

(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2010-60717

(P2010-60717A)

(43) 公開日 平成22年3月18日(2010.3.18)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)
G02F 1/01	(2006.01)	G02F	1/01	D	2H079
G02B 26/00	(2006.01)	G02B	26/00		2H141
H04B 10/02	(2006.01)	H04B	9/00	M	5K102
H04B 10/18	(2006.01)				

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2008-224873 (P2008-224873)	(71) 出願人	000004226
(22) 出願日	平成20年9月2日 (2008.9.2)		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	大庭 直樹
			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	鈴木 賢哉
			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

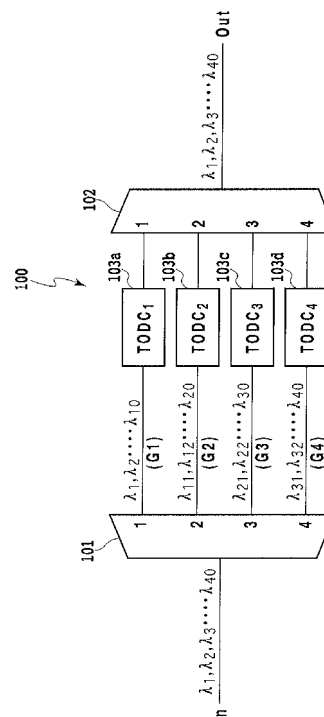
(54) 【発明の名称】 可変分散補償器

(57) 【要約】

【課題】空間位相変調素子を用いて、チャンネル毎に独立に分散補償を行なう可変分散補償器においては、多チャンネル化に伴って、空間位相変調素子の1辺のサイズが大きくなる。空間位相変調素子の大型化は、量産性および製造コストの点で好ましくない。また、空間位相変調素子を利用して可変分散補償器を構成する場合、AWGのFSRの端部に対応する光周波数（波長）において、光透過率が低下する問題があった。

【解決手段】AWGの分光軸に対応する方向のサイズを短く抑えた空間位相変調素子を利用した複数の可変分散補償器（TODC）ブロックを組み合わせ、多チャンネルの可変分散補償器を構成する。TODCブロックにおいて使用されるAWGのFSRを、そのTODCブロックによりカバーするWDM通信チャンネル群の全帯域幅と等しく成るように設定する。TODCブロックによってカバーするWDM通信チャンネル群の全帯域幅と所定の関係を満たすようにFSRを設定し、光透過特性を平坦化する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は 1 つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には 1 つの光信号が対応し、前記分散補償器は、

前記光信号群を前記複数の波長帯域毎に分波する光群合分波手段と、

前記光群合分波手段により分波された各通信波長群内の光信号群をさらに分波する、前記通信波長群の数の第 1 の光合分波手段群と、

前記第 1 の光合分波手段群の各々の分波軸方向に配列された複数の要素素子を含む、前記通信波長群の数の空間位相変調素子群であって、各空間位相変調素子の前記複数の要素素子は、1 つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記分波軸の距離をパラメータとして 2 次以上の関数で規定される位相が設定されることと

を備えたことを特徴とする可変分散補償器。

【請求項 2】

前記第 1 の光合分波手段群の各々の FSR は、前記波長帯域の帯域幅に等しく設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載の可変分散補償器。

【請求項 3】

連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は 1 つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には 1 つの光信号が対応し、前記分散補償器は、

前記光信号群を前記複数の波長帯域毎に分波する光群合分波手段と、

前記光群合分波手段により分波された各通信波長群内の光信号群をさらに分波する、前記通信波長群の数の第 1 の光合分波手段群であって、前記光群合分波手段により分波された奇数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第 1 のポートと前記光群合分波手段により分波された偶数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第 2 のポートとを有し、前記第 1 のポートおよび前記第 2 のポートにより分波される光信号群の光周波数は、前記各第 1 の光合分波手段の FSR の $1/2$ に相当する光周波数差を持ち、前記 FSR 値は前記波長帯域の帯域幅の 2 倍に等しいことと、

前記各第 1 の光合分波手段の分波軸方向に配列された複数の要素素子を含む、前記通信波長群の数の空間位相変調素子群であって、各空間位相変調素子の前記複数の要素素子は 1 つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記分波軸の距離をパラメータとして 2 次以上の関数で規定される位相が設定されることと

を備えたことを特徴とする可変分散補償器。

【請求項 4】

連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は 1 つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には 1 つの光信号が対応し、前記分散補償器は、

FSR が前記波長帯域の帯域幅に等しく設定され、前記光信号群を分波する第 1 の光合分波手段と、

前記第 1 の光合分波手段によって分波された光信号群を、前記第 1 の光合分波手段の分波軸方向に直交する第 2 の分波軸方向にさらに分波する第 2 の光合分波手段と、

前記第 1 の光合分波手段群の分波軸方向に対応する第 1 の配列方向および前記第 2 の分波軸方向に対応する第 2 の配列方向に 2 次元配列された複数の要素素子を含む空間位相変調素子であって、前記第 1 の配列方向において前記複数の要素素子は 1 つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記第 1 の光合分波手段群の分波軸の距離をパラメータとして 2 次以上の関数で規定される位相が設定され、前記波長帯域の 1 つが連続する前記第 1 の配列方向の要素素子列に対応し、前記第 2 の配列方向においては、前記波長帯域毎に前記要素素子

10

20

30

40

50

列が隣接して繰り返し配列されていることと
を備えたことを特徴とする可変分散補償器。

【請求項 5】

連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は 1 つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には 1 つの光信号が対応し、前記分散補償器は、

前記光信号群を、奇数番目の波長帯域と偶数番目の波長帯域に群分波する光群分波手段と、

前記光群合分波手段により分波された各波長帯域内の光信号群をさらに分波する第 1 の光合分波手段であって、前記光群合分波手段により分波された奇数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第 1 のポートと前記光群合分波手段により分波された偶数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第 2 のポートとを有し、前記第 1 のポートおよび前記第 2 のポートにより分波される光信号群の光周波数は、前記第 1 の光合分波手段の FSR の $1/2$ に相当する光周波数の差を持ち、前記 FSR 値は前記波長帯域の帯域幅の 2 倍に等しいことと、

前記第 1 の光合分波手段によって分波された光信号群を、前記第 1 の光合分波手段の分波軸方向に直交する第 2 の分波軸方向にさらに分波する第 2 の光合分波手段と、

前記第 1 の光合分波手段の分波軸方向に対応する第 1 の配列方向および前記第 2 の分波軸方向に対応する第 2 の配列方向に 2 次元配列された複数の要素素子を含む空間位相変調素子であって、前記第 1 の配列方向において前記複数の要素素子は 1 つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記第 1 の光合分波手段群の分波軸の距離をパラメータとして 2 次以上の関数で規定される位相が設定され、前記波長帯域の 1 つが連続する前記第 1 の配列方向の要素素子列に対応し、前記第 2 の配列方向においては、前記波長帯域毎に前記要素素子列が隣接して繰り返し配列されていることと

を備えたことを特徴とする可変分散補償器。

【請求項 6】

前記空間位相制御素子の前記要素素子列は、前記第 2 の配列方向において少なくとも 2 つ以上の要素素子に分かれており、前記第 2 の配列方向に所定の位相分布が付与されていることを特徴とする請求項 3 または 5 に記載の可変分散補償器。

【請求項 7】

前記第 1 の光合分波手段は、前記第 1 のポートおよび前記第 2 のポートにそれぞれ接続された 2 つの入出力導波路と、スラブ導波路と、アレイ導波路とが順次接続された AWG であり、前記 2 つの入出力導波路は、前記スラブ導波路との境界において、前記 AWG の $1/2$ FSR 相当離れた位置に接続されていることを特徴とする前記各請求項 3 または 5 に記載の可変分散補償器。

【請求項 8】

前記空間位相変調素子は、LCO S 素子または MEMS ミラーアレイであることを特徴とする請求項 1 乃至 7 いずれかに記載の可変分散補償器。

【請求項 9】

前記空間位相変調素子は、前記通信波長に対応する入射した光信号を反射させ、前記光群合分波手段、前記第 1 の光合分波手段および第 2 の光合分波手段は、分散補償された光信号を合波する反射型構成であること特徴とする請求項 1 乃至 8 いずれかに記載の可変分散補償器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ通信において利用される分散補償器に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

インターネットの爆発的な普及を背景として、波長分割多重(WDM: Wavelength division multiplexing)通信は、従来のポイントツーポイント型のシステムからリング・メッシュ型の構成のシステムへ移りつつある。これは、リング・メッシュ型構成のシステムが、光信号を光の状態のまま処理するトランスパレントな波長選択スイッチ等を用いることにより、ノード間の通信需要の変化に柔軟に対応できるためである。しかしながら、リング・メッシュ型のネットワークにおいては、光のパスの切り替えに伴って、そのパスの分散値も動的に変化する。このため、光通信のパスの分散補償にも適応性が求められている。従来の分散補償器は、複数のチャンネルを一括に補償するタイプのものが主流であった。しかし、波長選択スイッチを用いるようなリング・メッシュ型構成のネットワークでは、波長ごとに通過するパスの距離が異なる。このため、WDM波長ごとに異なる分散値を設定したいという要請もある。

【0003】

このような要請に対応する適応的な分散補償技術として、例えば、分光器およびミラーアレイによるもの(特許文献1)、導波路によるもの(特許文献1、非特許文献1)、並びに3次元ミラーおよび分光素子によるもの(非特許文献2)などが提案されていた。

【0004】

さらに、アレイ導波路回折格子(Arrayed Waveguide Grating 以下AWG)および空間光学系を組み合わせ、LCOS(Liquid Crystal on Silicon)型空間位相変調素子を利用した、より小型で低コストの可変分散補償器も提案されている。AWGを利用した可変分散補償器は、AWGの柔軟な光学設計に基づいて、数十から数千までの高い次数の回折次数を利用することで、大きな分散値を設置することができる特徴を持つ。通信チャンネルの帯域幅とAWGのFSR(Free Spectral Range)設計値との関係を適切に設定すれば、複数のチャンネルに対して一括して分散補償を行なうことができる。AWGにLCOS型空間位相変調素子を組み合わせることによって、さらに柔軟な分散補償値の設定が可能であった。

【0005】

図11は、従来技術による可変分散補償器の構成例を示した図である。図11の(A)は、1つのWDM通信チャンネルとAWGのFSR値を一致させた可変分散補償器(TODC: Tunable optical dispersion compensator)の構成を示す。TODCは、AWG、集光レンズおよび空間位相変調素子などから構成されている。AWGのFSRは、1つのWDM通信チャンネルに対応するように構成されている。図11の(A)の構成によれば、例えば λ_1 から λ_{40} までの40のWDM通信チャンネルに対して、一括して分散補償を行なうことができる。

