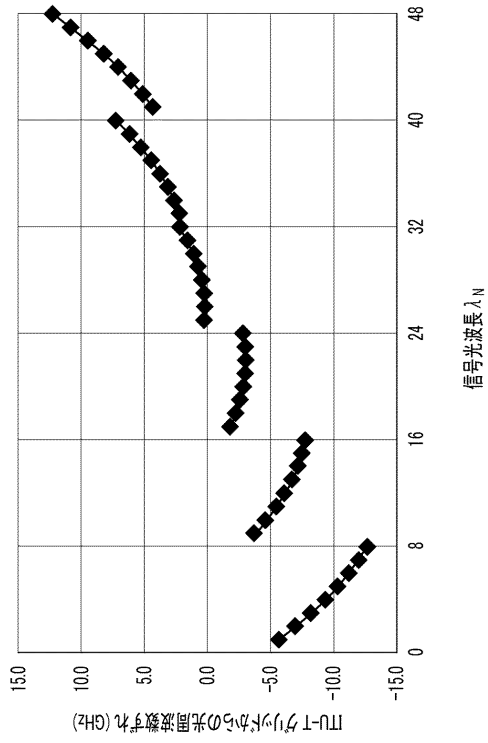
【図 29】



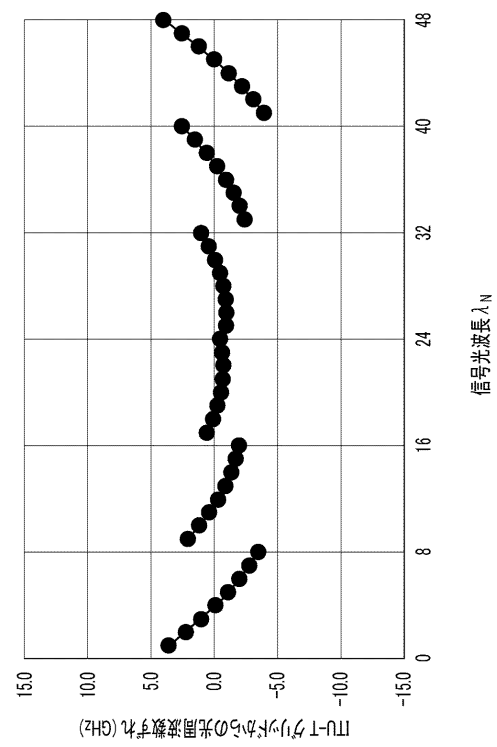
【図 30】



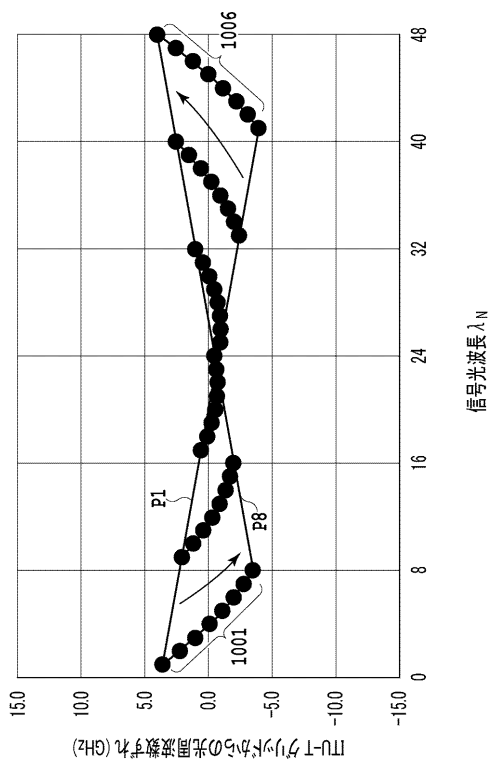
【図 3 1】



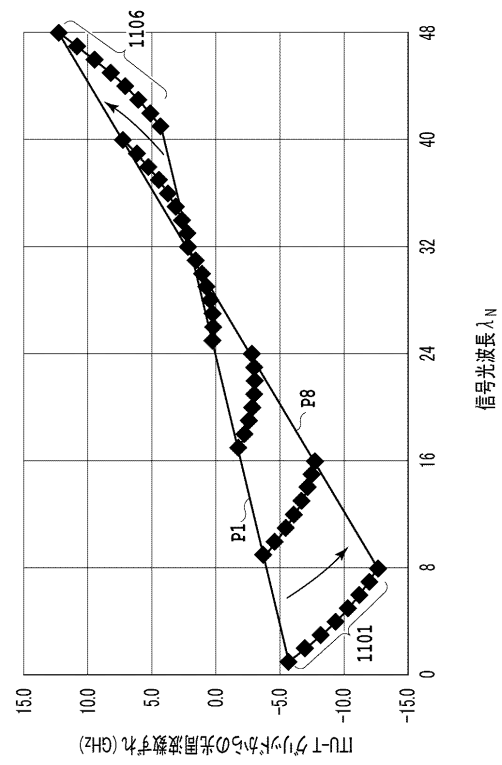
【図 3 2】



【図 3 3】



【図 3 4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H147 AB17 AC04 BA02 BB02 BD19 BE04 BE05 BE06 BE13 BE15
BE22 BG08 EA13C GA02