【0006】

図11の(B)には、(A)に示した構成による可変分散補償器の光透過率を示した図である。光周波数軸上で、FSRの周期と一致した40の通信チャンネルに対して一括して信号処理がなされることがわかる。しかしながら、各チャンネルに対して独立して分散補償を行なうことはできない。

【0007】

図12の(A)は、通信チャンネル毎に独立して分散補償が可能な分散補償器の構成例を示す図である。この可変分散補償器は、AWG34、シリンドリカルレンズ35、集光レンズ36およびLCOS素子37などから構成される。この構成は、LCOS素子によって光信号が反射され、1つのAWG34によって光信号の分波および合波を兼ねた反射型の可変分散補償器である。分散補償される光信号群は、光サーキュレータ11の入力ポート38へ入力される。分散補償された光信号群は、光サーキュレータ11の出力ポート39から出力される。LCOS素子37上において、AWG34の分光軸方向(x軸)に配列された複数のピクセル群を、6つのグループに分けて、各グループのピクセル群に1つのWDM通信チャンネル(ch1、・・・ch6)を割り当てられている(非特許文献3)。LCOS素子上の各グループのピクセル群に対して異なる位相分布 $\phi(x)$ を与えて、チャンネル毎に独立して分散補償を行なうことができる。図12の(B)には、各チャ

10

20

30

40

50

ンネルに対して独立に設定された群遅延特性が示されている。

【 0 0 0 8 】

図 1 3 は、図 1 2 の (A) の構成の可変分散補償器において、1つのWDM通信チャンネルに対する位相分布の設定例を示す図である。

【 0 0 0 9 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 3 0 3 8 0 5 号公報 (第 5 ~ 7 頁、図 1、図 1 1)

【非特許文献 1】K. Takiguchi, K. Okamoto, and T. Goh, "Dispersion slope equalizer on planar Lightwave circuit for 40Gbit/s based WDM transmission," Electron. Lett., 37(24), p.1469-1470, 2001.

【非特許文献 2】独立行政法人 情報通信研究機構, "平成 1 6 年度 研究開発成果報告書 経済的な光ネットワークを実現する高機能集積化光スイッチングノードの研究開発," 2006

【非特許文献 3】K. Seno, K. Suzuki, K. Watanabe et al., "Channel-by-channel tunable optical dispersion compensator consisting of arrayed-waveguide grating and liquid crystal on silicon" OWP4, Proceeding of OFC2008.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

しかしながら、空間位相変調素子を利用した従来技術の可変分散補償器には、次に述べるような課題があった。前述したように、図 1 1 の (A) の構成によれば、各 WDM 通信チャンネルに対して独立して分散補償を行なうことはできなかった。また、図 1 2 の (A) の構成によれば、複数の WDM 通信チャンネルに対して、独立に分散補償を行なうことができるが、必要とされる空間位相変調素子が大型のものになってしまう問題があった。すなわち、多くのチャンネルに対して分散補償を実現するためには、AWG の分光軸方向に対応する方向に長い空間位相変調素子が必要となる。

【 0 0 1 1 】

例えば、図 1 2 の (A) の構成では、帯域幅が 1 0 0 G H z の 6 つの通信チャンネルに対して分散補償を行なっている。ここで、通信チャンネルの数が増えると、LCOS 素子の分光軸方向 (x 軸方向) のサイズが大きくなる。より具体的には、1つの WDM 通信チャンネルに対応する LCOS 素子のピクセル数を 1 2 8 個として、ピクセルの配列ピッチを 8 μ m とする。このとき、1チャンネル当たりの LCOS 素子の分光軸 (x 軸) 方向の長さは、約 1 0 0 0 μ m 必要である。したがって、LCOS 素子の全長は 4 0 m m を越える。LCOS 素子の分光軸方向のサイズを短くしようとすると、分散補償量やチャンネル透過帯域等の特性が劣化する懸念がある。したがって、必要とされる波長分散値およびチャンネル数によっては、ピクセル数の多く、1辺のサイズが非常に長い LCOS 素子が必要となる。

【 0 0 1 2 】

一般的にも知られるように、チップサイズが大きくなると量産性が低下しおよびコストが増える。空間位相変調素子のサイズが大きくなることは、量産性および製造コストの点で好ましくない。従って、空間位相変調素子を利用した多チャンネルの可変分散補償器においては、より量産性と低コストを実現することが求められていた。

【 0 0 1 3 】

また、空間位相変調素子を利用して可変分散補償器を構成する場合に、AWG の FSR の端部に対応する光周波数 (波長) において、光透過特性が低下する問題がある。空間位相変調素子のピクセル群の中で、FSR の端部に対応するピクセル利用する場合の問題もあった。

【 0 0 1 4 】

本発明は、上述のような課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、より高い量産性および低コストを実現した多チャンネルの可変分散補償器を実現することにある。さらに、FSR に対応する空間位相変調素子のピクセルを有効に利用して、光透過特性をよ

10

20

30

40

50

り平坦化した多チャンネルの可変分散補償器を実現する。可変分散補償器の保守も簡単化し低コスト化する。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は、このような目的を達成するため、請求項1に記載の発明は、連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は1つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には1つの光信号に対応し、前記分散補償器は、前記光信号群を前記複数の波長帯域毎に分波する光群合分波手段と、前記光群合分波手段により分波された各通信波長群内の光信号群をさらに分波する、前記通信波長群の数の第1の光合分波手段群と、前記第1の光合分波手段群の各々の分波軸方向に配列された複数の要素素子を含む、前記通信波長群の数の空間位相変調素子群であって、各空間位相変調素子の前記複数の要素素子は、1つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記分波軸の距離をパラメータとして2次以上の関数で規定される位相が設定されることを備えたことを特徴とする。

10

【0016】

本明細書において用語「通信波長」は、通信チャンネルに対応している。より具体的には、例えば、WDM通信チャンネルに対応する。したがって、1つの通信チャンネルに1つの光信号に対応し、1つの通信波長群内には、複数の通信チャンネルが含まれる。また、光群合分波手段は、群分波フィルタに対応する。

20

【0017】

請求項2に記載の発明は、請求項1の可変分散補償器であって、前記第1の光合分波手段群の各々のFSRは、前記波長帯域の帯域幅に等しく設定されていることを特徴とする。ここで、FSRは、Free Spectral Rangeを意味する。

【0018】

請求項3に記載の発明は、連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は1つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には1つの光信号に対応し、前記分散補償器は、前記光信号群を前記複数の波長帯域毎に分波する光群合分波手段と、前記光群合分波手段により分波された各通信波長群内の光信号群をさらに分波する、前記通信波長群の数の第1の光合分波手段群であって、前記光群合分波手段により分波された奇数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第1のポートと前記光群合分波手段により分波された偶数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第2のポートとを有し、前記第1のポートおよび前記第2のポートにより分波される光信号群の光周波数は、前記各第1の光合分波手段のFSRの1/2に相当する光周波数差を持ち、前記FSR値は前記波長帯域の帯域幅の2倍に等しいことと、前記各第1の光合分波手段の分波軸方向に配列された複数の要素素子を含む、前記通信波長群の数の空間位相変調素子群であって、各空間位相変調素子の前記複数の要素素子は1つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記分波軸の距離をパラメータとして2次以上の関数で規定される位相が設定されることを備えたことを特徴とする。

30

40

【0019】

請求項4に記載の発明は、連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は1つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には1つの光信号に対応し、前記分散補償器は、FSRが前記波長帯域の帯域幅に等しく設定され、前記光信号群を分波する第1の光合分波手段と、前記第1の光合分波手段によって分波された光信号群を、前記第1の光合分波手段の分波軸方向に直交する第2の分波軸方向にさらに分波する第2の光合分波手段と、前記第1の光合分波手段群の分波軸方向に対応する第1の配列方向および前記第2の分光軸方向に対応する第2の配列方向に2次元配列された複数の要素素子を含む空間位相変調素子であって、前記第1の配列方向において前記複数の要素素子は1つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区

50

間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記第1の光合分波手段群の分波軸の距離をパラメータとして2次以上の関数で規定される位相が設定され、前記波長帯域の1つが連続する前記第1の配列方向の要素素子列に対応し、前記第2の配列方向においては、前記波長帯域毎に前記要素素子列が隣接して繰り返し配列されていることを備えたことを特徴とする。第2の光合分波手段は、限定はされないが、例えばバルク型回折格子に対応している。

【0020】

請求項5に記載の発明は、連続する複数の波長帯域に含まれる光信号群の分散補償器であって、前記各波長帯域は1つの通信波長群に対応し、前記通信波長群の各通信波長には1つの光信号に対応し、前記分散補償器は、前記光信号群を、奇数番目の波長帯域と偶数番目の波長帯域に群分波する光群分波手段と、前記光群合分波手段により分波された各波長帯域内の光信号群をさらに分波する第1の光合分波手段であって、前記光群合分波手段により分波された奇数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第1のポートと前記光群合分波手段により分波された偶数番目の前記波長帯域の光信号群が入力される第2のポートとを有し、前記第1のポートおよび前記第2のポートにより分波される光信号群の光周波数は、前記第1の光合分波手段のFSRの1/2に相当する光周波数の差を持ち、前記FSR値は前記波長帯域の帯域幅の2倍に等しいことと、前記第1の光合分波手段によって分波された光信号群を、前記第1の光合分波手段の分波軸方向に直交する第2の分波軸方向にさらに分波する第2の光合分波手段と、前記第1の光合分波手段の分波軸方向に対応する第1の配列方向および前記第2の分波軸方向に対応する第2の配列方向に2次元配列された複数の要素素子を含む空間位相変調素子であって、前記第1の配列方向において前記複数の要素素子は1つの前記波長帯域内の前記各光信号がそれぞれ集光する複数の区間に分けられ、前記各光信号に対応する前記各区間に独立に前記第1の光合分波手段群の分波軸の距離をパラメータとして2次以上の関数で規定される位相が設定され、前記波長帯域の1つが連続する前記第1の配列方向の要素素子列に対応し、前記第2の配列方向においては、前記波長帯域毎に前記要素素子列が隣接して繰り返し配列されていることを備えたことを特徴とする。ここで、奇数番目の波長帯域と偶数番目の波長帯域に群分波する光群分波手段は、インターリーブ型群分波フィルタに対応している。

【0021】

請求項6に記載の発明は、請求項3または5の可変分散補償器であって、前記空間位相制御素子の前記要素素子列は、前記第2の配列方向において少なくとも2つ以上の要素素子に分かれており、前記第2の配列方向に所定の位相分布が付与されていることを特徴とする。

【0022】

請求項7に記載の発明は、請求項3または5の可変分散補償器であって、前記第1の光合分波手段は、前記第1のポートおよび前記第2のポートにそれぞれ接続された2つの入出力導波路と、スラブ導波路と、アレイ導波路とが順次接続されたAWGであり、前記2つの入出力導波路は、前記スラブ導波路との境界において、前記AWGの1/2FSR相当離れた位置に接続されていることを特徴とする。

【0023】

請求項8に記載の発明は、請求項1乃至7いずれかの可変分散補償器であって、前記空間位相変調素子は、LCOS素子またはMEMSミラーアレイであることを特徴とする。

【0024】

請求項9に記載の発明は、請求項1乃至8いずれかの可変分散補償器であって、前記空間位相変調素子は、前記通信波長に対応する入射した光信号を反射させ、前記光群合分波手段、前記第1の光合分波手段および第2の光合分波手段は、分散補償された光信号を合波する反射型構成であること特徴とする。

【発明の効果】

【0025】

以上説明したように、本発明によれば、AWGの分光軸に対応する方向のサイズを短く

10

20

30

40

50

抑えた空間位相変調素子を利用した可変分散補償器ブロック（以下TODCブロックと呼ぶ）を複数組み合わせ、より良い量産性をおよび低コストを実現した多チャンネル可変分散補償器を実現することができる。可変分散補償器の保守・運用も簡単化・低コスト化することができる。さらに、TODCブロックにおいて使用されるAWGのFSRを、そのTODCブロックによってカバーするWDM通信チャンネル群の全帯域幅と等しく成るように設定してTODCブロックの種類を減らすことができる。さらに、FSRを、そのTODCブロックによってカバーするWDM通信チャンネル群の全帯域幅と所定の関係と成るように設定することにより、光透過特性の平坦化も実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

本発明は、AWGの分光軸に対応する方向のサイズを短く抑えた空間位相変調素子を利用した可変分散補償器ブロック（TODCブロック）を複数組み合わせ、多チャンネルの可変分散補償器を構成する点に特徴を有する。さらに、TODCブロックにおいて使用されるAWGのFSRを、そのTODCブロックによってカバーするWDM通信チャンネル群の全帯域幅と等しく成るように設定する。さらに、FSRを、そのTODCブロックによってカバーするWDM通信チャンネル群の全帯域幅と所定の関係と成るように設定することにより、光透過特性の平坦化も実現できる。

【0027】

実施例1：図1は、本発明の実施例1に係る可変分散補償器の全体構成を示すブロック図である。本可変分散補償器100は、複数のTODCブロックおよび群分波フィルタから構成されている。例えば、 λ_1 から λ_{40} までの40の波長を持つ光信号群が多重化された光信号は、第1の群分波フィルタ101の入力ポートInに入力される。多重化された光信号は、第1の群分波フィルタ101によって λ_1 から λ_{10} 、 λ_{11} から λ_{20} 、 λ_{21} から λ_{30} ならびに λ_{31} から λ_{40} の4つの波長群（G1、G2、G3、G4）に群分波される。波長群分波フィルタ101のポート1、ポート2、ポート3、ポート4から出力される各波長群の光信号群は、それぞれ、光ファイバなどによってTODCブロック103a、103b、103c、103dに入力される。G1からG4の各波長群の光信号群は、それぞれTODCブロック103a、103b、103c、103dによって分散補償されて、第2の波長群分波フィルタ102の各ポート1からポート4に接続される。分散補償後の4つの波長群（G1、G2、G3、G4）の光信号群は、第2の波長群分波フィルタ102によって合波され、再び λ_1 から λ_{40} までの中心波長を持つ40の通信チャンネルの光信号に多重化されて、出力ポートoutから出力される。

【0028】

図1に示したブロック図では、波長群分波フィルタ101、102が2つあるものとして記載されているが、TODCブロックとして反射型の構成のものを利用する場合は、反射板を設けて合波および分波ができる1つの波長群分波フィルタにより同等の機能を実現できる。波長群分波フィルタ101、102は、例えば、誘電多層膜により構成することができる。

【0029】

本発明の可変分散補償器の各TODCブロック103は、例えば図12の（A）に示した可変分散補償器と同一構成ものを使用できる。したがって、図1における各TODCブロックの入力と出力は、図12の（A）においては光サーキュレータ11の入力ポート38および出力ポート39に対応する。尚、図12の（A）では、反射型の構成の可変波長分散補償器を示しているが、AWG等を2つ配置した透過型の構成によっても実現できることに留意されたい。

【0030】

個々のTODCブロック103a、103b、103c、103dについては、AWGの構成パラメータを、分光動作の中心波長をそれぞれG1 - G4の各帯域の中心波長に対応させ、各帯域内にある所定の通信チャンネル数に適合した線分散値となるようにそれぞれ設定する。各TODCブロックの基本的な構成は、全く同一とすることができる。図1

10

20

30

40

50

2の(A)に示したように、各TODCブロックに含まれるLCOS素子上における、AWGの分光軸方向に配列された複数のピクセルによって、チャンネル毎に独立して位相設定を行なうことができる。図1の構成の場合、1つの波長群帯域の中の10のWDM通信チャンネルに対して、独立に分散補償を行なうことができる。

【0031】

したがって、図1に示した構成により、各TODCブロックにおいて分散補償を行なう通信チャンネル数を少なく抑えることで、各LCOS素子の分光軸に対応するサイズを短くすることができる。すなわち、LCOS素子の大型化を抑えて、量産性およびコストに優れた多チャンネル可変分散補償器を実現することができる。特に、分散補償が必要なチャンネル数が非常に多い場合は、1辺が大きいサイズの、LCOS素子を1つだけ使用したTODCブロックを1つ使用する場合と比較して、小型のLCOS素子を使用した複数のTODCブロックによって構成するほうが、コストが安くなる。

【0032】

より好ましくは、本実施例の各TODCブロックにおいては、AWGのFSRが、1つの波長群に含まれる通信チャンネルの全帯域幅と等しくなるように設定することができる。具体的には、AWGのFSRを、WDM通信チャンネルの10チャンネル分に相当する光周波数幅に設定することができる。例えば、1つのWDM通信チャンネル幅を100GHzとすると、FSRを、1000GHzに設定する。

【0033】

AWGのFSRと1つの波長群に含まれる複数の通信チャンネルの全帯域幅とを、等しい値に設定することによって、TODCブロック103a、103b、103c、103dの構成を全く同一のものとすることができる。すなわち、図1に示した可変分散補償器100を、同一の設計仕様の1種類のTODCブロックのみで構成できる。可変分散補償器100の構成要素の種類を減らすことができるので、可変分散補償器の製造コストを減らすことができる。さらには、可変分散補償器の保守および運用の観点においても、保守作業のより簡易化と、低コスト化を実現できる。可変分散補償器の故障に対応するために、複数種類(例えば4種類)のTODCブロックを備える必要がなく、保守用に1種類のTODCブロックだけ備えておけば良い。保守交換作業も簡単化できることに注目されたい。

【0034】

図2は、本発明の可変分散補償器の光透過率特性の一例を示す図である。AWGのFSRを、1つの波長群に含まれる通信チャンネルの全帯域幅と同一の値に設定した場合を示している。横軸は、光周波数を示し、縦軸は分散補償器としての光透過特性を示している。分散補償特性は、AWGの周回性によって、FSR毎に同じ特性が繰り返される。光透過率についても、FSR毎に繰り返す帯域特性を示す。1つのFSRには、1つの波長群(G1、G2、G3、G4)の10の通信チャンネルの波長が対応している。

【0035】

図1に示した構成の可変分散補償器では、1つの波長群に10のWDM通信チャンネルが含まれている構成を例として説明したが、これに限定されない。同様に、分散補償の対象とするシステムのチャンネル総数を40、波長群の数を4、ならびに対応するTODCブロックの数も4として説明したが、これらの数もなんら限定されない。

【0036】

以上説明した実施例1の可変波長分散補償器によれば、多重化されたWDM光信号を複数の波長群に分離して、波長群毎に対応するTODCブロックを備えることで、分光軸方向にサイズが短いLCOS素子を使用することができる。大型のLCOS素子を必要とせず、量産性およびコストに優れた、多チャンネル可変分散補償器を実現することができる。さらに、AWGのFSRと1つの波長群内に含まれる通信チャンネルの全帯域幅とを、等しい値に設定することによって、可変分散補償器の低コスト化ならびに保守の簡易化および低コスト化を実現できる。

【0037】

10

20

30

40

50

実施例 2：本実施例においては、完全に同一仕様の TODC ブロックを利用可能とし、さらに光透過特性を平坦化させた可変分散補償器を示す。実施例 1 においては、各 TODC ブロックの基本的な構成を、同一のものとする事ができる。しかしながら、AWG の FSR と 1 つの波長群内に含まれる通信チャンネルの全帯域幅とを等しい値に設定しない限り、各波長群に対応した専用の TODC ブロックを準備する必要がある。すなわち、波長群毎に、AWG の分光動作の中心波長がそれぞれ G 1 - G 4 の各帯域の中心波長に対応するように、TODC ブロック内に含まれる AWG の構成パラメータを設定する必要がある。TODC ブロックを構成している AWG のチップは、TODC ブロック毎に異なるものを使用しなければならない。

【0038】

10

AWG の FSR と 1 つの波長群内に含まれる通信チャンネルの全帯域幅とを等しい値に設定した場合は、TODC ブロックを 1 種類とすることができる。しかしながら、図 2 に示したように、FSR の両端部に対応する通信チャンネルにおいて光透過率が低下することが避けられなかった。AWG の FSR と 1 つの波長群内に含まれる通信チャンネルの全帯域幅とを等しい値に設定すると、分散補償器の透過率についても、FSR 毎に繰り返す特性を示す。図 2 に示したように、一般に、1 つの波長群の両端の通信チャンネルでは、透過率が低下する。例えば、 λ_1 および λ_{10} に対応する通信チャンネルにおいては、1 つの波長群の中央部にある通信チャンネルと比較して、光透過率が低下している。本実施例においては、この問題をさらに改善する。

【0039】

20

図 3 は、実施例 2 に係る可変分散補償器において使用される TODC ブロックの構成を示す図である。この TODC ブロック 103 は、図 5 とともに後述する実施例 2 に係る可変分散補償器の構成要素として使用される。図 3 に示した TODC ブロック 103 の基本的構成は、図 12 の (A) で示した従来技術における可変分散補償器の構成と同じである。また、図 13 に示した位相分布のように、分波軸の距離をパラメータとして、2 次以上の関数で規定される。AWG が、スラブ導波路の境界面上で 0.5 FSR 相当離れた位置に接続された 2 つの入出力導波路を持つ点で、従来技術の構成と相違している。

【0040】

図 3 を参照すれば、TODC ブロックは、AWG 1、シリンドリカルレンズ 6、集光レンズ 7 および LCOS 素子などによる空間位相変調素子 8 から構成されている。AWG 1 はスラブ導波路 3 およびアレイ導波路 4 を含んでいる。多重化された光信号群は、アレイ導波路 4 の一端から光信号の波長に応じた出射角度で分波され、AWG 基板の端面 A から出射される。LCOS 素子 8 上には、複数の WDM 通信チャンネル（例えば 10 チャンネル）に対応して、AWG 1 の分光軸（x 軸方向）に沿って複数のピクセルが配置されている。本 TODC ブロック 103 は反射型構成であり、AWG 1 から出射した各光信号は、LCOS 素子 8 において所定の位相が付与された後に反射され、再び AWG 1 へ戻る。

30

【0041】

本 TODC ブロックの AWG 1 は、異なる複数の波長群の光信号群を入出力することができる 2 つの入出力導波路 16、17 を持つ。第 1 の入出力導波路 16 は、スラブ導波路 3 のアレイ導波路 4 との接続面とは反対側の境界面 B 上の a 点で、スラブ導波路 3 と接続される。第 1 の入出力導波路 16 は、光ファイバなどを経て第 1 の光サーキュレータ 11 に接続される。第 1 の光サーキュレータ 11 は、ポート A として機能し、所定の波長群の光信号が入力 (A in) および出力 (A out) される。同様に、第 2 の入出力導波路 17 は、スラブ導波路 3 の境界面 B 上の b 点で、スラブ導波路 3 と接続される。第 2 の入出力導波路 17 は、光ファイバなどを経て第 2 の光サーキュレータ 14 に接続される。第 2 の光サーキュレータ 14 は、ポート B として機能し、ポート A とは別の波長群の光信号が入力 (B in) および出力 (B out) される。

40

【0042】

2 つの入出力導波路 16、17 が接続される a 点および b 点は、AWG 1 に設定される FSR の 1/2 に相当する距離だけずれた位置にあることに注目されたい。したがって、

50

ポート A から入出力される光信号の透過帯域と、ポート B から入出力される光信号の透過帯域とは、光周波数軸上において $0.5 FSR$ だけずれることとなる。

【0043】

図 4 は、実施例 2 に係る TODC ブロックの光透過率を示した図である。ポート A を使用して入出力された光信号の光透過率は、実線の透過率線 21 で表示され、ポート B を使用して入出力された光信号の光透過率は、点線の透過率線 22 で表示されている。いずれの透過率線も、同一の AWG の透過率であるので、 FSR を繰り返しの周期とした透過率特性を示す。しかしながら、透過帯域の中心は、2 つのポート間で $0.5 FSR$ ずれている点に注目されたい。

【0044】

ポート A による透過率特性において、透過帯域の中央にある平坦部を波長群 G1 の光信号の使用のために割り当てることができる。波長群 G1 に隣接する波長群 G2 の光信号の使用のためには、ポート B による透過率特性における透過帯域の中央にある平坦部を利用できる。さらに波長群 G2 に隣接する波長群 G3 については、再びポート A による透過率特性において、波長群 G1 に使用した透過帯域から FSR 離れた次の透過帯域の中央にある平坦部を利用できる。同様に、波長群 G3 に隣接する波長群 G4 については、再びポート B による透過率特性において、波長群 G2 に使用した透過帯域から FSR 離れた次の透過帯域の中央にある平坦部を利用できる。

【0045】

上述のように、図 3 に示した TODC ブロックにおいて使用するポートを、波長群毎に交互に選択することによって、多数の WDM 通信チャネルを含む連続した通信帯域に対して光透過特性が平坦な可変分散補償を実現できる。このとき、TODC ブロック内の AWG1 に設定される FSR は、1 つの波長群内にあるチャネルの全帯域幅の 2 倍となっている。実施例 1 においては、図 2 に示したように、AWG の FSR と 1 つの波長群内にあるチャネルの全帯域幅と同一に設定されていた。すなわち、実施例 1 では、TODC ブロックの AWG の FSR 値を、群分波フィルタ 101、102 の波長分離間隔に一致するように設定していた。これに対し、実施例 2 では、TODC ブロックの AWG の FSR 値を、群分波フィルタの分離間隔の 2 倍に設定している点に注目されたい。次に、図 3 に示した TODC ブロックを使用した可変波長分散補償器の全体構成についてさらに説明する。

【0046】

図 5 は、本発明の実施例 2 に係る可変分散補償器の全体構成を示すブロック図である。実施例 1 と同様に、 λ_1 から λ_{40} までの 40 の波長を持つ光信号が多重化された光信号を、4 つの波長群 (G1、G2、G3、G4) に群分波をして、4 つの TODC ブロックを使用して分散補償を行なう。実施例 2 においては、TODC ブロックにおいて 2 つの群分波フィルタと接続されるポートが、A ポートおよび B ポートの間で、波長群ごとに順次交互に選択される点で、実施例 1 と相違する。

【0047】

λ_1 から λ_{40} までの 40 の波長を持つ光信号群が多重化された光信号は、第 1 の群分波フィルタ 201 の入力ポート in に入力される。多重化された光信号は、第 1 の群分波フィルタ 201 によって、 λ_1 から λ_{10} 、 λ_{11} から λ_{20} 、 λ_{21} から λ_{30} ならびに λ_{31} から λ_{40} の 4 つの波長群 (G1、G2、G3、G4) に群分波される。波長群分波フィルタ 201 のポート 1、ポート 2、ポート 3、ポート 4 から出力される各波長群の光信号群は、それぞれ、光ファイバなどによって TODC ブロック 203a、203b、203c、203d に入力される。各波長群の光信号は、それぞれ TODC ブロック 203a、203b、203c、203d によって分散補償されて、第 2 の波長群分波フィルタ 202 の各ポートに接続される。分散補償された 4 つの波長群 (G1、G2、G3、G4) の光信号群は、第 2 の波長群分波フィルタ 202 によって合波され、再び λ_1 から λ_{40} までの中心波長を持つ 40 の通信チャネルの光信号群を含む光信号に多重化される。

10

20

30

40

50

【0048】

波長群 G 1 の光信号群を分散補償する T O D C 2 0 3 a においては、ポート A が使用されている。波長群 G 1 に隣接する波長群 G 2 の光信号群を分散補償する T O D C 2 0 3 b においては、ポート B が使用されている。さらに、波長群 G 2 に隣接する波長群 G 3 の光信号群を分散補償する T O D C 2 0 3 c においては、再びポート A が使用されている。波長群 G 3 に隣接する波長群 G 4 の光信号群を分散補償する T O D C 2 0 3 d においては、再びポート B が使用されている。上述のように、G 1 から G 4 の各波長群に対して、A ポートおよび B ポートが順次交互に使用される。この結果、図 4 に示したように隣接する波長群に対して、順次交互に、ポート A およびポート B に対応した透過帯域が使用されることが分かる。ここで、波長分散補償器としては、光周波数軸上で F S R に対応する 1 つの透過帯域の中で、平坦な光透過率を持つ中央領域だけが使用される。このため、F S R の両端に対応し、透過帯域の両端部であって光透過率が低下する領域を使用することなしに、平坦な中央領域のみが使用される。

10

【0049】

本実施例 2 の構成によれば、多重化された W D M 光信号を複数の波長群に分離し、複数の 1 種類の T O D C ブロックを備えることで、分光軸方向にサイズが短い L C O S 素子を使用することができる。大型の L C O S 素子を必要とせずに、量産性およびコストに優れた、多チャンネル可変分散補償器を実現することができる。T O D C ブロックの A W G の F S R 値を、群分波フィルタの分離間隔の 2 倍に設定することによって、光透過帯域が平坦な可変分散補償器を実現できる。可変分散補償器の低コスト化ならびに保守の簡易化および低コスト化を実現できる。

20

【0050】

尚、上述の実施例 2 では、2 つの入出力導波路のスラブ導波路との接続点は、A W G 1 に設定される F S R の 1 / 2 に相当する距離だけずれた位置にあった。しかしながら、同じ技術思想を適応すれば、F S R の 1 / 3 に相当する距離だけずれた位置でスラブ導波路と接続された 3 つの入出力導波路を備えた構成とすることもできる。この場合、T O D C ブロックとしては、ポート A、ポート B およびポート C の 3 つのポート備えることになる。連続する複数の波長群を、順次交互に繰り返す 3 つのグループに分けることで、1 つの波長群において、光透過率の平坦部分を使用できることは容易に理解できるだろう。このとき、T O D C ブロックの A W G の F S R 値を、群分波フィルタの分離間隔の 3 倍に設定することになる。さらに、同様の考え方により、入出力導波路の数およびポート数を 3 以上に拡張することも可能である。

30

【0051】

実施例 3：上述の実施例 1 および実施例 2 では、L C O S 素子として A W G の分光軸方向にのみピクセルが配列された 1 次元構成の L C O S 素子を使用していた。しかし、L C O S 素子上に 2 次元にピクセルを配列するとともに、T O D C ブロックに第 2 の分光素子を導入することによって、さらに可変分散補償器の構成を単純化し、L C O S 素子も小型化することができる。まず、2 次元にピクセルが構成された L C O S 素子を含む T O D C ブロックについて説明する。

【0052】

図 6 は、本発明の実施例 3 に係る T O D C ブロックの構成を示す図である。実施例 1、実施例 2 と同様に反射型の構成であるが、バルク型回折格子 1 5 をさらに含み、光信号をバルク型回折格子によっても分波する構成である点で、相違している。さらに、本実施例においては、光路を通して見た場合に A W G とバルク型回折格子の分波面が直交している点に大きな特徴を持っている。以下、実施例 1 および実施例 2 の T O D C ブロックとの差異に着目して、詳しく説明する。

40

【0053】

実施例 1 および実施例 2 の T O D C ブロックと同様に、入力ファイバ 1 0 より入力された光信号は、サーキュレータ 1 1 および接続ファイバ 1 3 を介して、A W G 1 の入力導波路 2 に入射する。入力導波路 2 に入射した光信号は、スラブ導波路 3 を介してアレイ導波

50

路 4 へ伝搬する。アレイ導波路 4 において、異なる波長を持つ光信号群が分波される。すなわち、出射端 5 から出射される光信号は、 $x - z$ 面（分波面）内で、その波長に応じた異なる出射角度で z 軸方向のバルク型回折格子 15 へ向かって伝搬する。

【0054】

出射端 5 から出射された光信号は、AWG 基板の厚さ方向すなわち y 方向に対しては、シリンドリカルレンズ 6 によって平行ビームに変換される。シリンドリカルレンズ 6 から出射する光信号は $y - z$ 面内で平行光とみなすことができる。一方、AWG 基板の面内の x 方向に対しては、スラブ導波路 3 のレンズ作用によって十分幅広い平行ビームに変換される。すなわち、出射端 5 から出射した時点で、AWG 1 から出射する光信号は $x - z$ 面内で平行光とみなすことができる。シリンドリカルレンズ 6 を通過することで、光信号を x 方向、 y 方向いずれについても平行光とみなすことができる。

10

【0055】

実施例 3 の TODC ブロックの構成は、AWG 1 により分波された光信号をさらに分波するバルク型回折格子を備えている点に特徴がある。シリンドリカルレンズ 6 から出射した光信号は、その法線が z 軸に対して θ_i だけ傾き、格子ベクトルが $y - z$ 面内に設定されたバルク型回折格子 15 により、さらに分波される。バルク型回折格子 15 により分波された光信号は、集光レンズ 7 によって空間位相制御素子 8 上に集光される。ここで、AWG 1 の分散方向およびバルク型回折格子 15 の分散方向は、光路に沿ってそれぞれの分波面を見ると、2 つの分波面が直交する関係にある。

【0056】

20

図 6 の (A) によれば、AWG 1 および空間位相制御素子 8 は、互いに平行な位置関係に配置されているように記載されているが、厳密には平行でなくて良い。図 6 は、後述する特定のバルク型回折格子を使用する場合であって、入射角 θ_i が 46.76° の場合を例示的に示している。この時、光路はバルク型回折格子においてほぼ 90° で屈折する。このため、図面上は、AWG および空間位相制御素子が、互いに平行な位置関係に配置されているかのように表現されている。したがって、本実施例において、バルク型回折格子の屈折角 θ_i には何ら限定はない。本実施例の TODC ブロックは、光路に沿って見た場合に、AWG 1 の分波面とバルク型回折格子 15 の分波面とが相対的に直交する関係であることにより、空間位相制御素子のピクセルを、異方性を持った 2 次元に構成できる点に特徴がある。

30

【0057】

波長（光周波数）と光信号の集光ビームの位置との関係を説明するため、仮想的に波長を連続的に変えた場合に、集光ビームが空間位相制御素子上に描く軌跡を検討してみる。本実施例においては、AWG 1 の角度分散をバルク型回折格子 15 の角度分散よりも十分大きく設定することによって、空間位相制御素子 8 上の集光ビームは光信号の波長に応じてラスタ状スキャンされる。

【0058】

例えば、バルク型回折格子 15 の回折次数を 1 に、AWG 1 の FSR を、分散補償の対象となる通信システムにおける 1 つの波長群の WDM 通信チャンネルの全帯域幅に等しくなるように設定すれば良い。このようなビームのラスタ状スキャンは、第 1 の分光素子として、設計パラメータの自由度が大きく、簡単に所望の FSR を実現できる AWG を用いることで可能となる。第 1 の分光素子としてバルク型の回折格子を用いても、簡単に所望の角度分散を設定できない。第 1 の分光素子の分波特性および第 2 の分光素子の分波特性に適切な角度分散を配分し組み合わせることによって、本実施例に特有の分散補償の動作が実現される点に注目されたい。空間位相制御素子 8 おいて反射された光信号は、実施例 1、2 の TODC ブロックと同様に、その光路を反転させて往路とは逆方向へ伝搬し、サーキュレータ 11 を介して、出力ファイバ 12 から出射される。

40

【0059】

図 7 の (A) は、実施例 3 の TODC ブロックに好適な空間位相制御 (LCOS) 素子の構成を示す図である。空間位相制御素子 8 上の座標系を、 u 軸 - v 軸と定義する。上述

50

のように A W G 1 の F S R は、分散補償の対象となる通信システムにおける 1 つの波長群内にある W D M 通信チャンネルの全帯域幅に等しく設定されている。このとき、1 つの波長群の全帯域内にある光信号は、A W G 1 のある回折次数の干渉光に対応する。仮想的に無変調の光信号の波長を連続的に変化させたとすれば、A W G 1 の分波作用によって、回折次数 m の光信号については、集光ビームの位置は線分 L_m 上の軌跡を描く。

【0060】

この回折次数 m の光信号は、例えば m 番目の特定の波長群内にある光信号群に対応する。同様に、回折次数 $m+1$ の光信号については、隣接する L_{m+1} 上の軌跡を描く。この回折次数 $m+1$ の光信号は、 m 番目の波長群に隣接する $m+1$ 番目の波長群にある光信号群に対応する。したがって、1 つの波長群の全帯域内にある光信号成分は、空間位相制御素子 8 上をスキャンされて描かれる 1 つの軌跡線 L_m 上に局在するピクセル列に対応する。換言すれば、1 つの波長群の全帯域内にある各光信号は、1 つの軌跡 L_m 上に局在する u 軸方向に配列された複数のピクセル列によってそれぞれ独立に位相が付与され、分散補償が実現される。

10

【0061】

上述の u 軸方向に配列されたピクセル列毎に、異なる波長群に対して分散特性（群遅延特性）を設定できる。すなわち、実施例 3 の T O D C ブロックは、ピクセル列毎に独立して異なる位相分布を設定することによって、波長群毎に異なる分散特性（群遅延特性）を設定できる特徴を持つ。図 6 において、バルク型回折格子 15 の分光面（すなわち $y-z$ 面）と空間位相制御素子 8 のピクセル形成面との交線の方向が、空間位相制御素子 8 上におけるバルク型回折格子 15 による分散方向となる。この交線で規定される分散軸を z' 軸とする。図 7 の (A) および (B) においては、 z' 軸は、 L_m 、 L_{m+1} 等の各軌跡線の終了点を結ぶ方向または開始点を結ぶ方向となる。

20

【0062】

図 7 の (A) を用いて、集光ビーム径と、 u 軸および v 軸面上に形成されるピクセル構造との関係についてさらに検討する。図 7 の (A) では、簡単のため各ピクセルの形状を正方形のものとして表示している。以下では、 u 軸および v 軸それぞれにおいて、集光スポットビーム半径とピクセルピッチとの相対関係に着目して、各ピクセルに対する位相の設定方法が説明されることに留意されたい。また、変調を受けていないある光周波数（波長）の光信号に対応する集光ビームの形状は、集光レンズおよびシリンドリカルレンズの特性に応じて、一般に楕円となる。ここで、 v 軸方向の楕円半径を w_v とする。楕円半径は、集光スポットの光強度がピーク値の $1/e^2$ となる半径、すなわちピーク光強度の 13.5% となる半径を言うものとする。

30

【0063】

v 軸方向については、軌跡 L_m を描く集光スポットラスタは、バルク型回折格子 15 の角度分散に基づいて、アレイ導波路格子の F S R に対応する光周波数毎に d_v 移動する。したがって、集光スポットの v 軸方向の楕円半径について、次式を満たすようにすることによって、隣接する波長群のビームの重なりを除去することができる。

$$w_v = d_v / 2 \quad \text{式 (1)}$$

v 軸方向の楕円半径 w_v は集光スポットの光強度がピーク値の $1/e^2$ となる半径であるので、式 (1) の条件を満たすことによって、光通信で一般に求められる -30 dB 以下のクロストーク性能を実現することができる。

40

【0064】

図 7 の (A) の構成では、A W G 1 およびバルク回折格子 15 の線分散値によって決まる軌跡 L_m の方向を、空間位相変調素子 8 の u 軸方向と一致させている。さらに、 v 軸方向のピクセルピッチを p_{SLMv} とし、 p_{SLMv} と d_v とを一致させている。上述のピクセル構成によって、1 つの波長群の全帯域内にある各光信号を、 u 軸方向に並んだピクセル列 1 列に対応させることができる。その結果、最少のピクセル数を持つ L C O S を用いて、全波長群内の光信号へ分散付与することが可能となる。ピクセル数を減らすことによって、L C O S に掛かるコストを低く抑えることができる。

50

【 0 0 6 5 】

以下に、具体的な数値例とともに本実施例の T O D C ブロックの例を示す。アレイ導波路格子は比屈折率差が 1 . 5 % の石英系光導波路を用いて作製した。アレイ導波路の行路長差 ΔL を 2 0 2 μm 、アレイ導波路の出射端 5 におけるアレイ導波路ピッチを 1 2 μm とした。この構成によれば、アレイ導波路格子の自由スペクトルレンジはおよそ 1 0 0 0 G H z になる。

【 0 0 6 6 】

バルク型回折格子 1 5 は、例えば、格子周期が 9 4 0 本 / m m の体積位相ホログラフィック回折格子 (V P H G : V o l u m e p h a s e h o l o g r a p h i c g r a t i n g) を用いる。バルク型回折格子 1 5 は V P H G タイプに限られず、透過型ブレード回折格子、反射型のホログラフィック回折格子または反射型のブレード回折格子を用いても、V P H G と同様の機能を実現できる。入射角 θ_i が 4 6 . 7 6 ° のとき格子周期 9 4 0 本 / m m の V P H G の角度分散値は、1 . 3 7 m r a d / n m である。シリンドリカルレンズ 6 の焦点距離は 1 m m 、集光レンズ 7 の焦点距離は 8 0 m m とした。

【 0 0 6 7 】

L C O S 型空間位相制御素子 8 は、u 軸方向のピクセル数およびピッチが、それぞれ 1 2 8 0 個および 8 μm であり、v 軸方向のピクセル数およびピッチが、それぞれ 4 個および 9 2 0 μm である。したがって、L C O S のピクセルが形成された領域のサイズは、約 1 0 . 2 m m $\times$ 3 . 7 m m である。この構成は、あくまで一例であって、u 軸方向のピクセルピッチは 5 μm ~ 1 0 μm の範囲あってもよい。

【 0 0 6 8 】

上述の光学系の構成によれば、v 軸方向のビーム半径 w_v は、約 3 0 0 μm となり、式 (1) の関係を満たしていることを確認した。L C O S 上における v 軸方向の線分散値は、前述の V P H G の角度分散値と集光レンズの 7 の焦点距離の積として、0 . 1 1 m m / n m と求まる。よって、集光スポットの位置は、A W G の F S R である 1 0 0 0 G H z (約 8 . 4 n m) 当り、 $d_v = 9 2 0 \mu m$ 移動する。アレイ導波路格子の F S R に対応するスポット移動量 d_v と、v 軸方向のピクセルピッチ p_{SLMv} とがいずれも 9 2 0 μm に一致していることを確認した。

【 0 0 6 9 】

L C O S 素子の u 軸方向の線分散値は、1 . 2 2 m m / n m となり、1 2 8 個のピクセルが、1 0 0 G H z の周波数レンジを持つ光信号の位相変調に寄与することになる。したがって、本実施例の構成の T O D C ブロックによって、1 つの波長群において、1 0 0 G H z 間隔で配置された 1 0 の W D M 通信チャンネルの各光信号に対して、独立して分散補償することが可能になる。さらに、v 軸方向に配列したピクセル列毎に、複数の異なる波長群の光信号群に対しても独立して分散補償することができる。

【 0 0 7 0 】

図 7 の (A) に示した L C O S の構成例では、 p_{SLMv} と d_v とをほぼ一致させて、u 軸方向に並んだピクセル列 1 列を 1 つの波長群に対応させた場合を、例示的に説明した。別の構成例として、図 7 の (B) に示すように、 d_v を p_{SLMv} より大きく設定して、v 軸方向について複数のピクセルを 1 つの波長群に割り当てる構成例を説明する。この場合も、式 (1) の関係を満たすことによって、隣接する波長群の間のクロストークを低く抑えることができる。図 7 の (A) のピクセル構成では、軌跡 L_m の方向と u 軸の方向とを一致させる必要があった。これに対し、図 7 の (B) のピクセル構成では、v 軸方向について、軌跡 L_m を中心として d_v の幅に含まれる複数のピクセルを、1 つの波長群 m の制御のために用いることによって、軌跡 L_m と u 軸とが平行である必要がなくなる。

【 0 0 7 1 】

図 7 の (B) のピクセル構成の利点は、光信号に任意の光結合損失を付加できるところにある。v 軸方向における複数のピクセルによって、u 軸方向に対する位相設定とは独立して、v 軸方向に対して傾いた位相を設定することができる。再び図 6 を参照すれば、L C O S において反射してバルク型回折格子 1 5 を通過した光信号は、アレイ導波路格子の

出射端 5 において、 y 軸方向の A W G 導波路固有モードに対して傾いた電界分布を持った状態で、A W G 1 へ入射する。したがって、T O D C ブロックの透過特性に波長依存性を持った損失を付加し、光信号強度の波長依存を補償することが可能となる。

【 0 0 7 2 】

図 7 の (B) の構成を実現する L C O S として、一般的な正方格子にピクセルが並んだ L C O S を使用した。ピクセルピッチは、 u 軸方向および v 軸方向共に $8 \mu m$ である。L C O S 以外の光学系の構成は、図 7 の (A) で説明したのと同様のものを用いた。 $d v = 920 \mu m$ であるので、軌跡 $L m$ を中心にして v 軸方向に 115 個のピクセルを 1 つの波長群に割り当てた。任意の波長、すなわち、任意の波長群番号 m および任意の u 軸上の位置において、 v 軸方向に割り当てられた 115 のピクセルに与える位相値を、最大で、傾き角 0.3 度の位相変化に相当するだけ v 軸方向に線形的に変化させた。この線形的に傾斜させた位相により、その波長の光信号強度を $0 \text{ dB} \sim -40 \text{ dB}$ の範囲で制御する事が出来た。

【 0 0 7 3 】

図 7 の (A) または (B) に示したピクセルが 2 次元に配列された L C O S 素子で構成された T O D C ブロックを利用することによって、図 1 に示した実施例 1 に係る可変分散補償器を、より簡単な構成に変形することができる。

【 0 0 7 4 】

以上の L C O S に関わる説明では、ピクセルピッチのみに着目して、ピクセルの幅およびピクセル間のスペースには触れなかったが、用法を問わず、ピクセル間スペースは、光の制御効率を高めるために狭くすることが好ましい。一般には、 $1 \mu m$ 以下が好ましい。

【 0 0 7 5 】

図 8 は、実施例 3 に係る分散補償器の全体構成を示したブロック図である。図 8 は、分散補償器としての機能に着目したブロックに分けて分散補償器を表現している。以下、図 6 に示した T O D C ブロックと、具体的な構成との対比関係を説明する。図 6 の T O D C ブロックにおける L C O S 素子 8 は、図 7 の (A) および (B) に示したように、2 次元 (2-Dimension) にピクセルが配列された構成を持つものとし、以下 2 D - L C O S 素子と呼ぶ。

【 0 0 7 6 】

図 8 の可変分散補償器 300 においては、例えば、 λ_1 から λ_{40} までの 40 の波長を持つ光信号群が多重化された光信号が、分光器 301 の入力ポート I_n に入力されて分波され、さらに第 1 の群分波フィルタ 302 に入力される。多重化された光信号は、第 1 の群分波フィルタ 302 によって λ_1 から λ_{10} 、 λ_{11} から λ_{20} 、 λ_{21} から λ_{30} ならびに λ_{31} から λ_{40} の 4 つの波長群 (G 1、G 2、G 3、G 4) に群分波される。第 1 の波長群分波フィルタ 302 からの各波長群の光信号群は、2 D - L C O S 素子 305 上の、各列 (第 1 列、第 2 列、第 3 列第 4 列) のピクセル群 306 a、306 b、306 c、306 d によって分散補償される。分散補償後の 4 つの波長群 (G 1、G 2、G 3、G 4) の光信号群は、第 2 の波長群分波フィルタ 303 および分光器 304 によって合波され、再び λ_1 から λ_{40} までの中心波長を持つ 40 の通信チャンネルの光信号に多重化されて、出力ポート out から出力される。

【 0 0 7 7 】

図 8 における 2 つの分光器 301、304 は、図 6 の T O D C ブロックにおける A W G 1 に対応する。ここで、図 6 に示した T O D C ブロックは反射型の構成を持つために、1 つの A W G によって分光器 301 および分光器 304 の機能を実現できることに留意されたい。図 8 における 2 つの群分波フィルタ 302、303 は、図 6 に示した T O D C ブロックにおけるバルク型回折格子 15 (第 2 の分光手段) に対応する。A W G 1 と同様に、1 つのバルク型回折格子 15 によって、2 つの群分波フィルタ 302、303 の機能を実現できる。

【 0 0 7 8 】

2 D - L C O S 素子 305 は、波長群 G 1 に対応する第 1 列のピクセル群 306 a、波

長群 G 2 に対応する第 2 列のピクセル群 3 0 6 b、波長群 G 3 に対応する第 3 列のピクセル群 3 0 6 c、波長群 G 4 に対応する第 4 列のピクセル群 3 0 6 d によって、それぞれ分散補償される。ここで、2 D - L C O S 素子は、1 つの素子面内に u 軸方向に並んだ各列（第 1 列、第 2 列、第 3 列、第 4 列）のピクセル群が一体となって 2 次元にピクセルが配置されて構成されることに注目されたい。したがって、光信号が分光器 3 0 1（A W G 1）から空間に出射し、バルク型回折格子および 2 D - L C O S 素子によって光信号処理をされて、再び分光器 3 0 4（A W G 1）に入射するまでの光信号処理は、1 式の T O D C ブロックによって実現される。すなわち、図 6 に示された 1 つの T O D C ブロックによって、図 1 に示した 4 つの T O D C ブロックを必要とする可変分散補償器と同じ機能を実現できる。

10

【 0 0 7 9 】

尚、2 D - L C O S 素子 3 0 5 の各ピクセル列は、第 1 列から第 4 列まであるものとして説明したが、1 つの波長群に対して v 軸方向に複数のピクセルを使用して位相設定を行なうこともできることに留意されたい。この場合、1 つの波長群に対して、u 軸方向に配列されたピクセル列が複数配置されることになる。

【 0 0 8 0 】

図 1 に示した実施例 1 に係る可変分散補償器によれば、4 つの T O D C ブロックのほか、個別の波長群分波フィルタ 1 0 1、1 0 2 を必要とした。これに対して、実施例 3 の可変分散補償器 3 0 0 は、図 6 に示した T O D C ブロックを 1 つだけで構成できるので、可変分散補償器の構成を大幅に簡略化することができる。

20

【 0 0 8 1 】

実施例 4： 実施例 1 の可変分散補償器と同様に、図 5 に示した実施例 2 の可変分散補償器も、図 6 に示した 2 D - L C O S 素子を利用することによって、より簡単な構成に変形することができる。すなわち、図 6 に示した 2 次元にピクセルが構成された L C O S 素子を利用した T O D C ブロックにおいて、図 3 と同様に A W G に接続された 2 つの入出力導波路 1 6、1 7 を備えることによって、多数の W D M 通信チャネルを含む連続した通信帯域（波長群）に対して光透過特性が平坦な可変分散補償を実現できる。

【 0 0 8 2 】

図 9 は、実施例 4 の可変分散補償器で使用される T O D C ブロックの構成図である。図 9 に示した構成は、実施例 2 の可変分散補償器に使用される T O D C ブロック（図 3）に第 2 の分波手段（バルク型回折格子）1 5 を追加している点で、図 3 に示した T O D C ブロックの構成と相違している。さらに、スラブ導波路 3 の境界面上で 0 . 5 F S R 相当離れた位置に接続された 2 つの入出力導波路 1 6、1 7 を持つ点では、図 3 の T O D C ブロックの構成と共通するが、接続されるインターリーブ型群分波フィルタ 1 9 を持つ点で相違している。以下、これらの相違点に着目して説明する。尚、図 9 は、簡単のため第 2 の分波手段 1 5 による光路の折り曲がりとは省略し、簡略化して記載している。

30

【 0 0 8 3 】

図 9 に示した T O D C ブロックは反射型構成をしている。 λ_1 から λ_{40} までの 40 の波長を持つ光信号群が多重化された光信号が、光サーキュレータ 1 1 を経由して、T O D C ブロックに入力される。T O D C ブロックにおいて分散補償された後で、再び光サーキュレータ 1 1 から出力される。光サーキュレータ 1 1 への多重化された入力光信号は、インターリーブ型群分波フィルタ 1 9 に入力される。インターリーブ型群分波フィルタ 1 9 は、複数の波長群を含む多重化された光信号群を、奇数番目の波長群と偶数番目の波長群とに群分波をする。すなわち、インターリーブ型群分波フィルタ 1 9 のポート A 側の出力には、 λ_1 から λ_{10} 、 λ_{21} から λ_{30} の 2 つの波長群（G 1、G 3）が群分波される。インターリーブ型群分波フィルタ 1 9 のポート B 側の出力には、 λ_{11} から λ_{20} 、 λ_{31} から λ_{40} の 2 つの波長群（G 2、G 4）が群分波される。A ポートおよび B ポートからの光信号群は、それぞれスラブ導波路 3 の境界面上で 0 . 5 F S R 相当離れた位置に接続された 2 つの入出力導波路 1 6、1 7 に入力される。実施例 2 の T O D C と同様に、A W G 1 の F S R 値を、インターリーブ型群分波フィルタ 1 9 の波長群分離間隔の 2 倍に

40

50

設定している。

【 0 0 8 4 】

図 9 の T O D C ブロックにおける L C O S 素子 8 は、第 3 の実施例と同様に、図 7 に示した 2 次元 (2-Dimension) にピクセルが配列された 2 D - L C O S 素子である。

【 0 0 8 5 】

図 1 0 は、実施例 4 に係る分散補償器の全体構成を示すブロック図である。図 1 0 は、分散補償器としての機能に着目したブロックに分けて分散補償器を表現している。以下、図 9 に示した T O D C ブロックの具体的な構成と対比して説明する。

【 0 0 8 6 】

図 1 0 の可変分散補償器 4 0 0 においては、例えば、 λ_1 から λ_{40} までの 4 0 の波長を持つ光信号群が多重化された光信号が、インターリーブ型群分波フィルタ 4 0 1 によって、奇数番目の波長群と偶数番目の波長群とにインターリーブ群分波される。インターリーブ群分波された、A の波長群 (G 1 、 G 3) および B の波長群 (G 2 、 G 4) は、それぞれ分光器 4 0 2 の A ポートおよび B ポートに入力される。ここで分光器 4 0 2 は、図 9 における A W G 1 に対応する。さらに、実施例 3 と同様に、第 1 の波長群分波フィルタ 4 0 3 が図 9 の第 2 の分波手段 1 5 に対応する。第 1 の波長群分波フィルタ 4 0 3 からの各波長群の光信号群は、2 D - L C O S 素子 4 0 7 上の、各列 (第 1 列、第 2 列、第 3 列、第 4 列) のピクセル群 4 0 8 a 、 4 0 8 b 、 4 0 8 c 、 4 0 8 d によって分散補償される。分散補償後の 4 つの波長群 (G 1 、 G 2 、 G 3 、 G 4) の光信号群は、第 2 の波長群分波フィルタ 4 0 4 および分光器 4 0 5 によって合波される。さらに、インターリーブ型群分波フィルタ 4 0 6 によって、奇数番目の波長群および偶数番目の波長群はインターリーブ群合波され、再び λ_1 から λ_{40} までの中心波長を持つ 4 0 の通信チャンネルの光信号に多重化されて、出力ポート O u t から出力される。

【 0 0 8 7 】

実施例 3 と同様に、図 9 の反射型の構成の T O D C ブロックによって、分光器 4 0 2 、 4 0 5 および群分波フィルタ 4 0 3 、 4 0 4 は、それぞれ 1 つの A W G 1 および 1 つの第 2 の分波手段 1 5 によって実現できるのは言うまでもない。

【 0 0 8 8 】

2 D - L C O S 素子 4 0 7 は、波長群 G 1 に対応する第 1 列のピクセル群 4 0 8 a 、波長群 G 2 に対応する第 2 列のピクセル群 4 0 8 b 、波長群 G 3 に対応する第 3 列のピクセル群 4 0 8 c 、波長群 G 4 に対応する第 4 列のピクセル群 4 0 8 d によって、それぞれ分散補償される。ここで、2 D - L C O S 素子 4 0 7 は、1 つの素子面内に各列のピクセル群が一体となって 2 次元にピクセルが配置構成されることに注目されたい。したがって、光信号が分光器 4 0 2 (A W G 1) から空間に出射し、バルク型回折格子 1 5 および 2 D - L C O S 素子によって光信号処理をされて、再び分光器 4 0 5 (A W G 1) に入射するまでの光信号処理は、1 式の T O D C ブロックによって実現される。すなわち、図 9 によって示された 1 つの T O D C ブロックは、図 5 に示した可変分散補償器と同じ機能を実現できることに注意されたい。

【 0 0 8 9 】

図 5 に示した実施例 2 に係る可変分散補償器では、4 つの T O D C ブロックのほかに個別の波長群分波フィルタ 2 0 1 、 2 0 2 を必要とした。これに対して、実施例 4 の可変分散補償器 4 0 0 は、図 9 に示した T O D C ブロックを 1 つだけで構成できるので、可変分散補償器の構成を大幅に簡単にすることができる。

【 0 0 9 0 】

実施例 2 と同様に、多重化された W D M 光信号を複数の波長群に分離し、ただ 1 つの T O D C ブロックを備えることで、分光軸方向にサイズが短い L C O S 素子を使用することができる。大型の L C O S 素子を必要とせずに、量産性およびコストに優れた、多チャンネル可変分散補償器を実現することができる。T O D C ブロックの A W G の F S R 値を、インターリーブ型群分波フィルタの波長群分離間隔の 2 倍に設定することによって、光透過帯域が平坦な可変分散補償器を実現できる。可変分散補償器の低コスト化ならびに保守

10

20

30

40

50

の簡易化および低コスト化を実現できる。

【 0 0 9 1 】

実施例 3 および実施例 4 で詳細に説明したように、2 D - L C O S 素子を使用してピクセルを 2 次元に構成することで、A W G の分光軸に対応する方向のサイズを短く抑えた L C O S 素子を利用するのと同じ効果が得られることに注目されたい。実施例 1 または実施例 2 の構成の可変分散補償器よりもさらに T O D C ブロックの数を減らして、多チャンネルの可変分散補償器を構成することができる。さらに、T O D C ブロックにおいて使用される A W G の F S R を、その T O D C ブロックによってカバーする W D M 通信チャンネル群の全帯域幅と等しく成るように設定する。さらに、F S R を、その T O D C ブロックによってカバーする W D M 通信チャンネル群の全帯域幅と所定の関係に成るように設定することにより、光透過特性の平坦化を実現することもできる。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 0 9 2 】

本発明は、光通信システムにおける波長分散補償器に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 9 3 】

【図 1】実施例 1 に係る可変分散補償器の全体構成を示すブロック図である。

【図 2】実施例 1 に係る可変分散補償器の光透過率特性を示す図である。

【図 3】実施例 2 の可変分散補償器で使用される T O D C ブロックの構成図である。

【図 4】実施例 2 に係る T O D C ブロックの光透過率を示す図である。

20

【図 5】実施例 2 に係る可変分散補償器の全体構成を示すブロック図である。

【図 6】実施例 3 の可変分散補償器で使用される T O D C ブロックの構成図である。

【図 7】実施例 3 の可変分散補償器で使用される T O D C ブロックで使用される L C O S 素子の構成図である。

【図 8】実施例 3 に係る可変分散補償器の全体構成を示すブロック図である。

【図 9】実施例 4 の可変分散補償器で使用される T O D C ブロックの構成図である。

【図 10】実施例 4 に係る可変分散補償器の全体構成を示すブロック図である。

【図 11】空間位相変調素子を用いた従来技術の可変分散補償器の構成を示す図である。

【図 12】空間位相変調素子を用いた従来技術の可変分散補償器の他の構成を示す図である。

30

【図 13】空間位相変調素子を用いた従来技術の可変分散補償器における位相設定の例を示す図である。

【符号の説明】

【 0 0 9 4 】

1、34 A W G

3 スラブ導波路

4 アレイ導波路

7、36 集光レンズ

8、37 空間位相変調素子

11、14、30 光サーキュレータ

15 バルク型回折格子

16、17 入出力導波路

19、401、406 インターリーブ型群分波フィルタ

100、200、300 可変分散補償器

101、102、201、202、302、303 群分波フィルタ

103、103a、103b、103c、103d、203a、203b、203c

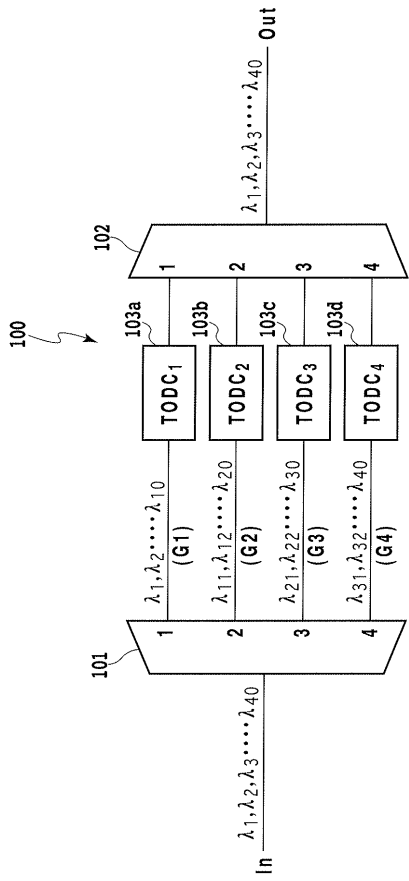
、203d、400 T O D C ブロック

301、304 分波器

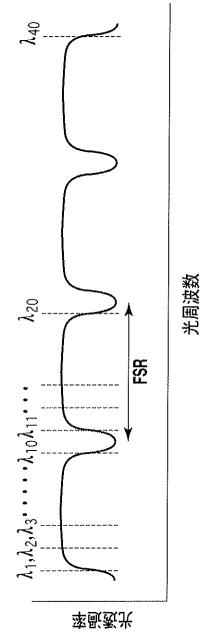
305、407 2 D - L C O S 素子

40

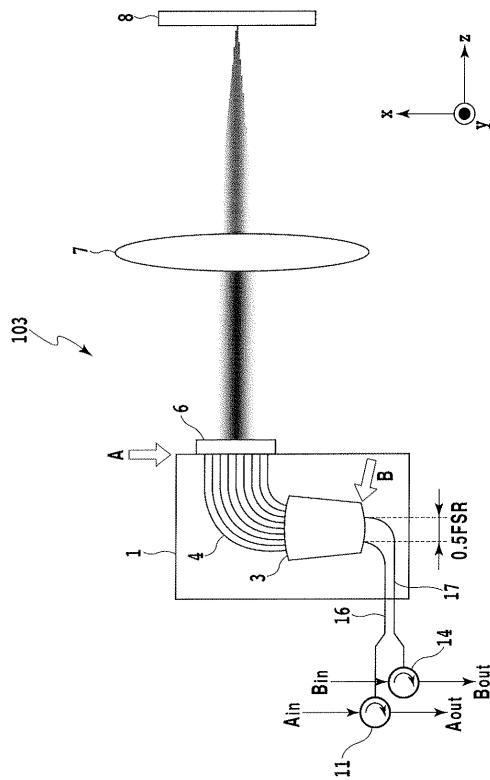
【図 1】



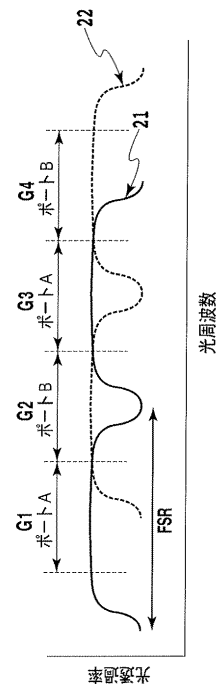
【図 2】



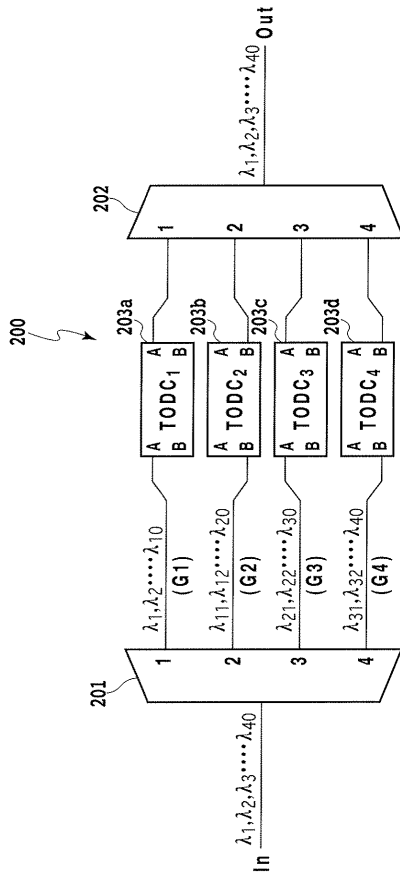
【図 3】



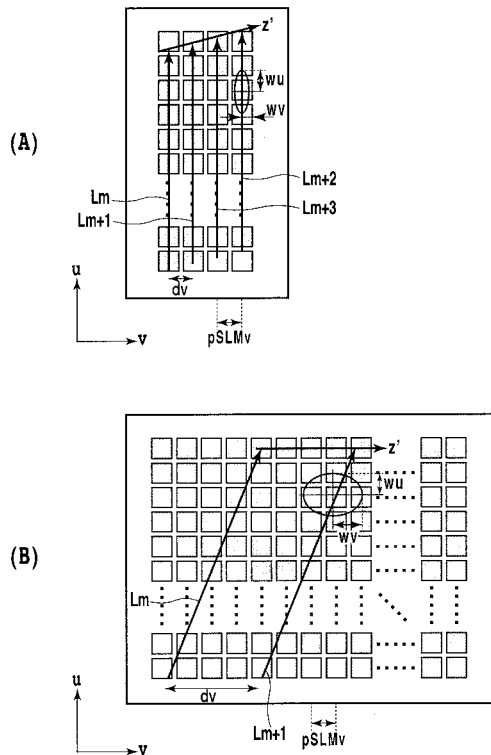
【図 4】



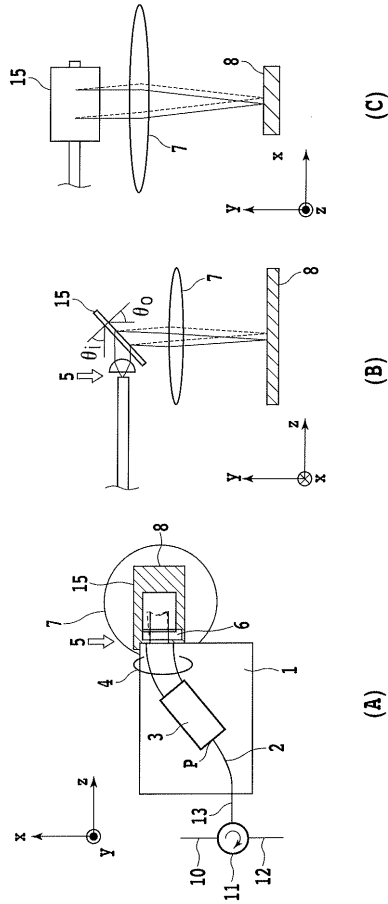
【図 5】



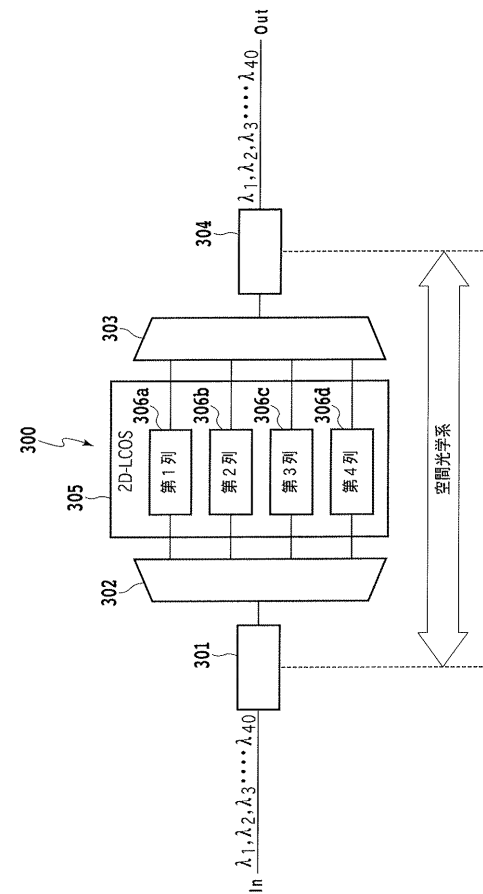
【図 7】



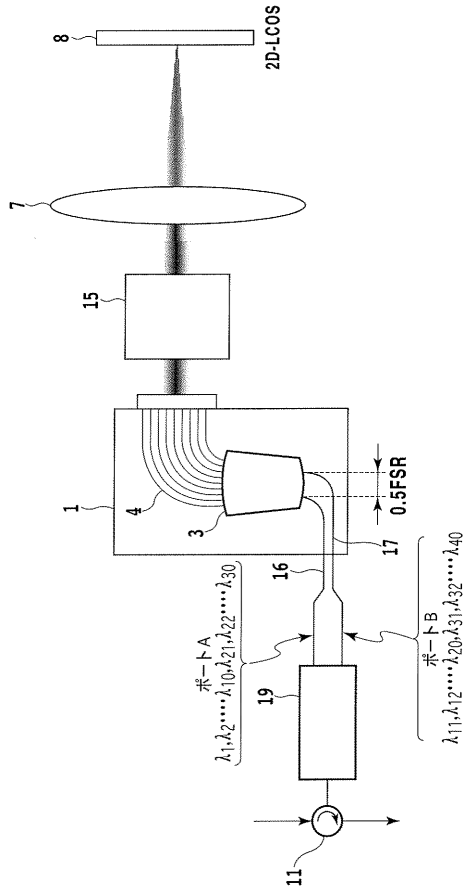
【図 6】



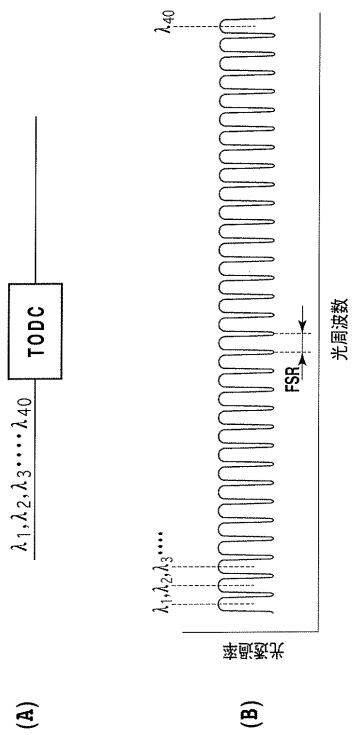
【図 8】



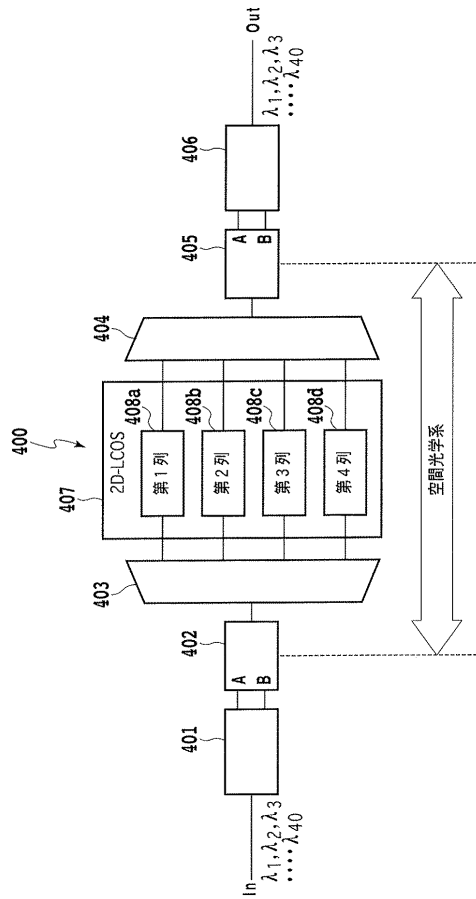
【図 9】



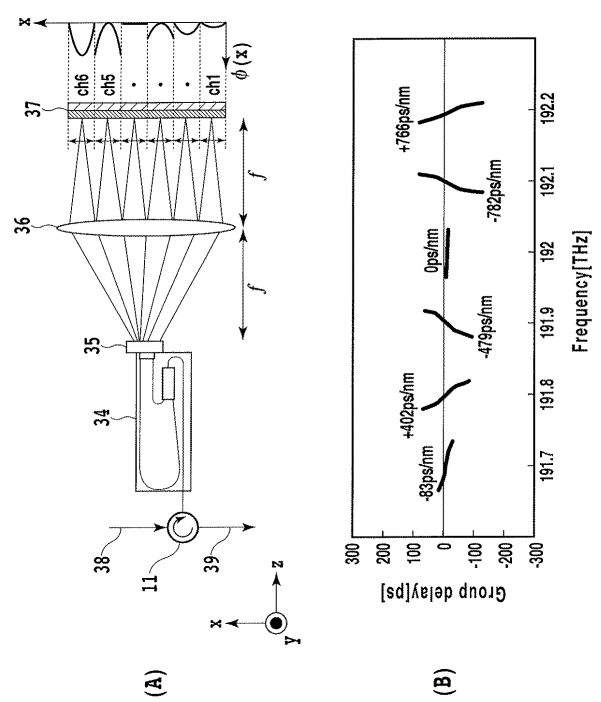
【図 11】



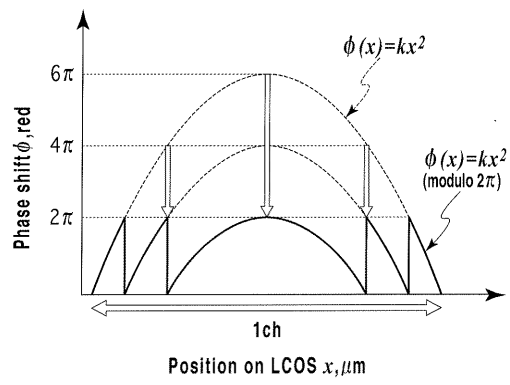
【図 10】



【図 12】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

- (72)発明者 妹尾 和則
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 石井 元速
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 渡辺 俊夫
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 美野 真司
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) 2H079 AA02 AA12 BA03 CA02 DA08 GA05 HA16 KA01 KA08 KA14
2H141 MA24 MA27 MB23
5K102 AA01 AD01 KA02 KA33 PC18 PH41 PH45 PH47 PH48 RB02
RB03